สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม

# คู่มือการถ่ายทอดเทคโนโลยี การผลิตหม้อน้ำ

# บทนำ

คู่มือฉบับนี้จัดทำขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ประกอบการกิจการหม้อน้ำ วิศวกร และผู้สนใจทั่วไป ใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิง ในการผลิตหม้อน้ำให้ถูกต้องตามที่กฎหมายกำหนด และมีความปลอดภัยตามหลักวิศวกรรม ประกอบด้วย ข้อมูลทางด้านกฎหมายที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานราชการต่างๆ ข้อมูลเกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ หลักการออกแบบทางวิศวกรรมของหม้อน้ำ ทั้งชนิดท่อน้ำ และชนิดท่อไฟ ที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และหม้อน้ำที่ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน รวมถึงวิธีการดำเนินการผลิต ที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสากล โดยเป็นการผสมผสานระหว่างหลักการการออกแบบหม้อน้ำ หลักการผลิตด้วยวิธีการเชื่อมตามขั้นตอนของ สมาคมวิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกลอเมริกัน(American Society of Mechanical Engineers ; ASME) และ มาตรฐานการออกแบบ และการผลิตหม้อน้ำของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันนี (Technical Rules for Steam boiler ; TRD ) และได้แสดงตัวอย่างการคำนวณชิ้นส่วนหลักต่างๆ ของหม้อน้ำ เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น และในกรณีที่ผู้ประกอบการสามารถปฏิบัติได้ครบถ้วนแล้ว ก็สามารถดำเนินการเพื่อให้ได้รับการรับรองตามมาตรฐานสากล โดยได้รวบรวมขั้นตอนในการดำเนินการไว้ในคู่มือฉบับนี้ไว้โดยสังเขป นอกจากนี้ ยังได้รวบรวมตัวอย่างลักษณะความเสียหาย และการกัดกร่อน ที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ ไว้ด้วย

อนึ่ง เนื้อหาที่ได้รวบรวมไว้ในคู่มือฉบับนี้ เป็นเพียงข้อกำหนด และ แนวทางเบื้องต้นเพื่อประกอบการพิจารณาดำเนินการของวิศวกร และผู้ประกอบกิจการผลิตหม้อน้ำ โดยหลักการและปรัชญาในการดำเนินการของผู้ผลิตหม้อน้ำและวิศวกรผู้ออกแบบ ควรจะต้องสอดคล้องกับหลักการของความปลอดภัย ที่สะท้อนให้เห็นโดยแฝงอยู่ในข้อกำหนดที่ได้รวบรวมไว้ในคู่มือนี้

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือฉบับนี้ จะช่วยให้การเข้าถึงแหล่งความรู้อย่างกว้างขวางในหมู่ผู้ประกอบการด้านหม้อน้ำมากยิ่งขึ้น โดยก่อให้เกิดความเข้าใจที่ชัดเจนขึ้นในแง่ขององค์ความรู้และเทคโนโลยีการผลิตหม้อน้ำ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ใคร่ขออภัยมา ณ ที่นี้

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม

# สารบัญ


## บทที่ 1 กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหม้อน้ำ

1.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหม้อน้ำ 1-1
1.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหม้อน้ำ 1-22

## บทที่ 2 การผลิตหม้อน้ำ (Boiler Manufacturing)

2.1 พื้นฐานการผลิตหม้อน้ำ 2-1
2.2 วัสดุในการผลิตหม้อน้ำ 2-15
2.3 การเชื่อม (Welding) 2-44
2.4 ข้อจำกัดทั่วไปของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม 2-80
(อ้างอิงจาก ASME section I)

## บทที่ 3 การออกแบบของหม้อน้ำ

3.1 ส่วนการออกแบบทั่วไป (Part General: PG) 3-1
3.2 ส่วนข้อกำหนดสำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำ(Part Water Tube : PWT) 3-8
3.3 ส่วนข้อกำหนดสำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ(Part Fire Tube : PFT) 3-15
3.4 ส่วนข้อกำหนดสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า(Part Electrical Boiler : PEB) 3-43
3.5 ตัวอย่างการออกแบบชิ้นส่วนหม้อน้ำ 3-51

## บทที่ 4 การตรวจสอบการผลิตหม้อน้ำ

4.1 การตรวจสอบงานเชื่อม(Welding Inspection) 4-1
4.2 การทดสอบความดัน(Pressure Test) 4-40
4.3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์(Functional Test) 4-42

## บทที่ 5 ขั้นตอนสำหรับการขอรับรองผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานสากล

ขั้นตอนสำหรับการขอรับรองผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานสากล 5-1

## บทที่ 6 ความเสียหายของหม้อน้ำ

6.1 การเกิดความเสียหายของท่อรับความร้อน 6-1
6.2 การเกิดความเสียหายของท่อของหม้อน้ำ 6-13
6.3 การเกิดความเสียหายของชิ้นส่วนอื่นๆ 6-18
6.4 ตัวอย่างการความเสียหายที่เกิดจาก “Short Time Overheat” 6-21

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก กฎกระทรวง ประกาศและกฎหมายที่เกี่ยวกับหม้อน้ำ

**ภาคผนวก ก-1** กฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549

**ภาคผนวก ก-2** ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2549

**ภาคผนวก ก-3** ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2549

**ภาคผนวก ก-4** ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549

**ภาคผนวก ก-5** ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกนอกโรงงาน พ.ศ. 2548

**ภาคผนวก ก-6** ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534

**ภาคผนวก ก-7** ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุม การปล่อยทิ้งอากาศเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549

## ภาคผนวก ข แสดงตัวอย่าง Mill Certificates

**ภาคผนวก ข-1** ตัวอย่าง Mill Certificates ของ อุปกรณ์ STRAINER

**ภาคผนวก ข-2** ตัวอย่าง Mill Certificates ของ เหล็กม้วน (COIL)

**ภาคผนวก ข-3** ตัวอย่าง Mill Certificates ของ หน้าแปลน

**ภาคผนวก ข-4** ตัวอย่าง Mill Certificates ของ เหล็กแผ่น

**ภาคผนวก ข-5** ตัวอย่าง Mill Certificates ของ วาล์ว

## ภาคผนวก ค แสดงคุณสมบัติของวัสดุ SA-516 เกรด 70

**ภาคผนวก ค-1** ตาราง 1A ค่า “STRESS ALLOWANCE”

**ภาคผนวก ค-2** ตาราง 2A ค่า “STRESS INTENSITY”

**ภาคผนวก ค-3** รูป “G” กราฟสำหรับหาค่าเชิงกายภาพของ “EXTERNAL PRESSURE” ของรูปทรงกระบอก

**ภาคผนวก ค-4** รูป “CS-1” กราฟหาค่า “STRESS ALOOWANCE” ของ “EXTERNAL PRESSURE” ของรูปทรงกระบอก

**ภาคผนวก ค-5** ตาราง “PW-39” ค่าการทำ “POSTWELD HEAT TRTEATMENT” และ “PREHEAT”

## ภาคผนวก ง แสดงคำอธิบายศัพท์

## ภาคผนวก จ การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

**ภาคผนวก RT-1** มาตรฐานตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี แบบรูกลม

**ภาคผนวก RT-2** เทคนิคการถ่ายภาพรังสีแบบผนังเดี่ยวและผนังคู่

**ภาคผนวก RT-3** เกณฑ์การยอมรับ สำหรับรอยบ่งชี้กลมในแนวเชื่อม

**ภาคผนวก UT-1** วิธีการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของความสูงรูปคลื่นสะท้อน

**ภาคผนวก UT-2** วิธีการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของภาคขยายภายในเครื่อง

**ภาคผนวก UT-3** ตัวอย่างของแท่งปรับเทียบแกนเวลา

**ภาคผนวก UT-4** ตัวอย่างวิธีการสร้าง DAC

**ภาคผนวก UT-5** ตัวอย่างการหาค่าความแตกต่างของการสูญเสียของการส่งคลื่นอุลต้าโซนิค

**ภาคผนวก UT-6** ตัวอย่างการสแกนเพื่อหารอยบกพร่องและวิธีการเคลื่อนที่หัวทดสอบ

# บทที่ 1
# กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหม้อน้ำ

## 1.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหม้อน้ำ

หม้อน้ำซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีความเสี่ยงในขณะใช้งานทั้งต่อชีวิต และทรัพย์สิน ดังนั้นเพื่อที่จะให้หม้อน้ำถูกออกแบบ ผลิต ติดตั้ง และใช้งานได้อย่างปลอดภัย จึงต้องมีกฎหมายและมาตรฐานในการควบคุม สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำในประเทศไทยแบ่งตามกระทรวงต่างๆ มีดังต่อไปนี้

- กระทรวงอุตสาหกรรม ประกอบด้วยกฎหมาย 6 ฉบับ ดังนี้
    - กฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 (ภาคผนวก ก-1)
    - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2549 (ภาคผนวก ก-2)
    - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2549 (ภาคผนวก ก-3)
    - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549 (ภาคผนวก ก-4)
    - ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกนอกโรงงาน พ.ศ. 2548 (ภาคผนวก ก-5)
- กระทรวงมหาดไทย คือ
    - ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534 (ภาคผนวก ก-6)

- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คือ

  - ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549 (ภาคผนวก ก-7)

**จากกฎหมายซึ่งได้รวบรวมจากกระทรวงทั้งสามแล้วนำมาจำแนกซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 8 หมวดที่เกี่ยวข้องดังนี้**

1.1.1 ข้อกฎหมายสำหรับการออกแบบหม้อน้ำ
1.1.2 หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ
1.1.3 ข้อกฎหมายสำหรับการผลิตหม้อน้ำ
1.1.4 ข้อกฎหมายว่าด้วยวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ
1.1.5 ข้อกฎหมายสำหรับอุปกรณ์ประกอบหม้อน้ำ
1.1.6 มาตรฐานการปล่อยอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ
1.1.7 ข้อกฎหมายสำหรับการติดตั้งหม้อน้ำ
1.1.8 ข้อกฎหมายสำหรับตรวจทดสอบหม้อน้ำ

### 1.1.1 ข้อกฎหมายสำหรับการออกแบบหม้อน้ำ

"**หม้อน้ำ (boiler)"** หมายความว่า

- ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาณความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่น น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล

  หรือ

- ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตรขึ้นไป

ผู้ประกอบกิจการโรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หม้อน้ำต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

- จัดให้มีการออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบการผลิต
- จัดทำเอกสารคู่มือการใช้งาน การตรวจสอบ และการบำรุงรักษา และจัดทำรายงานข้อมูลการผลิต การตรวจสอบ และการทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

(อ้างอิง ภาคผนวก ก-1 : กฎกระทรวง กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ข้อ 3)

การออกแบบและคำนวณหม้อน้ำที่จะทำการสร้างให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน ASME, JIS, EN หรือมาตรฐานเทียบเท่า และต้องจัดให้มีหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ ทำการตรวจสอบและรับรองแบบ พร้อมทั้งเก็บรักษาแบบและหนังสือรับรองแบบนั้นไว้ภายในโรงงานเพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบได้ ความก่อนหน้ามิให้ใช้บังคับกับหม้อน้ำประเภทไหลผ่านทางเดียว (Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน 10 ตารางเมตร ความดันใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure)ไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่การคำนวณ การออกแบบให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรมโดยมีหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ ทำการตรวจสอบและรับรองแบบ (อ้างอิง ภาคผนวก ก-3 : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549, ข้อ 4)

“**วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ**” หมายความว่า วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและรับรองแบบ ควบคุมตรวจสอบ กำกับดูแลการสร้าง การซ่อมแซมหรือการดัดแปลงหม้อน้ำ ให้เป็นไปตามแบบและรายละเอียดที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ(อ้างอิง ภาคผนวก ก-3: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 ข้อ 1)

**วิศวกรควบคุมการสร้าง** หรือซ่อมหม้อน้ำ **วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ** ต้องมีคุณสมบัติหน้าที่ความรับผิดชอบเป็นไปตามที่กำหนดในและต้องขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด (อ้างอิง ภาคผนวก ก-3: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549, ข้อ 2) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ** มีหน้าที่

- ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่าง ๆ สำหรับหม้อน้ำ ใหม่ก่อนการติดตั้ง พร้อมจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน
    - ตรวจทดสอบความปลอดภัยภายหลังการติดตั้งและตรวจทดสอบความปลอดภัยประจำปีของหม้อน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยโดยถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและเป็นไปตามข้อกำหนด (หลักเกณฑ์ และวิธีการตรวจทดสอบหม้อน้ำ) พร้อมทั้งจัดทำรายงานผลการตรวจ

ทดสอบตามแบบที่กรมโรงงาน อุตสาหกรรมประกาศกำหนด ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

- หากตรวจสอบพบว่า หม้อน้ำ ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ประกอบกิจการโรงงานและกรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบทันที
- รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

**วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้**

- ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาต
- ไม่เป็นผู้ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน
  (อ้างอิง ภาคผนวก ก-3: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549, ภาคผนวก 1 หน้าที่และคุณสมบัติของบุคลากรประจำโรงงาน วิศวกร และหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ , ภาคผนวก 1, ส่วนที่ 3)

### 1.1.2 ข้อกฎหมายเกี่ยวกับหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ

**"หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ"** หมายความว่า นิติบุคคลที่มีขอบเขตการปฏิบัติงานอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ ตรวจสอบและรับรองแบบหม้อน้ำ ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล ตรวจพิสูจน์หม้อน้ำ ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ตรวจสอบ ควบคุม กำกับดูแลการสร้าง การซ่อมแซม หรือการดัดแปลง หม้อน้ำให้เป็นไปตามแบบ และรายละเอียด ที่ผ่านการรับรองจากหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง และการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลว เป็นสื่อนำความร้อน และเครื่องอุปกรณ์ส่วนควบให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรม รวมถึง ตรวจทดสอบ วิเคราะห์

และจัดทำรายงานความปลอดภัยในการใช้งานของหม้อน้ำพร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ไขให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม (อ้างอิง ภาคผนวก ก-2: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549,ข้อ 1 )

**1.1.2.1 หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ** มีหน้าที่

**1.1.2.1.1** ตรวจพิสูจน์ความถูกต้องในการออกแบบสำหรับการผลิต หรือซ่อมแซมหม้อน้ำของวิศวกรผู้ออกแบบ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองแบบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ โดยอย่างน้อยต้องมีการระบุมาตรฐานการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบ อัตราการผลิตไอ

หรือค่าความร้อนที่ผลิตได้ ชนิดของเชื้อเพลิงรุ่น(Model) ในหนังสือรับรองแบบ ทั้งนี้ **"ผู้ออกแบบ"**และ **"ผู้ตรวจพิสูจน์แบบ"** ต้องไม่เป็นบุคคลเดียวกัน และไม่เป็นผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานเดียวกัน

**1.1.2.1.2** ตรวจสอบการสร้าง หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ พร้อมจัดทำรายงานการตรวจสอบการสร้างส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ โดย

- ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิต การทดสอบรอยบกพร่องจากกระบวนการผลิตหม้อน้ำ ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล
- ตรวจสอบสภาพโรงงานที่ผลิตหม้อน้ำ ความร้อนรวมทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- ตรวจสอบคุณสมบัติของบุคลากรให้เหมาะสมกับข้อกำหนดในงานที่ปฏิบัติ

**1.1.2.1.3** ตรวจพิสูจน์การคำนวณ การออกแบบ การสร้าง หม้อน้ำ ที่นำเข้าจากต่างประเทศ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองการตรวจพิสูจน์ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีความประสงค์ใช้หม้อน้ำ ดังกล่าว

**1.1.2.1.4** ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่าง ๆ สำหรับหม้อน้ำ ใหม่ก่อนการติดตั้งพร้อมจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

**1.1.2.1.5** ตรวจทดสอบความปลอดภัยภายหลังการติดตั้ง และตรวจทดสอบความปลอดภัยประจำปีของหม้อน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย โดยถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และเป็นไปตามข้อกำหนดฯ (หลักเกณฑ์ และวิธีการตรวจทดสอบหม้อน้ำ) พร้อมทั้งจัดทำรายงานผลการตรวจทดสอบตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

**1.1.2.1.6** สรุปรายงานผลการดำเนินการตาม (1.1.2.1.1) ถึง (1.1.2.1.3) ตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด จัดส่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมทุก 6 เดือน ทั้งนี้กรณีมีการดำเนินการตาม (1.1.2.1.1) ให้แนบสำเนาหนังสือรับรองแบบด้วย

**1.1.2.1.7** หากตรวจสอบพบว่า การออกแบบ การผลิต การซ่อมแซม หรือการติดตั้งหม้อน้ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ออกแบบหรือผู้ประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

**1.1.2.1.8** รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่โดยที่หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ ต้องมี คุณสมบัติดังต่อไปนี้

- เป็นนิติบุคคลที่จดทะเบียนภายใต้กฎหมายไทย และมีทุนจดทะเบียนไม่น้อยกว่า 1 ล้านบาท
- มีสำนักงานที่แน่นอน สถานที่ปฏิบัติงานที่เหมาะสมและมีพื้นที่เพียงพอเพื่อใช้ในการเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบและตรวจสอบ

- มีวิศวกรเครื่องกลที่มีคุณสมบัติและคุณวุฒิดังนี้จำนวนไม่น้อยกว่า 1 คน
  - ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรและไม่อยู่ระหว่างการพักใช้ใบอนุญาต
  - มีประสบการณ์ด้านงานหม้อน้ำ ไม่น้อยกว่า 3 ปี
- มีผู้ชำนาญการที่ผ่านการฝึกอบรมเกี่ยวกับการทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้แก่ การทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง การทดสอบด้วยผงแม่เหล็ก การทดสอบด้วยสารแทรกซึม จากสถาบันที่เชื่อถือได้ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 คน
- มีเครื่องมือทดสอบและตรวจสอบดังนี้
  - ชุดเครื่องมือตรวจสอบแนวเชื่อมเหล็ก
  - เครื่องมือวัดความหนาโลหะ
  - เครื่องมือทดสอบลิ้นนิรภัย
  - เครื่องมือทดสอบเกจวัดความดัน
  - เครื่องอัดน้ำความดันสูง
- มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมประเภทนิติบุคคลจากสภาวิศวกร
- ไม่เป็นหน่วยงานที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมและยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน
- เป็นหน่วยงานที่ผู้บริหารไม่เป็นบุคคลเดียวกับผู้บริหารของหน่วยงานที่ถูก เพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

  (อ้างอิง ภาคผนวก ก-3 : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549, ภาคผนวก 1 หน้าที่และคุณสมบัติของบุคลากรประจำโรงงาน วิศวกร และหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ ภาคผนวก 1 ส่วนที่ 5)

### 1.1.3 ข้อกฎหมายสำหรับการผลิตหม้อน้ำ

ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ ต้องทำการสร้าง หรือดัดแปลงหม้อน้ำ ที่ได้รับการออกแบบและตรวจรับรองแบบ โดยหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำเท่านั้น และต้องใช้วัสดุในการสร้างตามมาตรฐานตามที่ได้รับการออกแบบนั้น และมีเอกสารรับรองคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้ในการสร้าง (Mill Certificate) เฉพาะส่วนที่รับแรงดันที่สามารถสอบกลับแหล่งที่มาได้ พร้อมทั้งลวดเชื่อมที่ใช้ในการสร้างต้องเหมาะสมกับประเภทของวัสดุที่ใช้ในการสร้างและเป็นไปตามมาตรฐานลวดเชื่อม

ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อ ต้องดำเนินการควบคุมและตรวจสอบการสร้าง ดังต่อไปนี้

- จัดให้มีช่างเชื่อม ที่มีความชำนาญในการเชื่อมหม้อน้ำ โดยเฉพาะและได้รับการรับรองตามมาตรฐาน การเชื่อม
- จัดให้มีเอกสารแสดงขั้นตอนการเชื่อม (Welding Procedure) เพื่อให้เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบได้
- จัดทำเอกสารบันทึกการดำเนินการทุกขั้นตอนในกระบวนการสร้างและการตรวจสอบพร้อมให้เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบได้ และต้องเก็บรักษาไว้อย่างน้อย 10 ปี
- จัดให้มีการตรวจสอบกระบวนการสร้าง หม้อน้ำ โดยหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ ทั้งนี้ต้องไม่เป็นวิศวกรรายเดียวกับที่ดำเนินการรับรองแบบ
- หลังจากผ่านการตรวจสอบแล้ว ให้ติดตั้งแผ่นโลหะ (Name Plate) ที่ตัวหม้อน้ำอย่างหนาแน่นถาวรในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเจน และอย่างน้อยที่สุดต้องมีการแสดงข้อมูล

  ต่อไปนี้เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษลงบนแผ่นโลหะ **สำหรับ หม้อน้ำ ต้องมีรายละเอียดดังนี้**

  - ชื่อและประเทศของบริษัทผู้ผลิต
  - เลขทะเบียน วิศวกรหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำและตรวจสอบการสร้าง
  - เดือน ปี ที่ผลิต
  - มาตรฐานการสร้าง
  - ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (Maximum allowable working pressure)
  - อัตราการผลิตไอน้ำ
  - ความดันทดสอบ
  - หมายเลขเครื่อง (Serial Number)
  - รุ่น (Model)

- ในการสร้าง หากกระบวนการสร้างทำให้คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป เช่น การเชื่อม หรือการดัดโค้ง ให้ทำการอบคลายเครียดผลิตภัณฑ์ (Stress relief)
- ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ ต้องจัดทำรายงานการสร้าง (Manufacturing Data Report) และส่งรายงานการได้รับการรับรองแบบ และรายงานการตรวจสอบ

- การสร้างให้กรมโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้ให้เป็นไปตามแบบและวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด
  (อ้างอิง ภาคผนวก ก-3 : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549 หมวด 3 การสร้างและการตรวจสอบการสร้าง)

### 1.1.4 ข้อกฎหมายว่าด้วยวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ

หน้าที่ของวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ ต้องประกอบไปด้วย

**1.1.4.1** ตรวจพิสูจน์ความถูกต้องในการออกแบบสำหรับการผลิต หรือซ่อมแซมหม้อน้ำของวิศวกรผู้ออกแบบ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองแบบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำโดยอย่างน้อยต้องมีการระบุมาตรฐานการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบ อัตราการผลิตไอหรือค่าความร้อนที่ผลิตได้ ชนิดของเชื้อเพลิง รุ่น (Model) ในหนังสือรับรองแบบ ทั้งนี้ผู้ออกแบบและผู้ตรวจพิสูจน์แบบต้องไม่เป็นบุคคลเดียวกัน และไม่เป็นผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานเดียวกัน

**1.1.4.2** ตรวจสอบการสร้าง หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ พร้อมจัดทำรายงานการตรวจสอบการสร้างส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำโดย

**1.1.4.2.1** ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิตหม้อน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐาน

**1.1.4.2.2** ตรวจสอบสภาพโรงงานที่สร้างหม้อน้ำรวมทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

**1.1.4.2.3** ตรวจสอบคุณสมบัติของบุคลากรให้เหมาะสมกับข้อกำหนดในงานที่ปฏิบัติ

**1.1.4.3** ตรวจพิสูจน์การคำนวณ การออกแบบ การสร้าง หม้อน้ำ ที่นำเข้าจากต่างประเทศ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองการตรวจพิสูจน์ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีความประสงค์ใช้หม้อน้ำดังกล่าว

**1.1.4.4** จัดทำสรุปรายงานผลการดำเนินการตาม (1.4.1) ถึง (1.4.3) ตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด จัดส่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมทุก 6 เดือน ทั้งนี้ กรณีมีการดำเนินการตาม (1.4.1) ให้แนบสำเนาหนังสือรับรองแบบด้วย

หากตรวจสอบพบว่า การออกแบบ การผลิต หรือการซ่อมแซมหม้อน้ำ ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ออกแบบ หรือผู้ประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

**1.1.4.5** รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่โดยที่ วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ ต้องมี คุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาต
- ไม่เป็นผู้ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมและยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน
  (อ้างอิง ภาคผนวก ก-3 : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549, ภาคผนวก 1 หน้าที่และคุณสมบัติของบุคลากรประจำโรงงาน วิศวกร และหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ , ภาคผนวก 1, ส่วนที่ 4)

### 1.1.5 ข้อกฎหมายสำหรับอุปกรณ์ประกอบหม้อน้ำ

หม้อน้ำ ติดตั้งเพื่อใช้งาน ต้องมีอุปกรณ์ความปลอดภัยตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา (อ้างอิง ภาคผนวก ก-1 : กฎกระทรวง,กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549,ข้อ 5) โดยระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำที่มีการติดตั้งหรือใช้หม้อน้ำต้องจัดให้มี อุปกรณ์และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ ดังนี้

**1.1.5.1 เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ** ที่ติดตั้งกับหม้อน้ำต้องมีรายละเอียดการติดตั้งดังนี้

**1.1.5.1.1** ต้องสามารถสูบน้ำป้อนหม้อน้ำที่ปริมาณไม่น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุดเครื่องสูบน้ำเข้าหม้อน้ำต้องสามารถสูบน้ำเข้าหม้อน้ำได้มนปริมาณไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของอัตราการผลิตไอสูงสุดของหม้อน้ำ (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6: ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 28(2))

**1.1.5.1.2** ต้องสามารถสูบน้ำป้อนหม้อน้ำที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.1 เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure: MAWP)

**1.1.5.1.3** เครื่องสูบน้ำเข้าหม้อน้ำต้องสามารถทำความดันได้ไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของความดันสูงสุดและมีมาตรวัดความดันติดอยู่ทางส่งของเครื่องสูบน้ำ (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 28(1))

**1.1.5.1.4** หม้อน้ำที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนมากกว่า 50 ตารางเมตรต้องมีเครื่องสูบน้ำอย่างน้อย 2 ชุด(อ้างอิง ภาคผนวก ก-6: ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 28(3))

**1.1.5.2 ลิ้นนิรภัย** ประกอบหม้อน้ำต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.2.1** ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด และในกรณีที่หม้อน้ำมีพื้นที่ผิวรับความร้อนมากกว่า 50 ตารางเมตร ต้องติดตั้งอย่างน้อย 2 ชุด

**1.1.5.2.2** ต้องสามารถระบายไอน้ำที่ความดันออกแบบหม้อน้ำได้ไม่น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุดและต้องระบายไอน้ำได้มากกว่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงสูงสุด (Maximum Firing Rate)

**1.1.5.2.3** ต้องสามารถทดสอบการทำงานได้ในขณะใช้งาน

**1.1.5.2.4** ต้องไม่มีลิ้นปิดเปิดคั่นระหว่างหม้อน้ำกับลิ้นนิรภัยและต้องไม่มีลิ้นปิด เปิด หรือปลั๊กอุดที่ท่อทางออกของลิ้นนิรภัย

**1.1.5.2.5** ต้องปรับตั้งลิ้นนิรภัยให้ระบายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 1.03 เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุดของหม้อน้ำ (MAWP)

**1.1.5.2.6** การต่อท่อระบายไอน้ำออกจากลิ้นนิรภัย ต้องมีขนาดและวิธีการติดตั้งที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

**1.1.5.2.7** ต้องจัดให้มีการป้องกันอันตรายหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ เนื่องจากความดัน ความร้อนและเสียงซึ่งเกิดจากการระบายไอน้ำของลิ้นนิรภัยลิ้นนิรภัยตัวที่เล็กที่สุดบ่าลิ้นต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 24(1))

**1.1.5.2.8** ท่อระบายไอออกจากลิ้นนิรภัยต้องมีส่วนโค้งงอ 90 หรือ 45 องศาไม่เกิน 2 โค้งและไม่มีสิ่งกีดขวางอุดตัน และไอที่ระบายออกต้องไม่เป็นอันตรายต่อบุคคลอื่น

(อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 24(5))

**1.1.5.3 อุปกรณ์แสดงระดับน้ำ เช่น หลอดแก้ว แท่งแก้ว แถบแม่เหล็ก** ประกอบหม้อน้ำต้องมีรายละเอียดและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.3.1** ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด

**1.1.5.3.2** ต้องติดตั้งครอบป้องกันอันตราย ในกรณีอุปกรณ์แสดงระดับน้ำเป็นแบบหลอดแก้วและหลอดแก้วต้องเป็นชนิดนิรภัย

**1.1.5.3.3** ต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับน้ำต่ำสุด ระดับน้ำปกติและระดับน้ำสูงสุดให้เห็นชัดเจน

**1.1.5.3.4** ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิด ที่ท่อระหว่างหม้อน้ำกับอุปกรณ์แสดงระดับน้ำโดยขนาดของท่อและลิ้นปิดเปิดต้องไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร

**1.1.5.3.5** ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิดและต่อท่อระบายใต้อุปกรณ์แสดงระดับน้ำไปยังที่ที่ปลอดภัยและสามารถมองเห็นน้ำหรือไอน้ำที่ระบายออก

**1.1.5.4 ลิ้นกันกลับ (Check Valve หรือ Non Return Valve)** ต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.4.1** ต้องติดตั้งที่ท่อป้อนน้ำระหว่างเครื่องสูบน้ำกับหม้อน้ำ อย่างน้อย 1 ชุด โดยให้อยู่ใกล้หม้อน้ำมากที่สุด และมีขนาดไม่เล็กกว่าท่อป้อนน้ำ ในกรณีที่หม้อน้ำมีการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นน้ำ (Economizer)ให้ติดตั้งลิ้นกันกลับระหว่างเครื่องสูบน้ำและอุปกรณ์อุ่นน้ำ

**1.1.5.4.2** ในกรณีที่หม้อน้ำใช้เครื่องสูบน้ำ 2 เครื่องต่อท่อป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับเพิ่มอีก 1 ชุด ที่ท่อส่งน้ำของเครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่อง

**1.1.5.4.3** ในกรณีที่หม้อน้ำ 2 เครื่องต่อท่อจ่ายไอน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อจ่ายไอน้ำของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง

**1.1.5.5 มาตรวัดความดันไอน้ำ (Pressure Indicator หรือ Pressure Gauge)** ต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.5.1** ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด

**1.1.5.5.2** ต้องติดตั้งท่อไส้ไก่ (Siphon) หรือท่อรูปตัวยู (U-Shape) ระหว่างหม้อน้ำและมาตรวัดความดันไอน้ำ

**1.1.5.5.3** มาตรวัดความดันไอน้ำ จัดให้มีสเกลที่วัดได้ระหว่างเท่าครึ่งถึงสองเท่าของความดันใช้งานสูงสุดและมีขีดสีแดงบอกถึงความดันใช้งานสูงสุดของหม้อน้ำไว้ด้วย เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าปัดต้องไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 26(1))

**1.1.5.5.4** การติดตั้งและข้อต่อในอุณหภูมิบรรยากาศไม่ต่ำกว่า 4$^{\circ}$C แต่ไม่เกิน 66$^{\circ}$C (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 26(5))

**1.1.5.5.5** ในกรณีที่ต้องเอียงมาตรวัดความดันไอน้ำให้เอียงหน้าลงเพื่อให้เห็นชัดเจนโดยทำมุมไม่เกิน 30 องศา (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 26(6))

**1.1.5.6 ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ (Blow down Valve)** ต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติดังนี้

**1.1.5.6.1** ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด

**1.1.5.6.2** ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร และไม่มากกว่า 65มิลลิเมตร

**1.1.5.6.3** ต้องติดตั้งบริเวณจุดต่ำสุดของหม้อน้ำ และอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกต่อการใช้งาน

**1.1.5.6.4** ต้องจัดให้มีการป้องกันอันตรายหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ เนื่องจากความดัน ความร้อนและเสียง ซึ่งเกิดจากการระบายน้ำร้อนออกจากลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ

**1.1.5.7 ฉนวนกันความร้อน** ต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.7.1** ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ตัวหม้อน้ำ ลิ้นจ่ายไอน้ำ (Main Steam Valve) ท่อจ่ายไอน้ำ ถังพักไอน้ำ ผนังห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง (ในกรณีห้องเผาไหม้อยู่นอกหม้อน้ำ) รวมทั้งถังเก็บน้ำร้อน ปล่องไอเสียและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ ซึ่งมีอุณหภูมิผิวตั้งแต่ 85°C ขึ้นไป และติดตั้งอยู่ในระดับความสูงหรือบริเวณที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้อยู่ใกล้เคียง

**1.1.5.7.2** ผิวฉนวนกันความร้อน ต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 60°C ในขณะใช้หม้อน้ำ

**1.1.5.8 ลิ้นจ่ายไอน้ำ** ต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.8.1** ต้องเป็นชนิดปิดเปิดช้า เช่น โกล์บวาล์ว (Globe Valve)

**1.1.5.8.2** ต้องติดตั้งที่ด้านบนของตัวหม้อน้ำ ถังพักไอน้ำ (Steam Header)โดยติดตั้งให้ใกล้กับโครงสร้างรับความดันมากที่สุด

**1.1.5.9 เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ** ต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.9.1** ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด

**1.1.5.9.2** ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงานอย่างน้อย ดังนี้

**1.1.5.9.2.1** ต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย เมื่อระดับน้ำต่ำผิดปกติ (Low Water Alarm) โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียงสำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากเครื่องควบคุมระดับน้ำ โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

**1.1.5.9.2.2** ต้องตัดวงจรพัดลมช่วยเผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤต(Low Water Cut-off) ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งใช้พัดลมช่วยเผาไหม้และป้อนเชื้อเพลิงแบบควบคุมด้วยคน

**1.1.5.9.2.3** ต้องตัดวงจรการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤตในกรณีที่ใช้เครื่องพ่นไฟ (Burner) หรืออุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบป้อนเชื้อเพลิงและอากาศอัตโนมัติ

**1.1.5.10 สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure Switch)** ต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.10.1** ต้องติดตั้งอย่างน้อย 1 ชุด โดยไม่มีลิ้นปิดเปิดคั่นระหว่างหม้อน้ำกับสวิตช์ควบคุมความดัน

**1.1.5.10.2** ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงานอย่างน้อย ดังนี้

**1.1.5.10.2.1** ต้องตัดวงจรการทำงานทั้งหมดของเครื่องพ่นไฟ หรืออุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบป้อนเชื้อเพลิงและป้อนอากาศ (Force Draft Fan) อัตโนมัติ เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงจุดวิกฤต (High Pressure Cut off)ในกรณีนี้เมื่อความดันไอน้ำต่ำลงถึงจุดที่ตั้งไว้ สวิตช์ควบคุมความดันต้องไม่สามารถต่อวงจรให้อุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงทำงานใหม่แบบอัตโนมัติ1.5.10.2.2 ต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงจุดวิกฤต โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียงสำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากสวิตช์ควบคุมความดันโดยตรงและต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

**1.1.5.11 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (Flame Detector) สำหรับเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ** ต้องมีรายละเอียดการติดตั้งและคุณสมบัติ ดังนี้

**1.1.5.11.1** ต้องเป็นชนิดที่สามารถตรวจจับรังสีความร้อนหรือคลื่นแสงหรืออุณหภูมิของห้องเผาไหม้ ตรงตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อน้ำ

**1.1.5.11.2** ต้องติดตั้งที่เครื่องพ่นไฟหรือห้องเผาไหม้และให้ทำหน้าที่ตัดวงจรการทำงานของเครื่องพ่นไฟ ในกรณี ดังนี้

**1.1.5.11.2.1** เมื่อตรวจพบเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ในขณะวงจรไล่อากาศอัตโนมัติของเครื่องพ่นไฟกำลังทำงาน (Pre Purge)

**1.1.5.11.2.2** เมื่อตรวจไม่พบเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ในขณะที่วงจรไล่อากาศอัตโนมัติทำงานสิ้นสุดลง และวงจรป้อนเชื้อเพลิงกำลังทำงานแต่จุดไฟไม่ติด หรือจุดไฟติดแล้วแต่เปลวไฟดับไป

**1.1.5.12 มาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย** ต้องติดตั้งที่ปล่องไอเสีย บริเวณใกล้ทางออกของหม้อน้ำมากที่สุด อย่างน้อย 1 ชุด

**1.1.5.13 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสีย (Flue Gas Thermostat)**

**1.1.5.13.1** ต้องติดตั้งที่ปล่องไอเสียบริเวณใกล้ทางออกของหม้อน้ำมากที่สุดอย่างน้อย 1 ชุด

**1.1.5.13.2** ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงาน เมื่ออุณหภูมิปล่องไอเสีย สูงเกินอุณหภูมิที่กำหนด โดยต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียงสำหรับวงจรแสงเตือนภัย

**1.1.5.13.3** ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิโดยตรง โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

**1.1.5.14 บันไดและทางเดินสำหรับหม้อน้ำหม้อน้ำที่สูงเกิน 3 เมตรจากพื้นถึงเปลือกด้านบน** ต้องติดตั้งบันไดและทางเดินพร้อมราวจับและขอบกันตก

**1.1.5.15 ปลั๊กหลอมละลาย (Fusible plugs) ต้องปฏิบัติดังนี้**

**1.1.5.15.1** โลหะผสมที่ใช้ทำต้องมคุณสมบัติละลายระหว่าง 230 - 232°C สำหรับหม้อน้ำที่มีความดันไม่เกิน 10 บาร์

**1.1.5.15.2** ต้องหมั่นตรวจดูสภาพอยู่เสมอ หากพบว่าอยู่ในสภาพไม่ดีให้ถอดทำการเปลี่ยนใหม่และห้ามใช้งานเกิน 1 ปี

**1.1.5.15.3** เกลียวที่ใช้ขันเข้าท่อไฟใหญ่ต้องเป็นลักษณะเรียว ลงจุดคอคอดโตไม่น้อยกว่า 9 มิลลิเมตร ความยาวส่วนหลอมละลายไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร และปลายทางออกด้านไฟไม่น้อยกว่า 12.5 มิลลิเมตร (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6: ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 29))

**1.1.5.16 กรณีที่มีหม้อน้ำตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปท่อจ่ายไอร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อหลังลิ้นจ่ายไอของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง**

(อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 32))

**1.1.6 มาตรฐานการปล่อยอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ**

“สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อน้ำ” หมายความว่า สถานที่ซึ่งผู้ประกอบการมีและใช้หม้อน้ำเพื่อการประกอบกิจการของตน โดยมีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำตั้งแต่ 1ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป(ไม่รวมถึงหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม (LPG) ก๊าซธรรมชาติ(NG) หรือพลังงานไฟฟ้า)

ห้ามมิให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อน้ำปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศเว้นแต่จะได้ทำการบำบัดอากาศเสียให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าความทึบแสงของเขม่าควันจากสถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อน้ำ แต่ทั้งนี้ ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (dilution)
(อ้างอิง ภาคผนวก ก-7: ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้สถานประกอบกิจการที่ใช้หม้อน้ำเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ พ.ศ. 2548)

อากาศเสียแต่ละชนิดที่ปล่อยทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

| ชนิดของอากาศเสีย | แหล่งที่มาของอากาศเสีย | ค่าปริมาณของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจาก | |
|---|---|---|---|
| | | กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง | กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง |
| 1.ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | 1.1 หม้อน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ | | |
| | (1) น้ำมันเตา | - | ไม่เกิน 240 |
| | (2) ถ่านหิน | - | ไม่เกิน 320 |
| | (3) ชีวมวล | - | ไม่เกิน 320 |
| | (4) เชื้อเพลิงอื่นๆ | - | ไม่เกิน 320 |
| | 1.2 การถลุง หล่อหลอม รีดดึง และ/หรือผลิตอะลูมิเนียม | ไม่เกิน 300 | ไม่เกิน 240 |
| | 1.3 กระบวนการผลิต | ไม่เกิน 400 | ไม่เกิน 320 |
| 2. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) 2.(ส่วนในล้านส่วน) | 2.1 หม้อน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ | | |
| | 1) น้ำมันเตา | - | ไม่เกิน 950 |
| | (2) ถ่านหิน | - | ไม่เกิน 700 |
| | (3) ชีวมวล | - | ไม่เกิน 60 |
| | (4) เชื้อเพลิงอื่นๆ | - | ไม่เกิน 60 |
| | 2.2 กระบวนการผลิต | ไม่เกิน 500 | - |

| ชนิดของอากาศเสีย | แหล่งที่มาของอากาศเสีย | ค่าปริมาณของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจาก | |
|---|---|---|---|
| | | กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง | กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง |
| 3. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งคำนวณในรูปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (Oxides of nitrogen as Nitrogen dioxide) (ส่วนในล้านส่วน) | หม้อน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงดังนี้ | | |
| | (1) น้ำมันเตา | - | ไม่เกิน 200 |
| | (2) ถ่านหิน | - | ไม่เกิน 200 |
| | (3) ชีวมวล | - | ไม่เกิน 200 |
| | (4) เชื้อเพลิงอื่นๆ | - | ไม่เกิน 200 |

กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือที่ 760 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 25$^{o}$C ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรอากาศเสียที่ออกซิเจน (%$O_2$) ร้อยละ 7

(อ้างอิง ภาคผนวก ก-8 : ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549)

### 1.1.7 ข้อกฎหมายสำหรับการติดตั้งหม้อน้ำ

สถานที่ติดตั้ง การติดตั้ง การตรวจสอบและทดสอบหลังการติดตั้งและการเคลื่อนย้ายหม้อน้ำต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(อ้างอิง ภาคผนวก ก-1 : กฎกระทรวง,กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549,ข้อ 6)

สถานที่ติดตั้งและฐานรากหม้อน้ำ ต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

**1.1.7.1** หม้อน้ำที่ติดตั้งในอาคารต้องมีระยะห่างจากเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบหม้อน้ำ ไม่น้อยกว่า 2.5 เมตร และห่างจากผนังอาคาร หม้อน้ำ และเพดานไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร ยกเว้นหม้อน้ำแบบไหลผ่านทางเดียว(Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน 10 ตารางเมตรและความดันใช้งานสูงสุดไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ ระยะดังกล่าวต้องเพียงพอต่อการบำรุงรักษาและตรวจสอบ

**1.1.7.2** สถานที่ติดตั้งต้องมีทางเข้าออกอย่างน้อย 2 ทาง มีความกว้างอย่างน้อย 0.6 เมตร ความสูงอย่างน้อย 2 เมตร และต้องปราศจากสิ่งกีดขวางทางเข้าออก

**1.1.7.3** ในกรณีที่จำเป็นต้องเก็บเชื้อเพลิงไว้ในบริเวณสถานที่ติดตั้ง ต้องเก็บอยู่ห่างจากหม้อน้ำไม่น้อยกว่า 1 เมตร

**1.1.7.4** ฐานรากสถานที่ติดตั้งหม้อน้ำและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดต้องมั่นคงแข็งแรง (อ้างอิง ภาคผนวก ก-3: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549, ข้อที่ 13)

**1.1.7.5** ห้องหม้อน้ำจะต้องมีแสงสว่างเพียงพอที่จะอ่านและควบคุมได้สะดวก สิ่งกีดขวางที่พาดระดับต่ำกว่าศรีษะต้องทำเครื่องหมายโดยทาสีหรือใช้เทปสะท้อนแสงให้เห็นได้อย่างชัดเจน (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย, เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับ หม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 19)

**1.1.7.6** ต้องมีการจัดระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉินส่องไปยังทางออก และเครื่องวัดต่างๆ รวมทั้งแผงควบคุมอย่างชัดเจน ในกรณีไฟฟ้าดับ (อ้างอิง ภาคผนวก ก-6 : ประกาศกระทรวงมหาดไทย , เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534, ข้อที่ 20)

### 1.1.8 ข้อกฎหมายสำหรับตรวจทดสอบหม้อน้ำ

การทดสอบหม้อน้ำในโรงงานผู้ผลิตจะประกอบไปด้วย

**1.1.8.1 การทดสอบก่อนการใช้งาน** (Acceptance test) โดยผู้ประกอบกิจการจะต้องมีการจัดเตรียมการตรวจสอบดังนี้

**1.1.8.1.1** ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการติดตั้งหม้อน้ำ ต้องจัดให้มีการตรวจสอบภายนอกภายใน และการทำงานของระบบการควบคุมก่อนการใช้งานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดใน **ภาคผนวก ก-3** (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2549 ข้อที่ 14(1)) โดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือ หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ และจัดส่งต้นฉบับรายงานให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน 30 วัน หลังจากทำการตรวจสอบความปลอดภัย

**1.1.8.1.2** หม้อน้ำที่นำชิ้นส่วนมาประกอบ ณ สถานที่ใช้งานต้องทำการตรวจสอบตามแนวเชื่อมส่วนรับแรงดัน ภายใต้การควบคุมดูแลของวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อม หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ (อ้างอิง **ภาคผนวก ก-3**: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2549, ข้อที่ 14(2))

**1.1.8.2 การทดสอบระหว่างการใช้งาน (Periodic test)**

**1.1.8.2.1** ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ ต้องจัดให้มีการตรวจสอบหม้อน้ำโดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ เป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

**1.1.8.3 การตรวจสอบสภาพภายนอก (External Inspection)**

**ผู้ตรวจทดสอบต้องดำเนินการดังนี้**

**1.1.8.3.1** ตรวจดูสภาพการติดตั้งหม้อน้ำ และระบบท่อ ความถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ความเหมาะสมของพื้นที่ติดตั้ง

**1.1.8.3.2** ตรวจสอบสภาพภายนอก หากพบสิ่งผิดปกติให้ถอดฉนวนออกบางส่วนเพื่อตรวจสภาพเปลือกหม้อน้ำ หรือโครงสร้างภายในฉนวน

**1.1.8.3.3** ตรวจสอบสภาพการรั่วซึมของส่วนต่าง ๆ ของหม้อน้ำ

**1.1.8.3.4** ตรวจสอบสภาพรอยร้าวในส่วนต่าง ๆ ของหม้อน้ำ

**1.1.8.3.5** ตรวจสอบจำนวน ขนาด การติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัย เพื่อให้มีความสมบูรณ์ตามหลักวิศวกรรมและถูกต้องตามที่กฎหมายกำหนด

**1.1.8.4 การตรวจสอบสภาพภายใน (Internal Inspection)**

**ผู้ตรวจทดสอบต้องดำเนินการดังนี้**

**1.1.8.4.1** ตรวจสอบสภาพผิวด้านสัมผัสไฟ และด้านสัมผัสน้ำ เช่น ผนังเตา ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) ท่อไฟใหญ่ ท่อไฟเล็ก (Smoke Tube) ผนังหน้า-หลัง (End Plate) ท่อน้ำ (Water Tube) ท่อของเหลว อุปกรณ์อุ่นน้ำ(Economizer) อุปกรณ์อุ่นอากาศ (Air Pre-heater) ของหม้อน้ำ โดยให้ตรวจสอบดังต่อไปนี้

- ตรวจสอบการบิดเบี้ยว การยุบตัวหรือการเสียรูป การแตกร้าวของรอยเชื่อม การรั่วซึม และต้องตรวจสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว ความหนา เพื่อประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดัน
- ตรวจสอบการบิดเบี้ยว การเสียรูปหรือความผิดปกติเนื่องจากความร้อน (Overheat)
- ตรวจสอบสภาพการผุกร่อน การกัดกร่อนของผิวด้านสัมผัสน้ำ และด้านสัมผัสไฟ
- สำหรับหม้อน้ำ ตรวจสอบสภาพของตะกรันและการสะสมของโคลนตะกอน โดยความหนาของตะกรันที่ตรวจพบต้องไม่มากกว่า 1/16 นิ้ว (1.5 มิลลิเมตร)
- ตรวจสอบสภาพปูนทนไฟ อิฐทนไฟ หรือฉนวนกันความร้อน
- ตรวจสอบความหนาและความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดัน และสภาพรอยเชื่อมต่าง ๆโดยวิธีการและเครื่องมือตรวจสอบให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ตรวจสอบ
- ตรวจสอบสภาพเหล็กยึดโยงต่างๆ
- ตรวจสอบการอุดตันของท่อทางเข้าและออกต่างๆ

**1.1.8.5 ตรวจทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดันของหม้อน้ำ ด้วยการอัดน้ำ (Hydrostatic Test)** โดยน้ำที่ใช้อัดทดสอบหม้อน้ำต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน $49^0$C ในการตรวจทดสอบให้ดำเนินการดังนี้

- กรณีหม้อน้ำ สร้างใหม่ หรือมีการดัดแปลง ซ่อมแซม หรือเปลี่ยนโครงสร้างรับความดันให้วิศวกรผู้ตรวจทดสอบทำการอัดน้ำที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure หรือ MAWP) และคงความดันไว้ไม่น้อยกว่า 10 นาที จากนั้นให้ลดความดันลงเหลือเท่ากับ 1 เท่า หรือไม่เกิน 1.25 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP) แล้วตรวจสอบการรั่วซึมในส่วนต่าง ๆ
- กรณีการตรวจทดสอบความดันด้วยการอัดน้ำประจำปี (Annual Hydrostatic Test) ให้วิศวกรผู้ตรวจทดสอบทำการอัดน้ำที่ความดันไม่ต่ำกว่า1 เท่าหรือไม่เกิน 1.25เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP) และต้องมีการตรวจสอบการรั่วซึม โดยในการนี้ให้คงความดันไว้จนกว่าการตรวจสอบการรั่วซึมจะแล้วเสร็จ
- หากไม่ทราบข้อมูลความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด(MAWP) ให้วิศวกรอัดน้ำทดสอบที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันใช้งานสูงสุด(Maximum Working Pressure หรือ MWP) และคงความดันไว้ไม่น้อยกว่า 30 นาที เพื่อตรวจสอบการรั่วซึมในส่วนต่าง ๆ
- ปรับตั้งการทำงานลิ้นนิรภัย (Safety Valve) ของหม้อน้ำให้ระบายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 1.03 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP)

**1.1.8.6 การตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบการควบคุมและอุปกรณ์ความปลอดภัย (Functional Test)** ผู้ตรวจทดสอบจะต้องตรวจสอบสภาพ ความเหมาะสม ความครบถ้วน ความถูกต้องในการทำงานของอุปกรณ์ส่วนควบ อุปกรณ์ ระบบความปลอดภัยตามที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ

**1.1.8.7 การดำเนินการภายหลังการตรวจสอบ และความรับผิดชอบของผู้ตรวจสอบ**

**1.1.8.7.1** ผู้ตรวจทดสอบต้องจัดให้มีการถ่ายภาพที่แสดงถึงการตรวจทดสอบภายใน และหรือภายนอกหม้อน้ำซึ่งกระทำโดยผู้ตรวจทดสอบ โดยให้แนบภาพถ่ายท้ายรายงานผลการตรวจทดสอบ

**1.1.8.7.2** ผู้ตรวจทดสอบ ต้องจัดทำเอกสารรายงานผลการตรวจทดสอบความปลอดภัยหม้อน้ำ แล้วจัดส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานพร้อมกับสำเนาใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม และสำเนาหนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ โดยรับรองสำเนาถูกต้อง

**1.1.8.7.3** กรณีพบว่าโครงสร้าง ส่วนประกอบหรือระบบการทำงานของหม้อน้ำ ส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดมีข้อบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์เชิงวิศวกรรม วิศวกรตรวจทดสอบหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ ต้องบันทึกข้อบกพร่อง หรือความไม่สมบูรณ์พร้อมคำแนะนำวิธีการแก้ไขข้อบกพร่องและความไม่สมบูรณ์นั้นให้แก่ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

**1.1.8.8 การเตรียมการก่อนการตรวจทดสอบหม้อน้ำ**

ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดเตรียมหม้อน้ำ ก่อนการตรวจทดสอบหม้อน้ำ และบุคลากร ดังนี้

**1.1.8.8.1** หยุดการใช้หม้อน้ำ ล่วงหน้าก่อนการตรวจทดสอบโดยการหยุดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (ปิด Burner กรณีหม้อน้ำใช้เชื้อเพลิงเหลว หากใช้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น ฟืน ขี้เลื่อย แกลบ ถ่านหิน ฯลฯ ให้นำเชื้อเพลิงพร้อมขี้เถ้าออกจากเตาให้หมด

**1.1.8.8.2** ระบายไอน้ำออกจากหม้อน้ำให้หมด และลดอุณหภูมิภายในหม้อน้ำให้มีอุณหภูมิไม่เกิน 490 $^{\circ}$C ทั้งนี้ การลดอุณหภูมิหม้อน้ำไม่ควรถ่ายน้ำร้อนทั้งหมดทิ้งแล้วเติมน้ำเย็นทันที

**1.1.8.8.3** เปิดประตูเตาหรือฝาด้านหน้า-หลัง หรือช่องเปิดต่าง ๆ ของหม้อน้ำ เพื่อให้เห็นผิวด้านสัมผัสไฟและทำความสะอาดผิวด้านสัมผัสไฟทั้งหมดให้ปราศจากเขม่าขี้เถ้าระบายน้ำออกจากหม้อน้ำให้หมด เปิดช่องคนลอด ช่องมือลอด ช่องทำความสะอาดและทำความสะอาดภายในหม้อน้ำ

**1.1.8.8.4** จัดเตรียมประเด็นของส่วนต่าง ๆ เช่น ช่องคนลอด ช่องมือลอด ฝาหน้า-หลัง และหน้าแปลนต่าง ๆ เพื่อสำหรับเปลี่ยนใหม่ภายหลังจากการเปิดตรวจทดสอบหรือทำความสะอาด

**1.1.8.8.5** จัดให้ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำและผู้ที่เกี่ยวข้องอยู่อำนวยความสะดวกหรือให้ข้อมูลแก่วิศวกร และรับทราบคำแนะนำจากวิศวกรในวันตรวจทดสอบ

**1.1.8.8.6** กรณีที่มีการใช้หม้อน้ำ ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปโดยมีระบบท่อร่วมกันให้ตัดแยกระบบท่อไอน้ำของหม้อน้ำ ที่กำลังใช้งานออกจากระบบหม้อน้ำที่จะตรวจทดสอบ

**1.1.8.8.7** จัดเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น บันทึกประจำวันการใช้งานหม้อน้ำ ประวัติการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษา รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเข้าหม้อน้ำ หรือเอกสารที่จำเป็นเพื่อประกอบการตรวจทดสอบ

**1.1.8.8.8** ถอดชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการตรวจทดสอบตามคำร้องขอของผู้ตรวจทดสอบ

ผู้ตรวจทดสอบหม้อน้ำ จะต้องทบทวนประวัติหม้อน้ำ เพื่อประกอบการพิจารณาตรวจทดสอบการสืบค้นปัญหาและการวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยให้พิจารณาจากข้อมูลตามข้อ 1.1.8.8.7

ผู้ประกอบกิจการโรงงานและวิศวกรผู้ตรวจทดสอบจะต้องคำนึงถึงอันตรายต่าง ๆ และดำเนินการให้เกิดความปลอดภัยส่วนบุคคลในขณะตรวจสอบหม้อน้ำ ในเรื่องดังต่อไปนี้

- ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้เพียงพอต่อการใช้งาน และต้องระมัดระวังอันตรายต่าง ๆ ในบริเวณทำงาน และอันตรายที่อาจเกิดจากการตรวจทดสอบ
- ต้องจัดให้มีการป้องกันการเริ่มทำงานของหม้อน้ำโดยการตัดแยกระบบพลังงานเพื่อป้องกันอันตรายจากการจ่ายพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานอื่น ๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ตรวจทดสอบในระหว่างการตรวจทดสอบ
- ต้องจัดให้มีการระบายอากาศภายในห้องเผาไหม้หม้อน้ำ หรือบริเวณที่อับอากาศ (Confined Space) อย่างเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ตรวจทดสอบ

# 1.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหม้อน้ำ

| ลำดับ | รายการ | ข้อบังคับ (CODE) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ASME | TRD | BS | JIS |
| 1 | หม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) | ASME-I part PWT | TRD 300 | BS-EN 12952-3 | JIS B 8201 |
| 2 | การติดตั้งหม้อน้ำแบท่อน้ำ (Water tube boiler installation) | ASME-I part PG | TRD 401 | BS-EN 12952-3 | |
| 3 | หม้อน้ำแบบท่อน้ำและการติดตั้งอุปกรณ์ ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ประกอบ (Water tube boiler and Auxillary installation. Requirment for equipment for the boiler) | ASME-I part PG | TRD 403 | BS-EN129527;2002 | |
| 4 | ข้อเสนอแนะในการรักษาหม้อน้ำต้นกำลัง (Recommendation Guideline for Care of Power boiler) | ASME-VII | TRD 601 | | |
| 5 | หม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) | ASME-I part PFT | TRD 300 | BS-EN 12953-1 Part.1 | JIS B 8201 |
| 6 | วัสดุสำหรับส่วนรับความดันของหม้อน้ำและอุปกรณ์อื่นๆ (Material for pressure parts of boiler and accessories) | ASME-II | TRD 100 | BS-EN 12953-2 Part.2 | |
| 7 | คู่มือ/ข้อเสนอแนะในการรักษาและใช้งานหม้อต้ม (Operating instruction/Recommendation Rule for the care and operation of heating boiler) | ASME-VI | TRD 701 | BS-EN 12953-13 Part.13 | |
| 8 | การตรวจสอบและการทดสอบ (Inspeciton and Testing) | ASME-I และ V | TRD 500 | | |
| 9 | มาตรฐานสำหรับการเชื่อม Standard for welding | ASME-IX | TRD 201 | | |

**หม้อน้ำ(Boiler)** ซึ่งถือได้ว่าเป็นเครื่องจักรที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดความอันตรายต่อการใช้งาน ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานจึงต้องมีการควบคุมการผลิตหม้อน้ำอย่างเคร่งครัด ซึ่งในแต่ละประเทศจะมีการควบคุมมาตรฐานในการผลิตหม้อน้ำโดยใช้มาตรฐานที่แตกต่างกัน แต่สำหรับประเทศไทยมีการนำหม้อน้ำที่ผลิตจากมาตฐานต่างประเทศเข้ามาใช้ในประเทศ เช่น

- "British standard ; BS-standard" : สหราชอาณาจักร
- "American Standard Mechanical Engineer ; ASME" : ประเทศสหรัฐอเมริกา
- "Technical Rule for Boiler ; TRD" : ประเทศสหพันธสาธารณรัฐเยอรมนี
- "Japanese Industrial Standard ; JIS" : ประเทศญี่ปุ่น
- "Standardization Administration of China ; GB" : ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

"**มาตรฐาน" หมายถึง** ข้อตกลงที่จัดทำขึ้นเป็นเอกสาร โดยการรวบรวมข้อมูลหรือข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Specifications) หรือวิธีการทำงาน ที่ถูกต้อง เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป แล้วร่วมกำหนดเป็นเกณฑ์ข้อบังคับขึ้นมาหรือ นิยาม คำจำกัดความคุณลักษณะเฉพาะ (Definition of Characteristics) ของสิ่งนั้นๆที่จะทำให้เกิดความเชื่อมั่นว่า วัสดุ ผลิตภัณฑ์ ขบวนการ หรือการบริการนั้นๆ บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

จากความหมายของคำว่ามาตรฐานจึงสามารถแบ่งลักษณะของมาตรฐานออกเป็น 2 อย่างคือ (1) มาตรฐานบังคับตามกฎหมาย มาตฐานควบคุม ซึ่งถือได้ว่าเป็น กฎหมายข้อบังคับ ซึ่งในต่างประเทศจะใช้คำว่า"CODE" หรือ "ACT".และ(2) มาตรฐานทางวิชาการซึ่งเป็นข้อตกลงที่กำหนดขึ้นจากการศึกษา รวบรวมข้อมูลทางวิชาการ ในต่างประเทศจะใช้คำว่า "STANDARD"

หนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานบังคับ (CODE) ในการผลิตหม้อน้ำ ซึ่งจะกล่าวทั้งในส่วนการผลิตและการออกแบบคำนวนโดยจะเน้นให้สอดคล้องกับมาตรฐาน "ASME" เป็นหลัก แต่มีส่วนประกอบบางส่วนมีการคำนวณโดยใช้แนวคิดตามมาตรฐาน "TRD" เพื่อให้ครบถ้วนและในสะดวกในการออกแบบ เช่น "Gusset stay: TRD 305"
มาตรฐาน "ASME" สำหรับการผลิตหม้อน้ำและภาชนะรับแรงดัน ประกอบด้วย 12 ส่วนคือ

**SECTION I กฎข้อกำหนดการสร้างหม้อน้ำ (Rules for Construction of Power Boilers)**

**SECTION II วัสดุ (Materials)**

**Part A** — ข้อกำหนดสำหรับวัสดุกลุ่มเหล็ก (Ferrous Material Specifications)

**Part B** — ข้อกำหนดสำหรับกลุ่มวัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก (Nonferrous Material Specifications

**Part C** — ข้อกำหนดสำหรับลวดเชื่อม ลวดขั้วไฟฟ้า และลวดเติม (Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals)

**Part D** — คุณสมบัติต่างๆตาม US-matrix (Properties: Customary)

**Part D** — คุณสมบัติต่างๆตาม SI-matrix Properties (Metric)

**SECTION III** ข้อกำหนดในการก่อสร้างโรงไฟฟ้า “Nuclear Component Accessories” สำหรับส่วนย่อยที่ 1 และ ส่วนย่อยที่ 2

**Subsection NCA — General Requirements for Division 1 and Division 2**

**SECTION III** ส่วนย่อยที่ 1 **(SECTION III Division 1)**

**Subsection NB** — ส่วนประกอบสำหรับ คลาส 1: ชิ้นส่วนหลักในระบบหล่อเย็น (Class 1 Components)

**Subsection NH** — ส่วนประกอบสำหรับ คลาส 1: ชิ้นส่วนหลักในระบบหล่อเย็นในสภาวะอุณหภูมิสูง (Class 1 Component in Elevated Temperature Service)

**Subsection NC** — ส่วนประกอบสำหรับ คลาส 2: ชิ้นส่วนประกอบอื่นๆที่ใช้ในระบบความปลอดภัยต่อส่วนหลักในระบบหล่อเย็น (Class 2 Components)

**Subsection ND** — ส่วนประกอบสำหรับ คลาส 3: ชิ้นส่วนประกอบอื่นๆที่จำเป็นต่อการใช้งานโรงนิวเคลียร์ (Class 3 Components)

**Subsection NE** — Class MC Components

**Subsection NF** — Supports

**Subsection NG** — Core Support Structures

**Appendices**

**SECTION III** ส่วนย่อยที่ 2 (SECTION III Division 2) — ข้อกำหนดสำหรับงานคอนกรีต (Code for Concrete Containments)

**SECTION III** ส่วนย่อยที่ 3 (SECTION III Division 3) — การบรรจุสำหรับ การขนส่งและจัดเก็บของกากนิวเคลียร์และวัสดุที่ปนเปื้อนสารกัมตรังสี (Containments for Transport and Storage of Spent Nuclear Fuel and High Level Radioactive Material and Waste)

**SECTION IV** กฎการออกแบบสำหรับหม้อน้ำเครื่องทำความร้อน (Rules for Construction of Heating Boilers)

**SECTION V** กฎการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Examination)

**SECTION VI** กฎข้อแนะนำในการดูแลและใช้งานหม้อน้ำ (Recommended Rules for the Care and Operation of Heating Boilers)

**SECTION VII** แนวทางของข้อแนะนำในการบำรุงรักษาหม้อน้ำต้นกำลัง (Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers)

**SECTION VIII** ข้อกำหนดในการก่อสร้างภาชนะรับความดัน (Rules for Construction of Pressure Vessels)

**Division 1** – กฎการก่อสร้างของภาชนะรับความดัน ปกติแล้วใช้ออกแบบที่ความดัน < 200 บาร์ ใช้ทฤษฎี “Membrane - Maximum stress”

**Division 2** – ทางเลือกอื่นๆ (Alternative Rules) ปกติแล้วใช้ออกแบบที่ความดัน > 40 บาร์ ใช้ทฤษฎี “Shell of Revolution - Max. Shear stress”

**Division 3** - กฎของทางเลือกในการก่อสร้างของภาชนะรับความดันสูง (Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels) ปกติแล้วความดัน > 680 บาร์ ใช้ทฤษฎี “Max. Shear stress”

**SECTION IX** ข้อกำหนด การทดสอบ ในการเชื่อมและการบัดกรีแข็ง (Welding and Brazing Qualifications)

**SECTION X** ภาชนะรับแรงดันที่ใช้พลาสติกกับเส้นใยเสริมรับแรง (Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels)

**SECTION XI** กฎในการตรวจสอบระหว่างการใช้งานส่วนประกอบในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Rules for In-service Inspection of Nuclear Power Plant Components)

**SECTION XII** กฎข้อบังคับในการก่อสร้างและใช้งานถังบรรจุที่ใช้ในการขนส่ง (Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks)

แต่ในการผลิตและก่อสร้างหม้อน้ำที่สำคัญจะใช้ “SECTION I” ซึ่งมีเนื้อหาการคำนวนการออกแบบและข้อกำหนดของการผลิตหม้อน้ำในแต่ละประเภท “SECTION II” ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับมาตรฐานด้านคุณสมบัติวัสดุ “SECTION V” ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และ “SECTION IX” ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการเชื่อมและการควบคุมคุณสมบัติงานเชื่อม โดยในแต่ละ SECTION จะประกอบไปด้วยหัวข้อต่าง ๆที่สำคัญดังต่อไปนี้

**1.2.1 ASME SECTION I** ประกอบไปด้วยหัวข้อ

**PG –** หัวข้อทั่วไป (General Part)

- วัสดุในการผลิตหม้อน้ำ (Materials)
- การออกแบบการผลิต (Design)
  - การออกแบบรูปทรงกระบอกภายใต้การรับความดันแบบ “Internal Pressure” (Cylindrical Components Under Internal Pressure)
  - การออกแบบช่องเปิดภายใต้การรับความดันแบบ “External Pressure” (Welded Accessory Inspection Openings Under External Pressure)
  - การออกแบบส่วนหัว (Dished Heads)
  - การออกแบบส่วนหัวที่ยึดด้วยสเตย์ (Stayed Dished Heads)
  - การออกแบบผนังเรียบและฝาปิด (Unstayed Flat Heads and Cover)
- ช่องเปิดและแผ่นเสริมรับแรง (Openings and Compensation)
- การเชื่อมต่อท่อกับหม้อน้ำอย่างเหมาะสม (Boiler External Piping and Boiler Proper Connections)
- การออกแบบวาล์วและระบบป้อนน้ำ (Design and Application)
- วาล์วนิรภัยและวาล์วระบายความดัน (Safety Valves and Safety Relief Valves)
- การประกอบ (Fabrication)
- การตรวจสอบและการทดสอบ (Inspection and Tests)
- การรับรองโดยการ “STAMP”และออกเอกสารรายงานรับรอง (Certification by Stamping and Data Reports)

**PW-** ข้อกำหนดสำหรับการประกอบหม้อน้ำโดยการเชื่อม (REQUIREMENTS FOR BOILERS FABRICATED BY WELDING)

- วัสดุในการเชื่อม (Materials)

- การออกแบบการเชื่อม (Design)
- การประกอบงานเชื่อม (Fabrication)
- การตรวจสอบและการทดสอบงานเชื่อม (Inspection and Tests)

**PR-** ข้อกำหนดสำหรับการประกอบหม้อน้ำด้วยหมุดย้ำ (REQUIREMENTS FOR BOILERS FABRICATED BY RIVETING)

**PB-** ข้อกำหนดสำหรับการประกอบหม้อน้ำด้วยการบัดกรีแข็ง (REQUIREMENTS FOR BOILERS FABRICATED BY BRAZING)

**PWT-** ข้อกำหนดสำหรับการประกอบหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (REQUIREMENTS FOR WATER TUBE BOILERS.)

- ข้อกำหนดในวัสดุเพิ่มเติม (Materials)
- ข้อกำหนดการการออกแบบเพิ่มเติม (Design)

**PFT-** ข้อกำหนดสำหรับการประกอบหม้อน้ำแบบท่อไฟ (REQUIREMENTS FOR FIRE TUBE BOILERS.)

- ข้อกำหนดในวัสดุเพิ่มเติม (Materials)
- ข้อกำหนดการการออกแบบเพิ่มเติม (Design)
- การออกแบบห้องเผาไหม้ (Combustion Chambers)
- การออกแบบพื้นผิวยึดสเตย์ (Stayed Surfaces)
- การออกแบบประตูและช่องเปิด (Doors and Openings)
- การออกแบบหัวปิด (Domes)
- การออกแบบการติดตั้ง วาง (Setting)
- การติดตั้งท่อประกอบและอุปกรณ์ประกอบ (Piping, Fittings, and Appliances)

**PMB-** ข้อกำหนดสำหรับการประกอบหม้อน้ำเล็กๆ (REQUIREMENTS FOR MINIATURE BOILERS)

- ข้อกำหนดในวัสดุเพิ่มเติม (Materials)
- ข้อกำหนดการการออกแบบเพิ่มเติม (Design)

**PEB -** ข้อกำหนดสำหรับการประกอบหม้อน้ำไฟฟ้า (REQUIREMENTS FOR ELECTRIC BOILERS)

- ข้อกำหนดในวัสดุเพิ่มเติม (Materials)
- ข้อกำหนดการการออกแบบเพิ่มเติม (Design)
    - ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับงานเชื่อม (Welding)
    - การออกแบบเพิ่มเติมในช่องเปิดสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า (Inspection Openings)
    - การออกแบบเพิ่มเติมในการป้อนน้ำสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า(Feed water Supply)
    - การออกแบบเพิ่มเติมในการ "Blow" สำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า(Blow off)
    - การกำหนดเพิ่มเติมในอุปกรณ์แสดงระดับน้ำสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า (Water Level Indicators)
    - การกำหนดเพิ่มเติมในอุปกรณ์วัดความดันสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า (Pressure Gages)
    - การกำหนดเพิ่มเติมในอุปกรณ์ "Safety valve" สำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า (Safety Valves)
    - การกำหนดเพิ่มเติมในอุปกรณ์อัตโนมัติสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า (Automatic Devices)
    - การกำหนดเพิ่มเติมในการทำการทดสอบด้วยน้ำสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า (Hydrostatic Test)
    - การตรวจสอบและการรับรองโดยการ "STAMP" (Inspection and Stamping of Boilers)
    - ออกเอกสารรายงานการผลิตจากโรงงาน(Manufacturers' Data Report for Electric Boilers)

**PVG** – ข้อกำหนดสำหรับไอของไหลจากสารออร์แกนิค (REQUIREMENTS FOR ORGANIC FLUID VAPORIZERS.)

**1.2.2 ASME SECTION II D** ประกอบไปด้วยหัวข้อ

**ส่วนย่อยที่ 1 (Subpart 1) ตารางความเค้น**

**Table 1A** Maximum Allowable Stress Values (S) สำหรับ Ferrous Materials

**Table 1B** Maximum Allowable Stress Values (S) สำหรับ Non-ferrous Materials

**Table 2A** Design Stress Intensity ($S_m$) สำหรับ Ferrous Materials ประกอบไปด้วยค่า “P-No”, Min.Tensile, Min.Yield, หมายเลขการหา External pressure chart. Temp.limit สำหรับ section III และ Section VIII-2

**Table 2B** Design Stress Intensity ($S_m$) สำหรับ Ferrous Materials ประกอบไปด้วยค่า “P-No”, Min.Tensile, Min.Yield, หมายเลขการหา External pressure chart. Temp.limit สำหรับ section III และ Section VIII-2

**Table 3** Maximum Allowable Stress Values (S) สำหรับ Bolting Materials ตาม Section III, Class 2 and 3 และ Section VIII-Divisions1and2 และ Section XII

**Table 4** Design Stress Intensity ($S_m$) สำหรับ Bolting Materials ตาม Section III, Class 1 และ Section VIII-Divisions 2

**Table U** Tensile Strength Values ($S_u$) สำหรับวัสดุ Ferrous และวัสดุ Non-Ferrous

**Table U-2** Tensile Strength Values ($S_u$) สำหรับวัสดุ Ferrous ตาม ASME Section VIII-3

**Table Y-1** Yield Strength Values ($S_y$) สำหรับวัสดุ Ferrous และวัสดุ Non-Ferrous

**Table Y-2** ค่าจำกัดการยืดถาวรของ Nickel, High Nickel Alloys, และ High Alloy Steels

**Table Y-3** Yield Strength Values ($S_y$) สำหรับวัสดุ Ferrous และวัสดุ Non-Ferrous ตาม ASME SectionVIII-3

**ส่วนย่อยที่ 2 (Subpart 2) ตารางค่าคุณสมบัติทางกายภาพ**

**Table TE-1** THERMAL EXPANSION สำหรับวัสดุ Ferrous

**Table TE-2** THERMAL EXPANSION สำหรับวัสดุ Aluminum alloy

**Table TE-3** THERMAL EXPANSION สำหรับวัสดุ Cupper alloy

**Table TE-4** THERMAL EXPANSION สำหรับวัสดุ Nickel alloy

**Table TCD** สัมประสิทธิ์ THERMAL CONDUCTIVITY (TC : W/(m.C)) และ THERMAL DIFFUSIVITY(TD : $\frac{\frac{W}{mC}}{\frac{kg}{m^3}\cdot\frac{J}{kg.C}}$)

**Table TM-1** Modulus of Elastic (E) ของวัสดุเหล็กคาร์บอนที่แปรผันตามอุณหภูมิ

**Table TM-2** Modulus of Elastic (E) ของวัสดุ Aluminum และ Aluminium alloy ที่แปรผันตามอุณหภูมิ

**Table TM-3** Modulus of Elastic (E) ของวัสดุ Cupperและ Cupper alloy ที่แปรผันตามอุณหภูมิ

**Table TM-4** Modulus of Elastic (E) ของวัสดุ Nickel และ Nickel alloy ที่แปรผันตามอุณหภูมิ

**Table TM-5** Modulus of Elastic (E) ของวัสดุ Titanium และ Zirconium ที่แปรผันตามอุณหภูมิ

**Table NF-1** คุณสมบัติเชิงกลทั่วไป Poison ratio, Modulus of rigidity

**Table NF-2** คุณสมบัติเชิงกลทั่วไปสำหรับ Non-Ferrous เช่น ความหนาแน่น ($kg/m^3$), Melting range of temperature, ความร้อนจำเพาะ (Specific heat: kJ/kg.K)

**ส่วนย่อยที่ 3 (Subpart 2) ตารางหาค่าความหนาของเปลือกที่รับ "External pressure"**

**Fig-G** ตารางหาค่าคงที่ "Factor A" :"Geometric" สำหรับ ชิ้นส่วนที่รับค่า "External pressure" สำหรับทุกวัสดุ

**Fig-CS-1 ถึง 6** สำหรับเหล็กคาร์บอน

**Fig-HT-1 ถึง 2** สำหรับเหล็กคาร์บอนที่ Quenched และ Tempered

**Fig-HA1 ถึง 4** สำหรับ "Austenitic stainless steel"

**Fig-HA5 ถึง 7** สำหรับ "Cr-Ni"

**Fig-HA 8** สำหรับ "Duplex-stainless steel"

**Fig-CI 1** สำหรับ "Cast Iron"

**Fig-CD 1** สำหรับ "Cast Ductile Iron"

**Fig-NFA 1** สำหรับ "Aluminum alloy 3003 และ H112 Tempered"

**Fig-NFA 2** สำหรับ "Aluminum alloy 3003 และ H14 Tempered"

**Fig-NFA 3** สำหรับ "Aluminum alloy 3004 และ H112 Tempered"

**Fig-NFA 4** สำหรับ "Aluminum alloy 3004 และ H34 Tempered"

**Fig-NFA 5** สำหรับ "Aluminum alloy 5154 ใน "o"และ H112 Tempered"

**Fig-NFA 6** สำหรับ "Aluminum alloy 5454 ใน "o"และ H112 Tempered"

**Fig-NFA 7** สำหรับ "Aluminum alloy 1060 ใน "o"และ Tempered"

**Fig-NFA 8** สำหรับ "Aluminum alloy 5052 ใน "o"และ H112 Tempered"

**Fig-NFA 9** สำหรับ "Aluminum alloy 5086 ใน "o"และ H112 Tempered"

**Fig-NFA 10** สำหรับ "Aluminum alloy 5046 ใน "o"Tempered"และอื่นๆ

**Table G** ตารางค่า "G"

**Table ค่า "B"**

### 1.2.3 ASME SECTION V ประกอบไปด้วยหัวข้อ

SUBSECTION “A” การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

Article1 ข้อกำหนดทั่วไป (General requirement: T1XX)

Article2 การทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Examination: T2XX)

Article 4 การทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงสำหรับงานเชื่อม (Ultrasonic Examination สำหรับ weld: T4XX).

Article 5 การทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงสำหรับวัสดุ (Ultrasonic Examination Methods สำหรับMaterials: T5XX)

Article 6 การทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrant Examination: T6XX)

Article 7 การทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Examination: T7XX)

Article 8 การทดสอบด้วยกระแสเอ็ดดี้ (Eddy Current Examination ในชุดท่อ: T8XX)

Article9 การทดสอบด้วยสายตา (Visual Examination: T9XX)

Article10 การทดสอบการรั่ว (Leak Testing: T10XX)

Article11 การทดสอบด้วยคลื่นเสียงอคูสติกในภาชนะวัสดุ “FRP” (Acoustic Emission Examination of Fiber-Reinforced Plastic Vessel: T11XX)

Article12 การทดสอบด้วยคลื่นเสียงอคูสติกในภาชนะโลหะในระหว่างทำการทดสอบด้วยความดัน (Acoustic Emission Examination of Metallic Vessels during Pressure Testing: T12XX)

Article13 การทดสอบและตรวจติดตามด้วยคลื่นเสียงอคูสติกอย่างต่อเนื่อง (Continuous Acoustic Emission Monitoring: T13XX)

Article14 การทดสอบระบบคุณวุฒิ (Examination System Qualification: T14XX)

SUBSECTION “B” เอกสารที่นำมาใช้ใน Section V.

Article 22 มาตรฐานภาพถ่ายทางรังสี (Radiographic Standards)

Article 23 มาตรฐานภาพคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Standards)

Article 24 มาตรฐานสารแทรกซึม (Liquid Penetrant Standards)

Article 25 มาตรฐานผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Standards)

Article 26 มาตรฐานกระแสเอ็ดดี้ (Eddy Current Standards)

Article 29 มาตรฐานคลื่นเสียงอคูสติก (Acoustic Emission Standards)

### 1.2.4 ASME SECTION IX ประกอบไปด้วยหัวข้อ

PARTQW การเชื่อม

Article1 ข้อกำหนดทั่วไป (General requirement: QW1xX)

QW-110 ทิศทางการเชื่อม (Weld Orientation)

QW-120 ตำแหน่งการทดสอบสำหรับการเชื่อมชน (Test Positions for Groove Welds)

QW-130 ตำแหน่งการทดสอบสำหรบการเชื่อมฟิลเลท (Test Positions for Fillet Welds)

QW-140 ชนิดและจุดประสงค์ในการทดสอบ (Types and Purposes of Tests and Examinations)

QW-150 การทดสอบแรงดึง (Tension Tests)

QW-160 การทดสอบการดัดโค้ง (Guided-Bend Tests)

QW-170 การทดสอบความแข็งแกร่งของร่องบาก (Notch-Toughness Tests)

QW-180 การทดสอบการเชื่อมฟิลเลท (Fillet-Weld Tests)

QW-190 การทดสอบอื่นๆ (Other Tests and Examinations)

ภาคผนวก 1 ตารางรอยบ่งชี้แบบกลม (Appendix I Rounded Indication Charts.)

Article II การทดสอบกรรมวิธีการเชื่อม (Welding Procedure Qualifications.)

QW-200 ข้อกำหนดทั่วไป (General)

QW-210 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ (Preparation of Test Coupon)

QW-250 ตัวแปรต่างๆในงานเชื่อม (Welding Variables)

QW-290 การเชื่อมพอกผิว (Temper Bead Welding)

Article III การทดสอบความสามารถในการเชื่อม (Welding Performance Qualifications)

QW-300 ข้อกำหนดทั่วไป (General)

QW-310 การทดสอบชิ้นงานทดสอบ (Qualification Test Coupons)

QW-320 การทดสอบซ้ำ และ การทดสอบใหม่ (Retests and Renewal of Qualification)

QW-350 ตัวแปรต่างๆในงานเชื่อมสำหรับช่างเชื่อม (Welding Variables for Welders)

QW-360 ตัวแปรต่างๆในงานเชื่อมสำหรับผู้ควบคุมเครื่องเชื่อม (Welding Variables for Welding Operators)

QW-380 กรรมวิธีพิเศษ (Special Processes)

ArticleI IV ข้อมูลทั่วไปในการเชื่อม (Welding Data)

QW-400 ตัวแปรต่างๆ (Variables.)

QW-410 เทคนิค (Technique)

QW-420 การแบ่งกลุ่มวัสดุ (Material Groupings)

QW-430 หมายเลขวัสดุเติมในรอยเชื่อม (F-Numbers)

QW-440 องค์ประกอบทางเคมีในรอยเชื่อม (Weld Metal Chemical Composition A-Number QW- 450 Specimens)

QW-460 รูปประกอบ (Graphics)

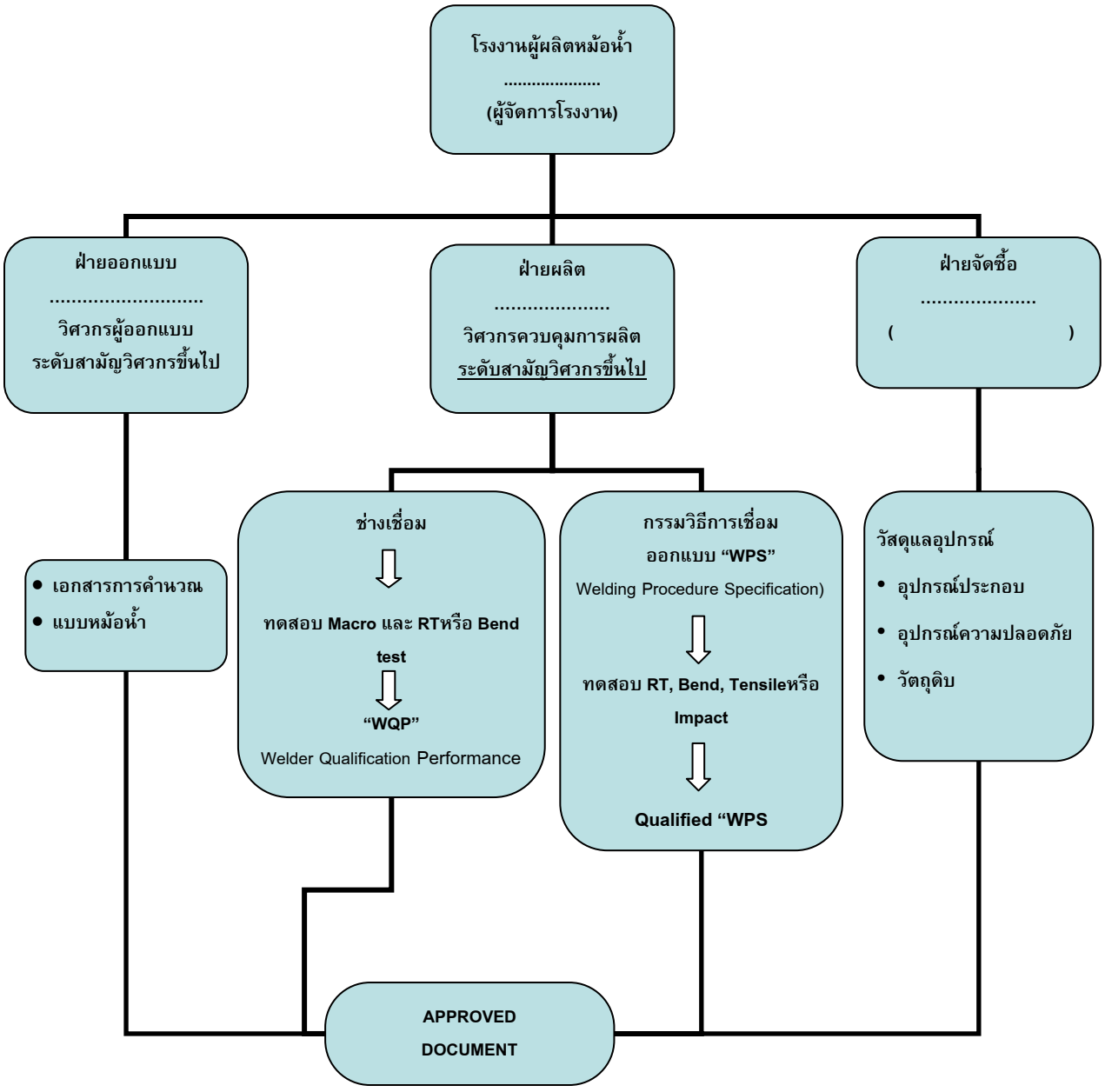
QW-470 การกัดกรด (Etching — Processes and Reagents)

# บทที่ 2
# การผลิตหม้อน้ำ (Boiler Manufacturing)

## 2.1 พื้นฐานการผลิตหม้อน้ำ

หม้อน้ำ (Boiler) ซึ่งจัดได้ว่าเป็นเครื่องจักรที่ต้องการการผลิตที่มีความระมัดระวังและต้องมีการควบคุมดูแลการผลิตเป็นพิเศษเนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายได้สูงทั้งต่อ ชีวิต และทรัพย์สิน ของผู้ใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการผลิต บริษัทผู้ผลิตจึงต้องจัดทำเอกสารประกอบการผลิต เพื่อความสามารถในการสืบกลับหาแหล่งที่มา (Traceability) ซึ่งในหนังสือเล่มนี้ขอเน้นการจัดเตรียมเอกสารที่สำคัญในการผลิตหม้อน้ำ คือ เอกสารการใช้วัสดุ และ เอกสารควบคุมการผลิต(ข้อแนะนำในหนังสือเล่มนี้เป็นเพียงเพื่อให้เกิดแนวทางในการผลิต และเพื่อให้เกิดความปลอดภัยผู้ผลิตต้องสร้างเอกสารที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหม้อน้ำในแต่ละชนิดของตัวเอง)

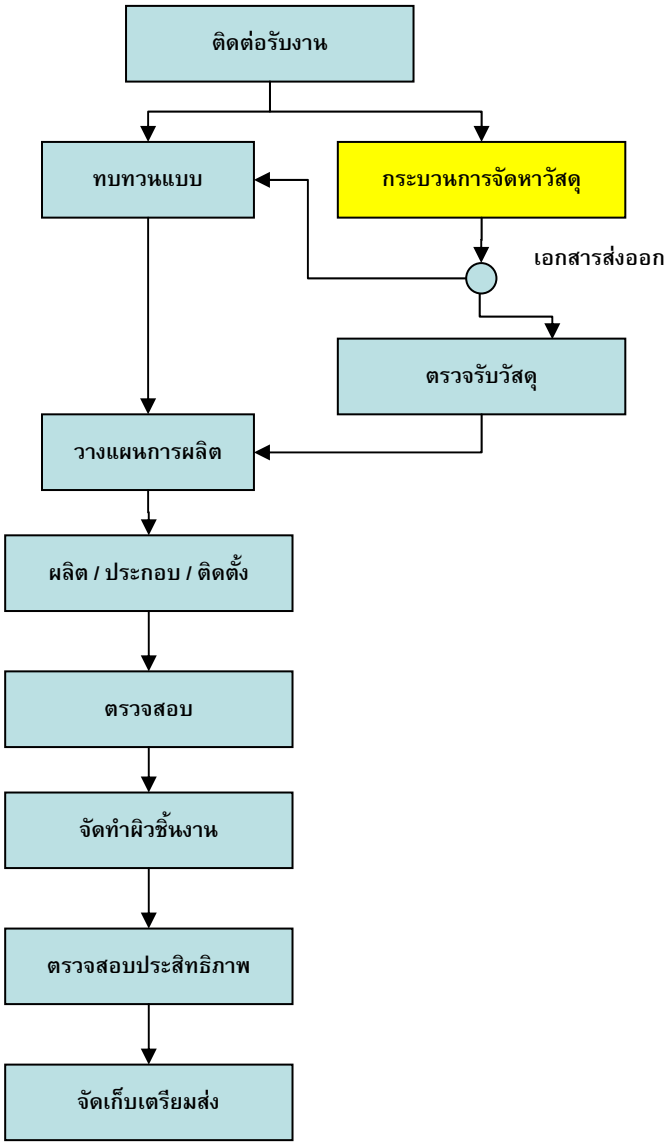
โดยโรงงานสามารถแบ่งการควบคุมการผลิตออกเป็นแผนกดังนี้




**รูปที่ 2.1.1** ผังองค์กร (Organization Chart) ในโรงงานเพื่อควบคุมการผลิต

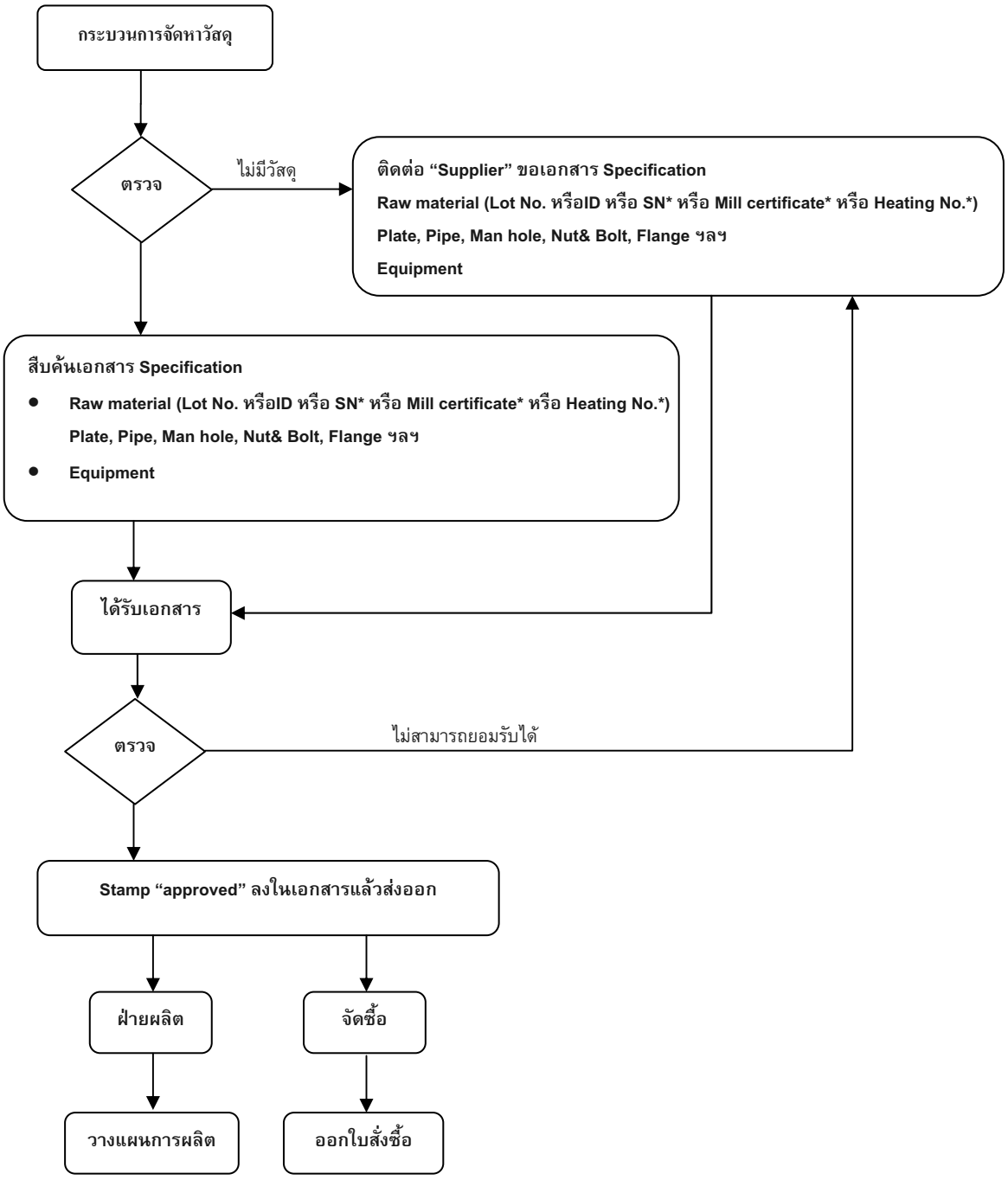
จากผังองค์กร (Organization Chart) พบว่าโรงงานหรือองค์กรที่มีขนาดเล็กก็สามารถจัดการระบบภายในองค์กรเพื่อให้เกิดความมั่นใจแก่ผู้บริโภคในการผลิตหม้อน้ำได้ โดยบริษัทฯ จะดำเนินการติดต่อรับงานแล้วส่งงานเข้าในองค์กร ดังแผนผังการดำเนินงาน เมื่อได้รับการสั่งซื้อหม้อน้ำเรียบร้อยแล้วจะแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือกระบวนการทบทวนแบบ

(ซึ่งโดยปกติจะเป็นแผนกออกแบบเป็นผู้ทบทวนแบบ) และกระบวนการจัดหาวัสดุ (โดยปกติจะเป็นแผนกจัดซื้อ) เพื่อใช้ในการผลิตหม้อน้ำ




**รูปที่ 2.1.2** ขั้นตอนการดำเนินงาน (การจัดหาวัสดุ) สำหรับโรงงานผู้ผลิตหม้อน้ำ

ในกระบวนการจัดหาวัสดุนั้น เจ้าหน้าที่ก็จะทำการตรวจสอบข้อมูลของวัสดุในคลังสอนค้าให้ตรงตามที่ต้องการทั้ง “ขนาด”, “ปริมาณ” และ “คุณสมบัติ”ให้ตรงตามข้อกำหนดและสัญญาว่าจ้าง โดยปกติแล้วมีแผนผังในการจัดหาวัสดุเป็นไปตามรูปที่ 2.1.3 ข้างล่าง




* หมายเหตุ: ตัวอย่าง Mill certificates แสดงในภาคผนวก ข-1

**รูปที่ 2.1.3** ผังกระบวนการจัดหาวัสดุ

ในการจัดหาวัสดุนั้นในขั้นตอนนี้ยังเรียกอยู่ว่าเป็นขั้นตอนของการจัดเตรียมเอกสาร นั่นคือ การสืบค้นหาวัสดุตาม Specification ตามแผนกจัดเก็บวัสดุ (Stock yard) ซึ่งจะมีทั้งการสืบค้นชนิดของวัสดุ (Raw material) เช่น Plate, Pipe, Man hole, Nut& Bolt, Flange ฯลฯ โดยคำนึงถึง Lot No. หรือI D หรือ SN* หรือ Mill certificate* หรือ Heating No.*) หากไม่มีวัสดุอุปกรณ์อยู่ในแผนกจัดเก็บวัสดุ จึงทำการสืบค้นจาก “Supplier” เพื่อหาวัสดุให้ได้ตามต้องการแล้วทำการตรวจสอบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดและสัญญา ซึ่งถ้าหากยังไม่เป็นไปตามข้อกำหนดก็จะสืบค้นต่อไป แต่เมื่อตรวจสอบแล้ว วัสดุหรืออุปกรณ์สอดคล้องตามข้อกำหนด จึงกระทำการตีตรา “อนุมัติใช้วัสดุ” แล้วส่งออกตามแต่ละแผนกทั้งฝ่ายผลิตเพื่อวางแผนการผลิตและจัดซื้อเพื่อทำการออกเอกสารใบสั่งซื้อ

อุปกรณ์ประกอบหม้อน้ำที่จำเป็นควรประกอบด้วย ดังต่อไปนี้

- สำหรับห้องเผาไหม้แยกใช้เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิง อุปกรณ์ประกอบห้องเผาไหม้จะต้องมีแจ้งรายละเอียดอย่างน้อยดังนี้

1. น้ำหลอดแก้วระดับน้ำ ยี่ห้อ……..……ขนาด…….. มม.
   จำนวน……. ตัว
   วาล์วประกอบการติดตั้ง ยี่ห้อ……..…..ขนาด…….. มม.
   จำนวน……. ตัว
2. ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ ยี่ห้อ……..……...ขนาด…….. มม.
   จำนวน……. ตัว
   วาล์วประกอบการติดตั้ง ยี่ห้อ……..……...ขนาด…….. มม.
   จำนวน…….ตัว
3. ลิ้นนิรภัย ยี่ห้อ……..……...ขนาด…….. มม.
   จำนวน……. ตัว
   ปริมาณการระบายไอ……..กิโลกรัมต่อชั่วโมง
4. มาตรวัดความดัน ยี่ห้อ…….....……ขนาด……. บาร์ Xϕ
   ขนาด……..…….. มม.
   ท่อไซฟอน ขนาด…….. มม.
   จำนวน…… ตัว
5. พัดลมเป่าอากาศเข้าห้องเผาไหม้ **(หากมี)** ยี่ห้อ……..…….....
   ขนาด ϕ…….....…….. มม.
   มอเตอร์ ……..…HP (……..KW) ……. RPM
   จำนวน……. ตัว

6. รางสกรูป้อนเชื้อเพลิง**(หากมี)**

ยี่ห้อ……..ขนาด ϕ.....มม.Xยาว…….เมตร

จำนวน…….ชุด

มอเตอร์ …… HP (……..KW) …… RPM

จำนวน……. ตัว

7. ตะกรับเตาเคลื่อนที่ป้อนเชื้อเพลิง**(หากมี)**

ยี่ห้อ……..ขนาด ϕ .....มม.Xยาว…….เมตร

จำนวน…….ชุด

มอเตอร์ …… HP (……..KW) …… RPM

จำนวน……. ตัว

8. ชุดอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ เช่น ไซโคลนดักเขม่า **(หากมี)**

ยี่ห้อ……..ขนาด ϕ.....มม.Xยาว…….เมตร

จำนวน…….ชุด

มอเตอร์ …… HP (……..KW) …… RPM

จำนวน……. ตัว

ระบบป้องกันอากาศย้อนกลับ ชนิด……. ขนาด ϕ.....มม

จำนวน……. ตัว

เฟืองตัวหนอน ขนาด #.....อัตราส่วนทด……..

จำนวน……. ตัว

9. พัดลมเป่าดูดหลังห้องเผาไหม้ **(หากมี)** ยี่ห้อ……..

ขนาด ϕ…….. มม.

มอเตอร์ ……..HP (……..KW) …… RPM

จำนวน……. ตัว

ลูกปืนสลีฟ ขนาดเพลา ……มม.

จำนวน……. ตัว

พูลเลย์ มอเตอร์ ขนาด ϕ ……..จำนวนร่อง……..ร่อง

จำนวน……. ตัว

(ในกรณีที่มีอุปกรณ์หรือรายละเอียดเพิ่มขึ้นจะต้องมีการเพิ่มข้อมูลในเอกสารประกอบด้วย)

- สำหรับส่วนหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากระบบหัวพ่นไฟหรือส่วนเปลือกต่อจากห้องเผาไหม้ อุปกรณ์ประกอบจะต้องมีแจ้งรายละเอียดอย่างน้อยดังนี้

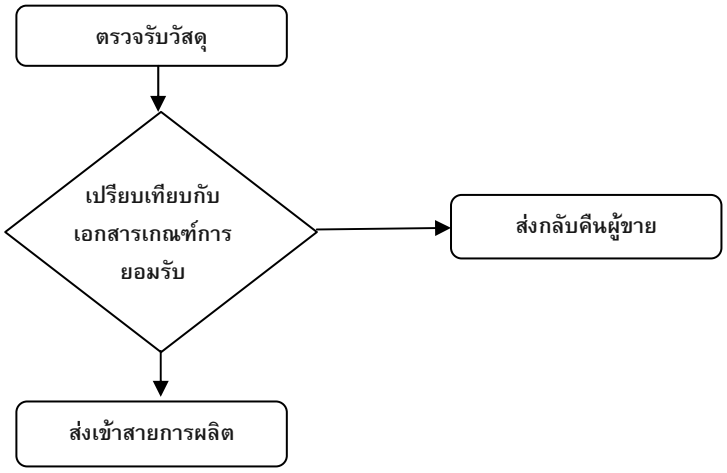
1. ปั๊มน้ำแบบตั้ง ยี่ห้อ.....ขนาด.....HP (..... KW)
   จำนวน..... ตัว
   ขนาดท่อ ( น้ำเข้า - ออก ) .....นิ้วมีอุปกรณ์ประกอบดังนี้
   สเตนเนอร์ ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
   เช็ควาล์ว ยี่ห้อ..... ....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
   วาล์วประกอบการติดตั้ง ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
2. ลูกลอยระดับน้ำ ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
   วาล์วประกอบการติดตั้ง ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
3. น้ำหลอดแก้วระดับน้ำ ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
   วาล์วประกอบการติดตั้ง ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
4. สวิทช์ควบคุมความดัน ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
   ท่อไซฟอน ขนาด..... มม.
   จำนวน..... ตัว
5. ลิ้นระบายใต้หม้อไอน้ำ ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
   วาล์วประกอบการติดตั้ง ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน.....ตัว
6. วาล์วจ่ายไอ ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
7. ลิ้นนิรภัย ยี่ห้อ.....ขนาด..... นิ้ว
   จำนวน..... ตัว
8. มาตรวัดความดัน ยี่ห้อ.....ขนาด..... บาร์ X $\phi$
   ขนาด..... มม.
   ท่อไซฟอน ขนาด..... มม.
   จำนวน..... ตัว

หลังจากที่มีการจัดเตรียมเอกสารและตรวจสอบวัสดุ และดำเนินการออกเอกสารสั่งซื้อแล้ว จนกระทั่งทางบริษัทผู้จัดจำหน่ายอุปกรณ์ส่งวัสดุเข้ามาที่โรงงานเพื่อใช้ในการผลิต บริษัทฯต้องดำเนินการตรวจสอบวัสดุที่นำเข้ามาว่าสอดคล้องกับคุณสมบัติที่สั่งไปหรือไม่ ซึ่งโดยปกติแล้วเอกสารประกอบการตรวจรับวัสดุควรจะครอบคลุมวัสดุ และอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้ (เอกสารเหล่านี้ต้องถูกรวบรวมเป็นเอกสารประกอบอยู่ใน “Manufacturing Data Report; MDR”; แสดงตัวอย่างใน ภาคผนวก ข-6)

**ตารางที่ 2.1.1** แสดงอุปกรณ์ที่ต้องประกอบใน “Manufacturing Data Report; MDR”

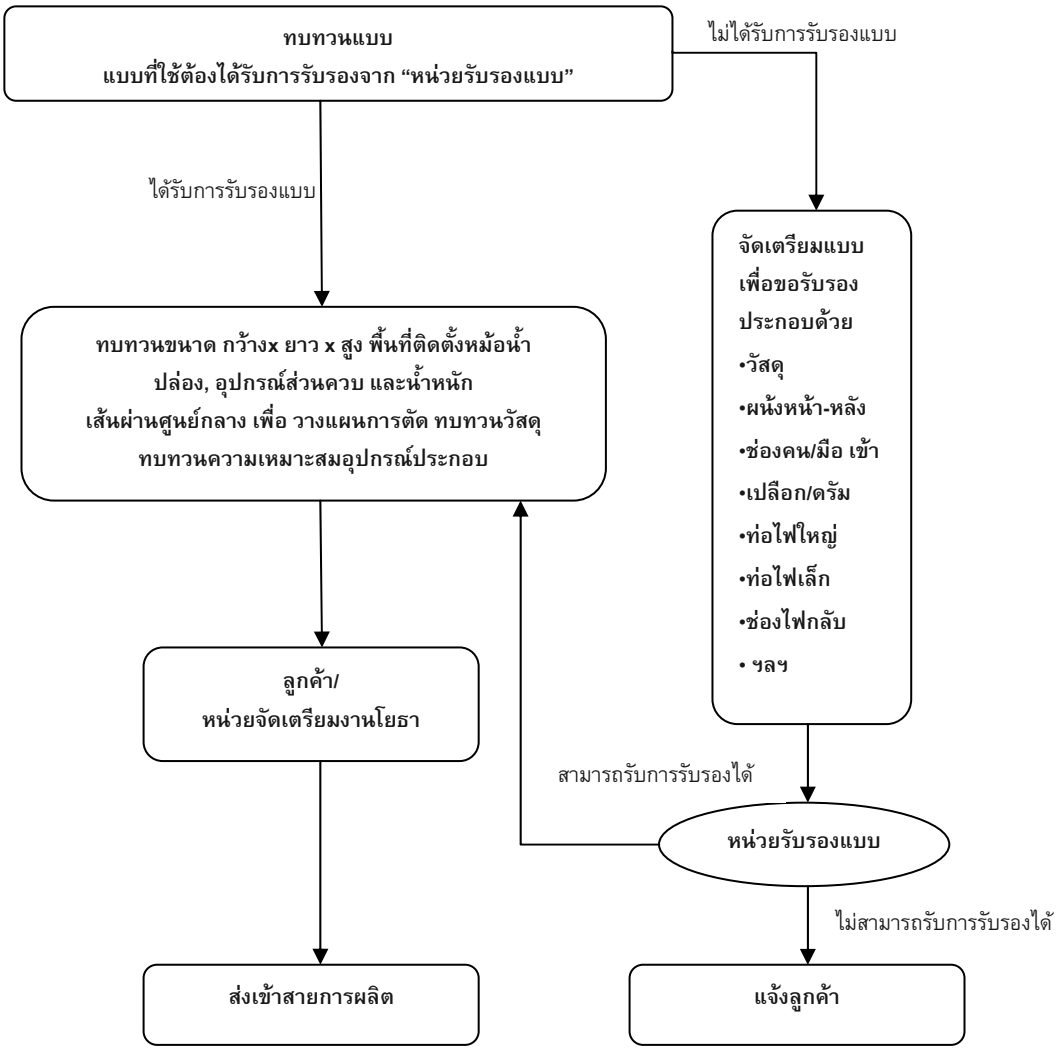
| กลุ่ม วัสดุสิ้นเปลือง | กลุ่ม อุปกรณ์ประกอบ | |
|---|---|---|
| | อุปกรณ์ประกอบ | อุปกรณ์ควบคุม |
| เหล็กแผ่น | Pump | Magnetic |
| ท่อ & ข้อต่อ | Burner | Braker |
| ปะเก็น | ลูกลอย | Timer |
| หน้าแปลน | ระดับน้ำ | Overload control |
| Nut & Bolt | Safety valve | Lamp |
| ลวดเชื่อม | Check valve | Switch |
| แก๊สเชื่อม | วาล์ว | Cable |
| อิฐทนไฟ | Pressure switch | PLC และ/หรือ Control Box |
| ปูนทนไฟ | Force draught fan | |
| | Induced draught fan | |
| | Frame indicator | |

และเมื่อมีรายงานในการตรวจรับวัสดุแล้วจึงควรมีการดำเนินการตรวจรับวัสดุตามแผนผังดังนี้




**รูปที่ 2.1.4** ผังการตรวจรับวัสดุ

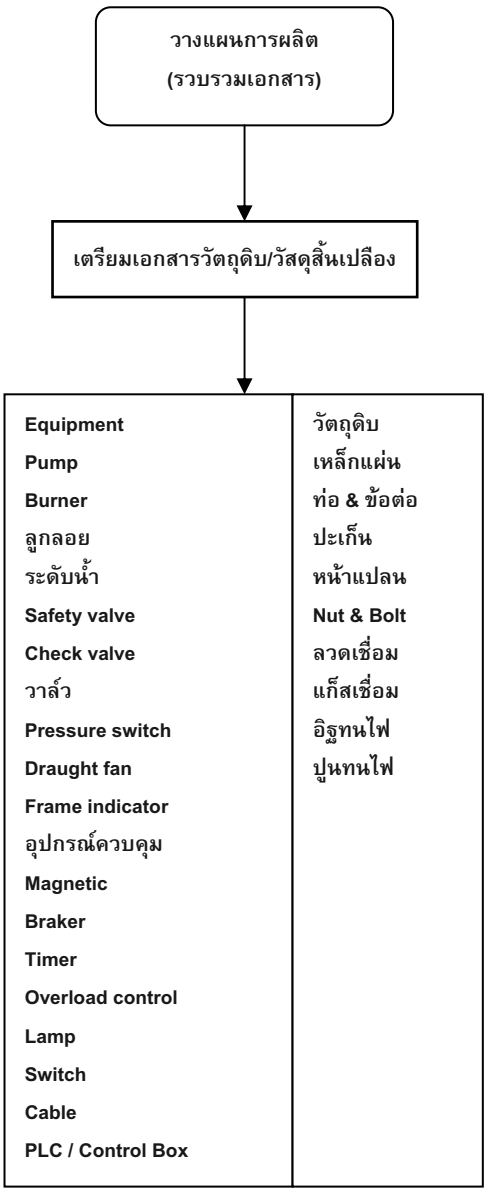
หลังจากตรวจสอบวัสดุ ตามรูปที่ 2.1.4 สามารถจำแนกเป็น วัสดุที่ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบให้ส่งกลับคืนผู้จำหน่ายอุปกรณ์ และ วัสดุที่ผ่านเกณฑ์การตรวจรับให้จัดส่งเข้าสายการผลิตในช่วงต้นหลังจากติดต่อรับงานแล้ว ในขณะที่ “ฝ่ายจัดซื้อ” ดำเนินการในกระบวนการจัดหาวัสดุ (โดยปกติจะเป็นแผนกจัดซื้อ)ในบทความข้างต้น “ฝ่ายการผลิต” ก็ทำการตามกระบวนการทบทวนแบบ โดยกระบวนการทบทวนแบบ บริษัทฯสามารถดำเนินการตามแนวทางดังแสดงในแผนผัง รูปที่ 2.1.2 ในกระบวนการทบทวนแบบจะต้องมีหน่วยรับรองแบบเป็นผู้รับรองแบบให้เป็นไปตามกฎหมาย ซึ่งสามารถดำเนินการได้ตามแผนผังรูปที่ 2.1.5



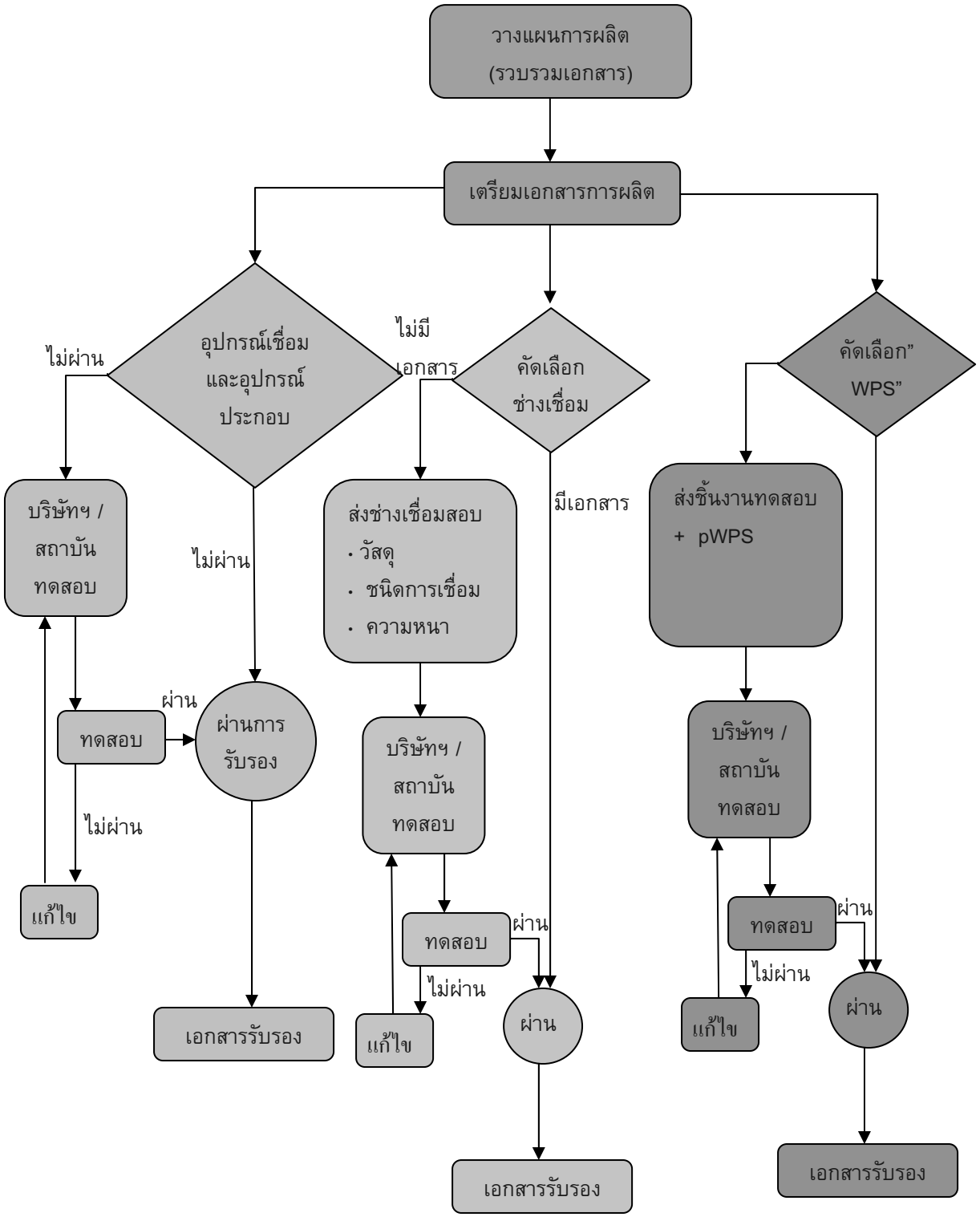

**รูปที่ 2.1.5** ผังแสดงการทบทวนแบบและการกระจายเอกสาร

เมื่อทำการทบทวนแบบและตรวจพิสูจน์แบบเรียบร้อย จึงทำการรวบรวมเอกสารทั้งหมดตามผังการผลิต ด้านล่าง(รูปที่ 2.1.6) แล้วทำการกระจายเอกสารไปในแต่ละส่วนที่สำคัญ เพื่อทำการวางแผนการผลิต และติดตั้ง ซึ่งโดยปกติแล้วการกระจายเอกสารจะถูกส่งออกไปยังส่วนต่างๆ

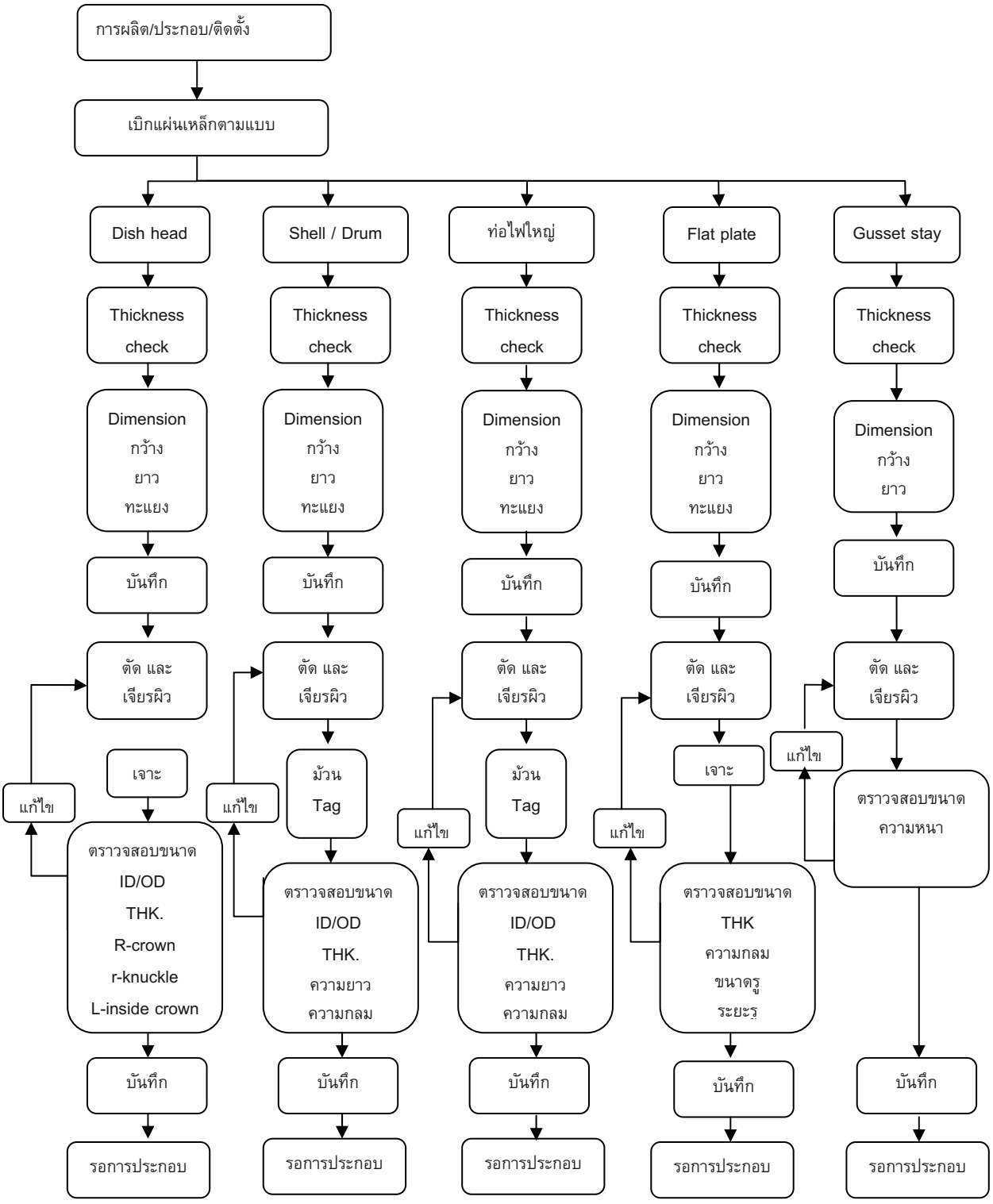
เช่น หน่วยจัดเตรียมงานโยธา และ/หรือลูกค้า เพื่อดำเนินงานด้านโยธาแล้วจึงดำเนินการ ผลิตประกอบ ตามรูปที่ 2.8 และ 2.9




**รูปที่ 2.1.6** รายละอียดอุปกรณ์ที่ต้องดำเนินการจัดทำเอกสารประกอบ




**รูปที่ 2.1.7** ผังแสดงการจัดทำเอกสารประกอบการผลิตหม้อน้ำ

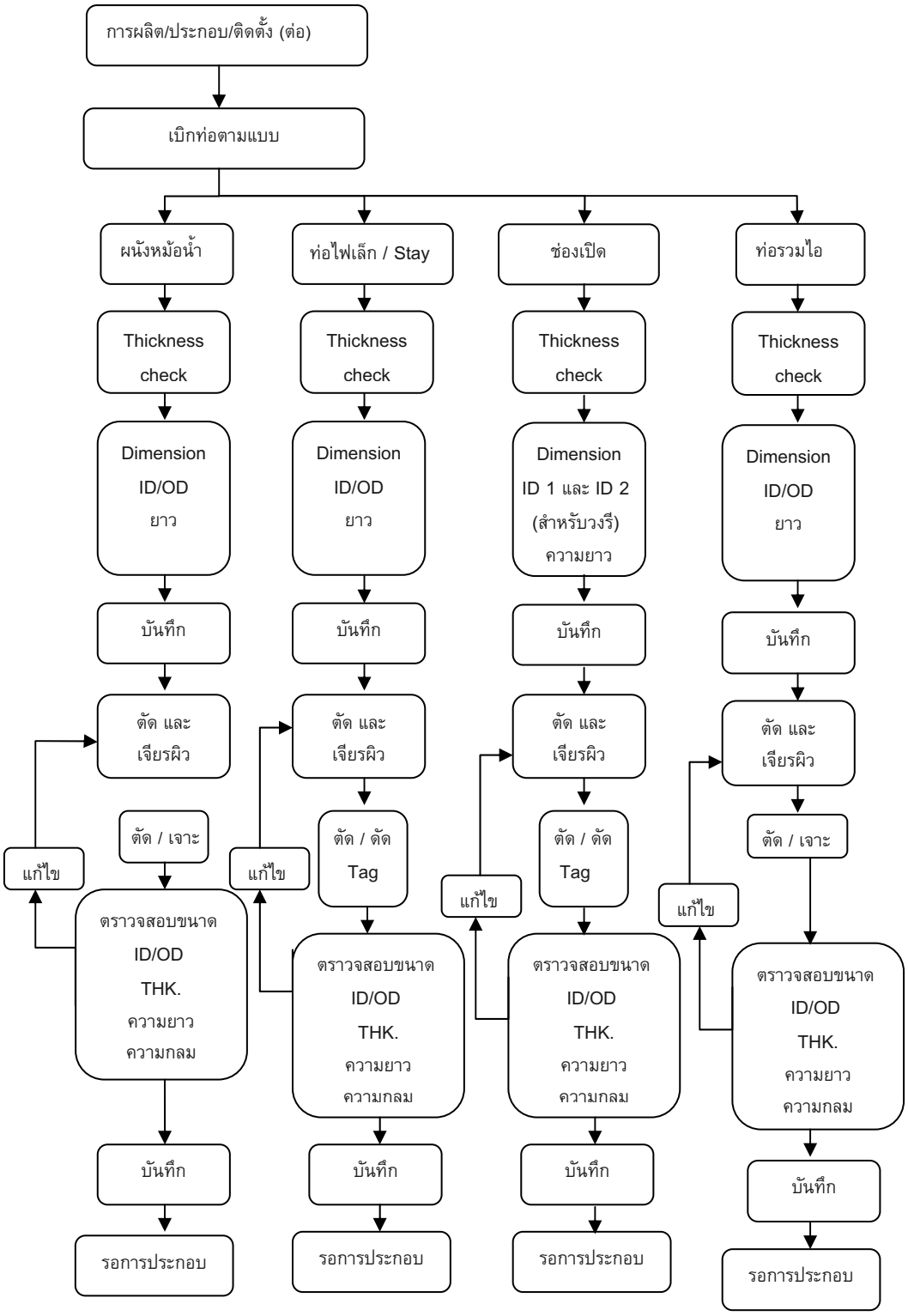



**รูปที่ 2.1.8** แสดงแผนผังในการผลิตส่วนประกอบหม้อน้ำ

หลังจากรวบรวมเอกสารการผลิตเรียบร้อยและสรุปปัญหาข้อสงสัยทั้งกับลูกค้า แล้วผู้จัดทำงานทำการเบิกแผ่นเหล็ก ทำการตรวจสอบความหนาให้ตรงตามแบบการผลิต ทำการตัด ขึ้นรูป จากนั้นทำการตรวจสอบ เส้นผ่านศูนย์กลาง, ความหนา, รัศมีหลัก, รัศมีส่วนขอบ(Knuckle), ระยะขอบแล้วนำมาเตรียมเพื่อรอการประกอบ ซึ่งในขณะเดียวกันก็ทำการดัด ตัด ขึ้นรูปในส่วนอื่นๆ เช่น เปลือกหม้อน้ำ, ท่อไฟใหญ่, ท่อไฟเล็ก, ฝาหน้า-หลัง , ช่องเปิดต่างๆ และสเตย์ยึดตามแบบการผลิตและทำการตรวจสอบค่าต่างๆ ให้เป็นไปตามเกณฑ์ ซึ่งได้มาจากข้อมูลการออกแบบและ/หรือ มาตรฐานการออกแบบ

เมื่อทำการขึ้นรูป ชิ้นส่วน อุปกรณ์ต่างที่ใช้สำหรับการประกอบหม้อน้ำเป็นที่เรียบร้อย จึงทำการประกอบยึดชิ้นส่วนแต่และชิ้นเข้าด้วยกัน (โดยปกติจะใช้กรรมวิธีการเชื่อม ดูรายละเอียดในบทงานเชื่อม) แล้วทำการตรวจสอบ (ดูรายละเอียดในบทการตรวจสอบการผลิต) ซึ่งรวมถึงการทำ “การทดสอบด้วยการอัดน้ำ (Hydrostatic test)” แล้วจึงทำความสะอาดผิว และ/หรือ ทำสี ถ้ามีความจำเป็น เพื่อต้านทานการกัดกร่อน หากหม้อน้ำถูกใช้งานในสภาพแวดล้อมที่สามารถเร่งให้เกิดการกัดกร่อน

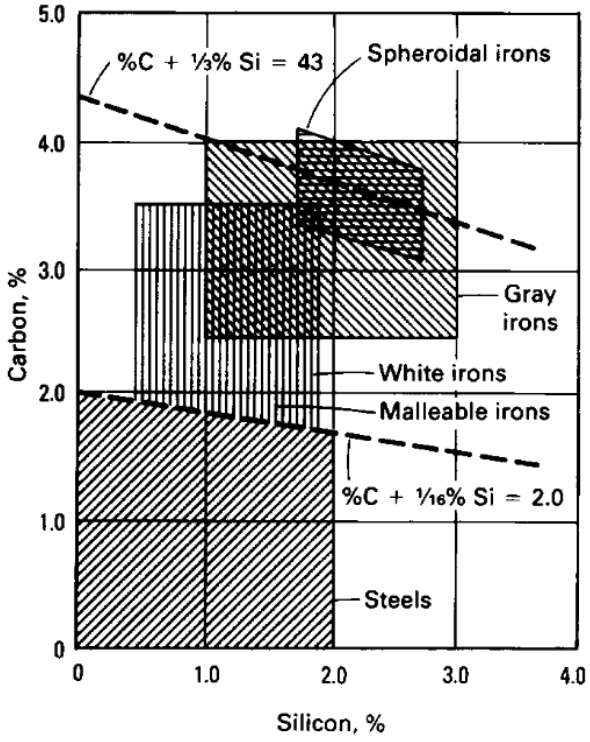
หลังจากทำผิวหม้อน้ำเรียบร้อยอาจต้องทำการทดสอบอุปกรณ์และประสิทธิภาพหม้อน้ำ (ขึ้นอยู่กับข้อตกลงว่าจะทำการทดสอบในโรงงานผู้ผลิต หรือ ทำการทดสอบหลังจากติดตั้งเรียบร้อย สำหรับหม้อน้ำขนาดเล็กส่วนมากจะทำการทดสอบในโรงงานผู้ผลิตก่อนส่งออกจากโรงงาน) เมื่อทดสอบและมีการยอมรับทั้งผู้ซื้อและผู้ผลิตเรียบร้อยจึงทำการจัดส่งหม้อน้ำเข้าสู่โรงงานผู้ใช้งานเพื่อติดตั้งเข้าสู่สายงานที่ใช้งานต่อไป




**รูปที่ 2.1.9** แสดงแผนผังในการผลิตส่วนประกอบหม้อน้ำ (ต่อ)

# 2.2 วัสดุในการผลิตหม้อน้ำ

โดยปกติแล้ววัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตหม้อน้ำจะเป็นโลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metal) ซึ่งโลหะเป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางที่สุด โดยมีการใช้งานมากที่สุดในโลกถึงร้อยละ 94 การแบ่งชนิดของโลหะกลุ่มเหล็กสามารถแบ่งได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น แบ่งตามส่วนผสมทางเคมี ตามกรรมวีการผลิต หรือแบ่งตามลักษณะการใช้งาน เป็นต้น เพื่อให้มองเห็นภาพกว้างๆ ในที่นี้จะแบ่งเหล็กตามส่วนผสมของ 2 ธาตุเจือ (Alloy element) ที่สำคัญหลัก คือ ธาตุคาร์บอน และ ซิลิกอน ที่มีอยู่ในเหล็ก โดยสามารถจะแบ่งโลหะกลุ่มเหล็ก ได้เป็น 2 ชนิด คือ เหล็กกล้า ( มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.1- 2.0% ) และเหล็กหล่อ(มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 2.0-4.3%) ดังแผนภาพต่อไปนี้

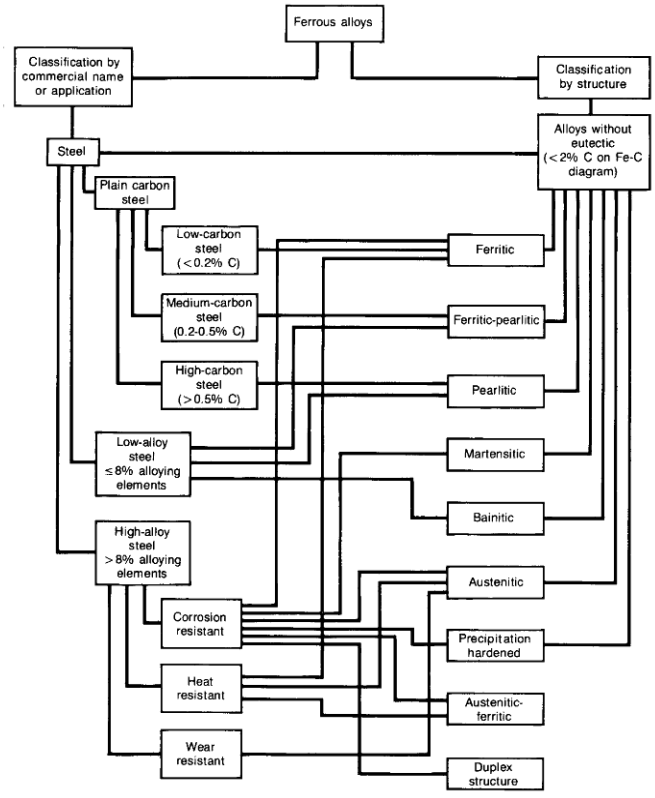



**รูปที่.2.2.1** Carbon และ silicon composition ในช่วงทั่วไปของ cast irons และ steel. (ASM Handbook Vol.1, 1 Sep 2005)

แต่ในงานการผลิตหม้อน้ำนั้นก็ต้องมีการควบคุมคุณภาพของโลหะเหล็กให้เหมาะสมกับการใช้งาน เนื่องจากหม้อน้ำเป็นอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายในการใช้งานสูง ดังนั้นในการเลือกวัสดุของหม้อน้ำจึงควรที่จะมีการประเมินอุณหภูมิในตำแหน่งของชิ้นส่วนนั้นประกอบอยู่ว่า ในตำแหน่งชิ้นส่วนนั้นๆ มีอุณหภูมิเท่าไหร่แล้วจึงนำมาพิจารณาเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสม

(สามารถดูได้ใน ภาคผนวก ค-1 ,ตัวอย่างตาราง 1A ASME section IID, ซึ่งการใช้งาน คือ ห้ามใช้เลือกวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงนอกเหนือจากช่วงที่ปรากฏในตาราง)

อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบควรที่จะมีความเข้าใจในวัสดุกลุ่มนี้ด้วย โดยวัสดุกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metal) นี้ ยังสามารถแบ่งได้ตามชื่อทางการค้า หรือ โครงสร้างจุลภาคของโลหะ ดังแผนภาพต่อไปนี้




**รูปที่ 2.2.2** แสดงการแบ่งวัสดุ “Ferrous metal” (ASM Handbook Vol.1, 1 Sep 2005)

### 2.2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอนเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมหลัก และมีธาตุอื่น ๆ ด้วยแต่มีปริมาณน้อยมาก ซึ่งไม่เจาะจงลงไปอาจจะได้มาจากรรมวิธีการถลุง หรือกรรมวีการไล่ เหล็กกล้าคาร์บอนแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

**2.2.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel)**

เป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนผสมไม่เกิน 0.2% ซึ่งในที่นี้จะเป็นเหล็กกล้าที่ไม่มีธาตุอื่นผสมจะเรียกว่า Plain carbon steel โดยโครงสร้างจุลภาคจะประกอบด้วย Ferrite และ Pearliteโดยมี Pearlite เป็นโครงสร้างหลัก (75%) เหล็กกกล้าชนิดนี้จึงมีความอ่อนเหนียวสูง แต่ไม่แข็งแรง สามารถตกแต่งขึ้นรูปได้ง่าย และสามารถถูกขึ้นรูปด้วยการเชื่อมได้ดีเยี่ยม

เนื่องจากเหล็กกล้าชนิดนี้มีปริมาณคาร์บอนน้อย จึงไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงด้วยกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatment) ได้ แต่สามารถเพิ่มความแข็งได้โดยกรรมวิธีการขึ้นรูปเย็น (Cold Work) หรือการเพิ่มความแข็งที่ผิว การใช้งานจะนำไปทำเหล็กแผ่นที่ทำตัว ถังรถยนต์ เหล็กรูปพรรณต่างๆ เป็นต้น เหล็กกล้าชนิดจะมีการนำไปใช้งานมากเพราะราคาถูก

**2.2.1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel)**

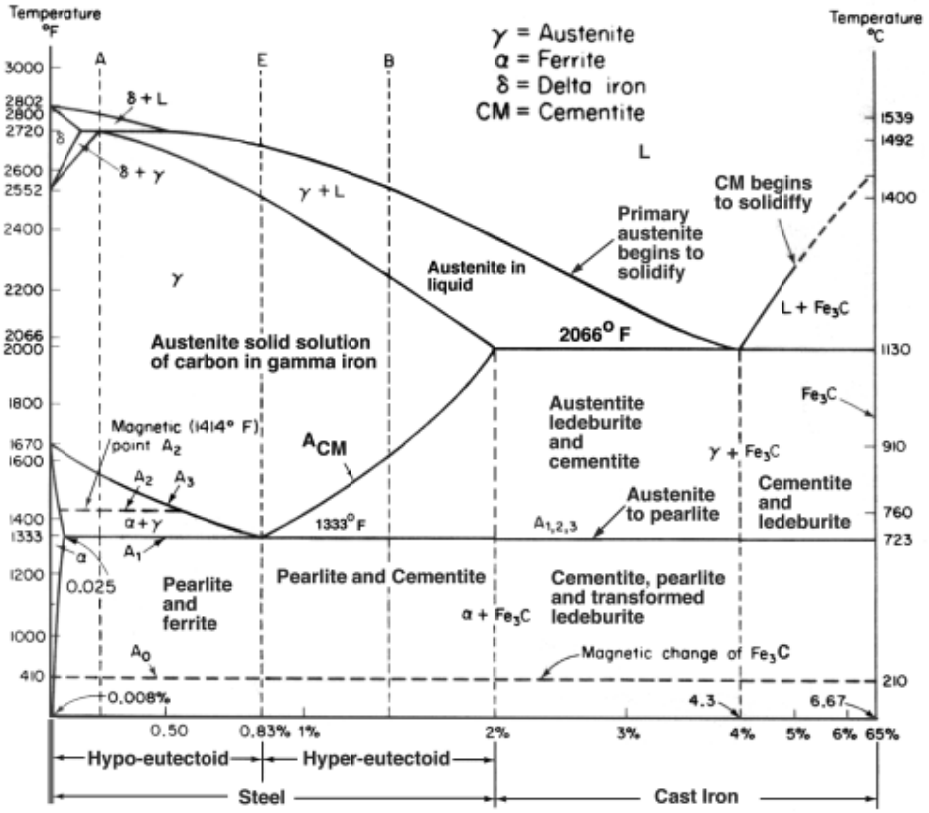
เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 02-0.5% ในที่นี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Plain medium carbon steel เหล็กกล้าชนิดนี้สามารถเพิ่มความแข็งแรงโดยกรรมวิธีทางความร้อนได้ คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางจะมีความแข็งแรงกว่าเหล็กคาร์บอนต่ำแต่จะมีความเหนียวและแข็งแกร่งน้อยกว่า

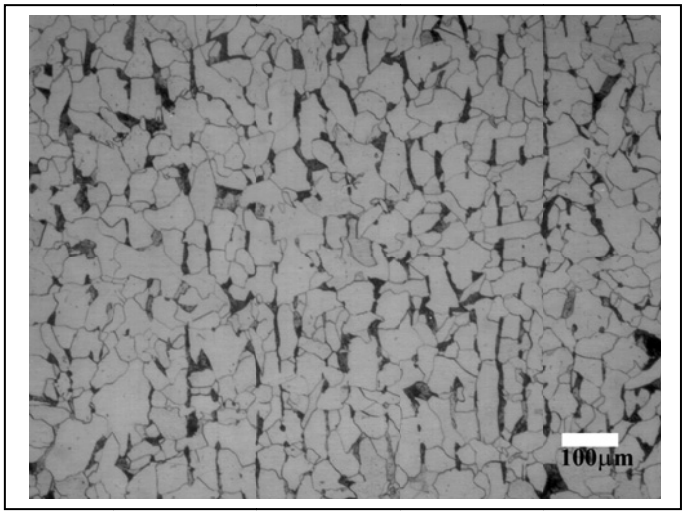
**2.2.1.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel)**

เป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนผสมมากกว่า 0.5% ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 2.0% ในที่นี้เรียกว่า Plain high carbon steel จะมีความแข็งแรงที่สุดในบรรดาเหล็กกล้าคาร์บอนสามารถอบชุบได้เป็นอย่างดี นิยมนำไปใช้ในงานเครื่องมือตัด

จากตัวอย่างทั้ง 3 กล่าวได้ว่าธาตุคาร์บอนเป็นธาตุเจือหลักที่ผสมเพื่อให้เกิดความแข็งแรงของเนื้อโลหะและให้เกิดจุลโครงสร้างของเหล็กกล้าที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยปกติแล้วการผสมของคาร์บอนในเหล็กกล้ามี 2 ลักษณะคือ อยู่ในสภาพของสารละลายของแข็งและอยู่ในรูปของซีเมน-ไตต์ ปริมาณคาร์บอนมีบทบาทสำคัญต่อความแข็งแรง ตามปริมาณของซีเมนไตต์ ถึงถ้าดูจากแผนภาพสมดุลของเหล็กกล้าคาร์บอน จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

Hypo-eutectoid steel, Eutectoid Steel และ Hyper-eutectoid steel

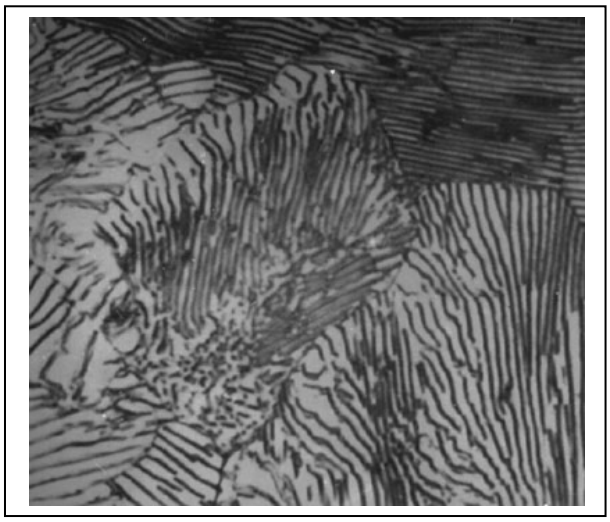



**รูปที่ 2.2.3** จุลโครงสร้าง “Ferrite และ Pearlite” ในโลหะเหล็ก

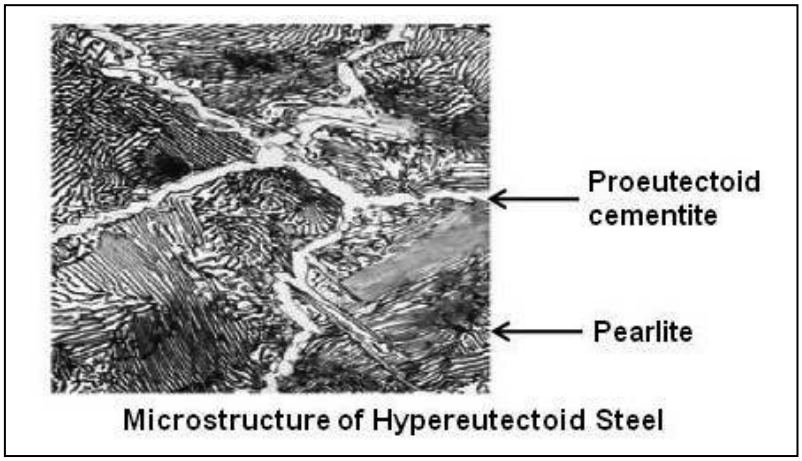
**หมายเหตุ :** ในการผลิตหม้อน้ำจะมีการควบคุมปริมาณคาร์บอนในวัสดุไม่ให้เกิน 0.35% (ASME section I Part PW)

- **Eutectoid steel** เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.83% จะมีโครงสร้างจุลภาคเป็น Pearlite ทั้ง 100% ที่อุณภูมิปกติ โครงสร้างชนิดนี้โดยปกติจะไม่พบในวัสดุที่ใช้ผลิตหม้อน้ำเนื่องจากปริมาณคาร์บอนค่อนข้างสูงต่อการเชื่อม และสามารถชุบแข็งได้



**รูปที่ 2.2.4** จุลโครงสร้าง “100% Pearlite” ในโลหะเหล็ก”

- **Hyper-eutectoid steel** เป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 0.83% แต่ไม่เกิน 2.0% จะมีโครงสร้างจุลภาคเป็นซีเมนไตด์กับ Pearlite เป็นกลุ่มเหล็กที่เหมาะสำหรับการชุบแข็ง




**รูปที่ 2.2.5** จุลโครงสร้าง “Hypereutectoid” ในโลหะเหล็ก

สำหรับงานเชื่อมในบางกรณีที่มีความไม่สม่ำเสมอของปริมาณคาร์บอนแล้วเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วซึ่งอาจก่อให้เกิดจุลโครงสร้างที่ไม่ต้องการผสมในเนื้อโลหะ เช่น โครงสร้าง Widmanstatten เกิดจากการเย็นตัวเร็ว จะปรากฏเฟอร์ไรท์ที่มีลักษณะที่ปลายแหลมพุ่งจากบริเวณของเกรนเข้าสู่กลางเกรน จะเกิดทั่วไปทุกเกรน

**รูปที่ 2.2.6** ลักษณะโครงสร้างของ Widmanstaten คือเพิร์ลไลท์ยื่นเข้าไปในเฟอร์ไรท์หรือเฟอร์ไรท์ยื่นเข้าไปในเพิร์ลไลท์

อย่างไรก็ตามวัสดุโลหะที่ใช้ในการผลิตหม้อน้ำควรที่จะมีคุณสมบัติ เป็น “Ductile Material” ซึ่งควรมี “%Elongation” ไม่น้อยกว่า 14% (อ้างอิง TRD 301)

### 2.2.2 เหล็กกล้าผสม (Alloy Steel)

เหล็กกล้าผสม เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ เช่น โครเมียม นิเกิล โมลิปดินั่ม วานาเดียม และโคบอลต์ การที่มีธาตุอื่นๆ เข้าไปเพื่อที่จะปรับปรุงคุณสมบัติเชิงความสามารถในการชุบแข็ง คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงและต่ำ คุณสมบัติต้านทานการเสียดสี สึกหรอ ความเหนียวและทนต่อแรงกระแทก คุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก เหล็กกล้าผสมแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าผสมสูง

- เหล็กกล้าผสมต่ำ (Low alloy steel) เป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุอื่นผสมอยู่ต่ำกว่า 8%
- เหล็กกล้าผสมสูง (High alloy steel) เป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุอื่นผสมเกินกว่า 8%

**ธาตุที่ผสมเติมเข้าไปในเหล็กกล้าผสมสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้**

- ธาตุที่ทำให้ออสเทนไนต์ (ออสเทนไนต์ เป็จจุลโครงสร้างทั่วไปของ สเตนเลสสตีล กลุ่ม 300 เช่น SS304, SS316) มีเสถียรภาพ เช่น Ni, Mn, C, N
- ธาตุที่ทำให้เฟอร์ไรท์เกิดการเสถียรภาพ เช่น Cr, Si, Mo, W

**นอกจากธาตุที่ผสมในเหล็กกล้าจะให้ผลที่แตกต่างกันดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ก็ยังสามารถแบ่งออกเป็น 5 ลักษณะด้วย**

1. ละลายในเฟอร์ไรท์เป็นสารละลายในสภาพของแข็ง (Solid Solution)
2. รวมตัวกับคาร์บอนอยู่ในลักษณะคาร์ไบด์ ได้แก่ Mn, Cr ,W, Mo, V และ Ti
3. รวมตัวกับธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็ก จะกลายเป็นสารประกอบระหว่างโลหะ (Intermetallic compound)
4. รวมตัวกับออกซิเจนหรือกำมะถันในเหล็ก ให้ออกไซด์และกระจายแทรกตัวอยู่รูปของสารมลทิน
5. แยกอยู่ในลักษณะโลหะบริสุทธิ์เมื่อมีปริมาณมากเกินกว่าที่จะละลาย

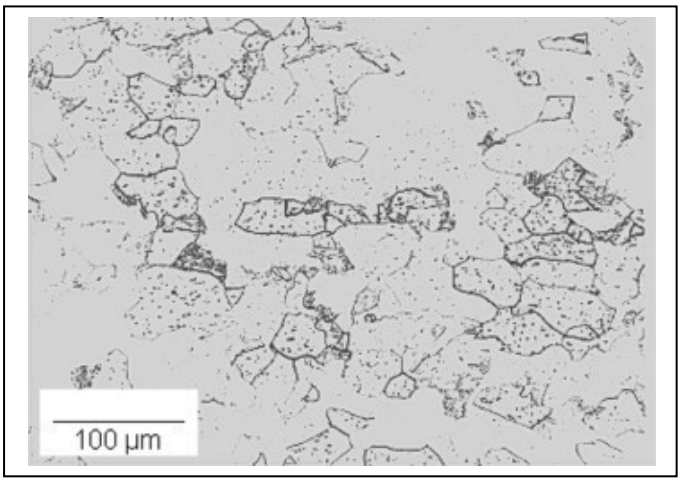
### 2.2.2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

ถูกค้นพบเมื่อ พ.ศ.2556 โดย Brealey โดยพบว่าถ้าเติมธาตุโครเมียม (Cr) มากกว่า 13% ลงในเหล็กจะทำให้เหล็กนั้นทนต่อการเป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน (Corosion resistance) ทนต่อการเกิดออกไซด์ ทนต่อสารเคมี ทนต่อกรด ทนต่อด่าง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่า Cr ทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์เคลือบที่ผิวเหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

1. Ferritic stainless steel
2. Austenetic stainless steel (18-8 stainless st.)
3. Martensitic stainless steel

#### 2.2.2.1.1 Ferritic stainless steel

"Ferritic stainless steel" เป็นกลุ่ม "stainless steel" มีโครงสร้างผลึกเป็น B.C.C. มีโครงสร้างจุลภาคเป็น Ferrite $(\alpha - \text{Iron})$ มีคุณสมบัติอ่อน Ductility สูง Strength และ Hardness ต่ำ ไม่สามารถชุบแข็งได้ ถ้าต้องการเพิ่ม Strength และ Hardness ทำได้โดยการทำ Cold working และนอกจากนี้ยังทนต่อการเป็นสนิม โดยปกติ "Stainless steel" กลุ่มนี้สามารถยกตัวอย่างเช่น SUS 201, SUS 211 และ SUS 212 เป็นต้น




**รูปที่ 2.2.7** จุลโครงสร้าง “Ferritic stainless steel”

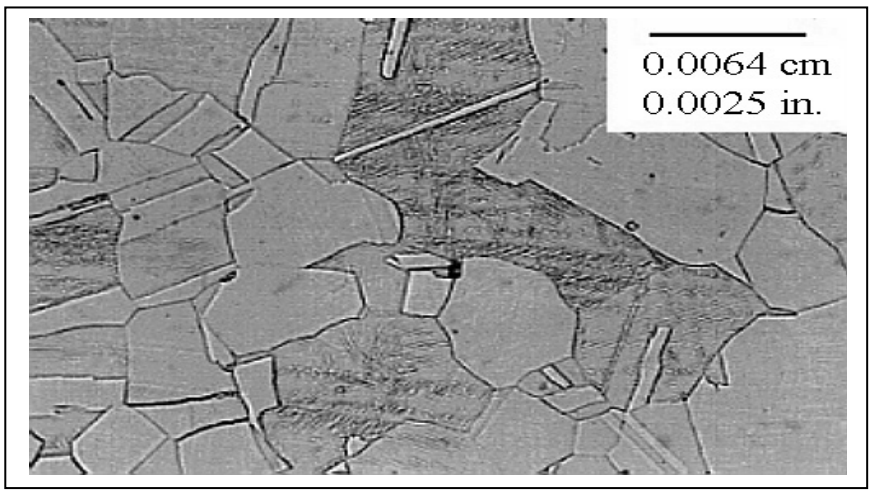
**การนำไปใช้งาน**

ใช้ทำอุปกรณ์ในครัวเรือน เช่น ช้อน ส้อม จาน ชาม หม้อ กระทะ เป็นต้น หรือใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ราวบันได ฯลฯ

**2.2.2.1.2 Austenitic stainless steel**

“Austenitic stainless steel” เป็นกลุ่ม “stainless steel” มีโครงสร้างผลึกเป็น F.C.C. มีโครงสร้างจุลภาคเป็น “Austenite” $(\gamma - \text{Iron})$ มีคุณสมบัติทางกลอ่อนStrength และHardness ต่ำ และไม่สามารถชุบแข็งได้ ถ้าต้องการเพิ่ม Strength และ Hardness ต้องผ่านการ Cold work จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงกล่าวได้ว่า วัสดุกลุ่มนี้เป็นหนึ่งในกลุ่มของ “Heat resistance steel” และนอกจากนี้ยังทนต่อการเป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน ทนต่อกรด - ด่างหรือสารเคมี

“Stainless steel” ในกลุ่มที่มีชื่อเสียงที่สุดคือ “SUS 304 หรือ “SS 18-8” ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมี 0.08%C, 0.8% Mn, 18%Cr, 8%Ni มีโครงสร้างผลึกเป็นลักษณะที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (non-magnetic) มีโครงสร้างจุลภาคเป็น Austenitic นอกจากนี้ยังมี “SUS 316 ซึ่งเป็นการพัฒนามาจาก “SUS 304” และมีการเติมธาตุ “Mo” เพื่อให้เสถียรที่อุณหภูมิสูงและคาดว่าจะต้านทานการเกิด “Stress Corrosion Cracking ; SCC” ได้



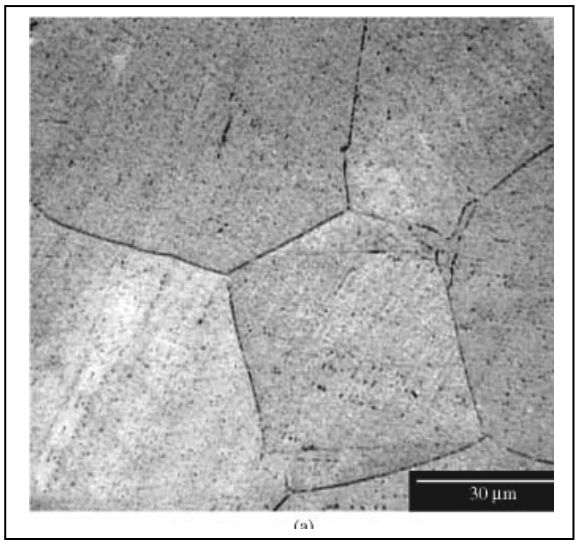

**รูปที่ 2.2.8** จุลโครงสร้าง Austenitic stainless steel”

**การนำใช้งาน**

ใช้ทำท่อ “Superheater tube”. ภาชนะบรรจุอาหาร, บรรจุสารเคมีใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี และนอกจากนี้ยังทำเครื่องประดับ เช่น สร้อย แหวน สายนาฬิกา ฯลฯ

**2.2.2.1.3 Martensitic stainless steel**

“Martensitic stainless steel เป็นกลุ่ม “stainless steel” มีโครงสร้างผลึกเป็น B.C.T. มีโครงสร้างเป็นจุลภาคเป็น Martensite มองดูคล้ายเข็ม มีคุณสมบัติแข็งมากแต่เปราะ ทนต่อการเสียดสี ทนต่อการเป็นสนิม ทนต่อการเกิดออกไซด์ ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี




**รูปที่ 2.2.9** จุลโครงสร้าง “Martensitic stainless steel”

“Stainless steel” ในกลุ่มที่มีชื่อเสียงที่สุดคือ “Type 410”, “Type 414 และ “Type 416”

**การนำไปใช้งาน**

ใช้ทำเครื่องมือทางการแพทย์ เช่น เครื่องมือผ่าตัด ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้ต้องทนต่อการเป็นสนิม มีความคมและมีความแข็งแรงสูง หรือ เป็นท่อ “Superheater tube”

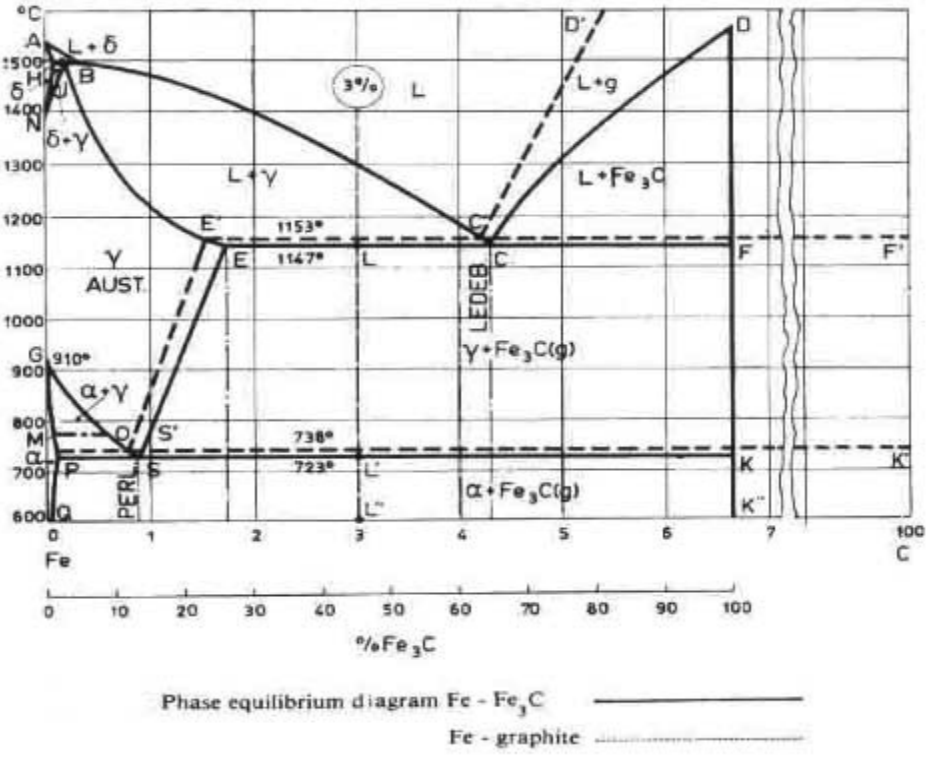
**2.2.3 เหล็กหล่อ (Cast Iron)**

เหล็กหล่อจัดเป็นเหล็กชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมาเป็นระยะเวลานาน เหล็กหล่อคล้ายกับเหล็กกล้าที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่เช่นเดียวกัน และสามารถศึกษาโครงสร้างจากแผนภาพ Phase equilibrium ระหว่างเหล็กกับคาร์บอนเหมือนกัน เพียงแต่ว่าปริมาณคาร์บอนในเหล็กหล่อจะมีมากกว่าในเหล็กกล้า คือตั้งแต่ 2.0 - 6.67 %

**2.2.3.1 เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron)**

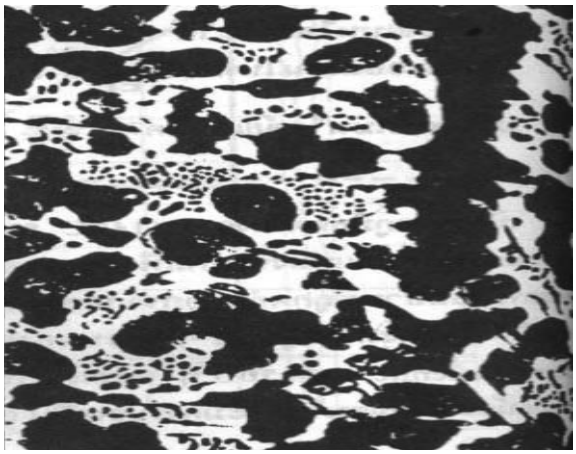
เหล็กหล่อสีขาวคือ เหล็กหล่อที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ตั้งแต่ 2.0 % ขึ้นไป การเปลี่ยนสภาวะเหล็กหล่อชนิดนี้ จากสภาพหลอมเหลวไปสู่สภาวะของแข็ง จะเป็นระบบเมตาสเตเบิล (Metastable) กล่าวคือ คาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กทั้งหมดจะอยู่ในรูปของเหล็กคาร์ไบด์ หรือ ซีเมนไตต์ ($Fe_3C$) ทำให้เหล็กมีคุณสมบัติแข็งและเปราะแตกหักได้ง่ายรอยแตกหรือรอยหักจะดูเป็นสีขาวเหมือนเนื้อเหล็กทั่ว ๆ ไป จึงนิยมเรียกชื่อตามลักษณะที่ปรากฏว่าเหล็กหล่อสีขาว คุณสมบัติของเหล็กหล่อสีขาวจะมีความแข็งระหว่าง 380-550 HB ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนและธาตุผสมบางตัว เช่นโครเมียม หรือโมลิปดินั่ม ซึ่งอาจจะให้ความแข็งได้สูงกว่าเหล็กหล่อสีขาวแบ่งออกเป็นสามประเภทตามลักษณะของโครงสร้าง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอน คือ เหล็กหล่อสีขาว Hypoeutectic เหล็กหล่อสีขาว Eutectic และเหล็กหล่อขาวไฮเปอร์-ยูเทคติก (Hypereutectic)

**เหล็กหล่อสีขาว Hypoeutectic** เป็นเหล็กหล่อที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 4.3 % โครงสร้างของเหล็กจะประกอบด้วยเกรนของเพิรล์ไลท์, ซีเมนไตต์ และโครงสร้างยูเทคติกซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า **เลดเดอร์บูไรท์ ( Lederburite)** เพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะของโครงสร้างได้ลึกซึ้งจะขอยกตัวอย่างเหล็กหล่อมีคาร์บอน 3.0% เริ่มจากจุดที่เหล็กหล่ออยู่ในสภาพหลอมเหลวจนถึงอุณหภูมิปกติ โดยอาศัย Phase equilibrium diagram ของเหล็กกับซีเมนไตท์ จากภาพไดอะแกรมเหล็กหล่อจะเริ่มแข็งตัวเมื่อเส้นของเหล็กหล่อ 3% ตัดกับเส้น BC จะให้กำเนิดนิวเคลียสของออสเทนไนต์ที่มีคาร์บอนประมาณ 0.6% และเมื่ออุณหภูมิลดลงนิวเคลียสของออสเทนไนต์จะขยายตัวให้โครงสร้างเดนไดร์ที่มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามเส้น BE และในขณะเดียวกันเหล็กหล่อหลอมเหลวที่ล้อมรอบผลึกของออสเทนไนต์จะมีปริมาณลดลงและปริมาณของคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามเส้น BC




**รูปที่ 2.2.10** Equilibrium diagram สำหรับเหล็ก 3% คาร์บอน

เมื่ออุณหภูมิของเหล็กหล่อหลอมเหลวเย็นลงจนถึงอุณหภูมิยูเตกติค (1147$^0$C) เหล็กหล่อหลอมเหลวที่มีปริมาณคาร์บอน 4.3 % จะแข็งตัวให้ปฏิกิริยายูเทคติก โดยให้ออสเทนไนต์ (1.7%C ) พร้อม ๆ กับซีเมนไตต์ยูเทคติกในโครงสร้างยูเทคติก หรือเลดเดอร์บูไรต์ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจาก 1147$^0$C จนถึง 723$^0$C ในช่วงนี้จะไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมากนักส่วนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงจะเป็นเพียงออสเทนไนต์จากจุด E (1.7%) ค่อย ๆ ลดปริมาณคาร์บอนตามเส้น ES และคาร์บอนส่วนที่ถูกผลักออกจากออสเทนไนต์ จะไปรวมตัวกับอะตอมของหล็กให้ซีเมนไตต์ประเภทโปรยูเทกตอยด์ โดยจะเกิดอยู่รอบ ๆ เกรนของออสเทนไนต์ ทั้งที่เป็นออสเทนไนต์ที่เกิดก่อนอุณหภูมิเตคติกและรอบ ๆออสเทนไนต์ที่อยู่ในโครงสร้างเลดเดอร์บูไรท์ เมื่ออุณหภูมิลดลงมาอยู่เหนือ 723$^0$ C เล็กน้อย ออสเทนไนต์จะมีคาร์บอนเป็น 0.87 % ที่จุด S ส่วนซีเมนไตต์จะยังมีปริมาณคาร์บอน 6.67 % ที่จุด K ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 723$^0$ C ลงมาถึงอุณหภูมิปกติ โครงสร้างส่วนใหญ่จะมีเปลี่ยนแปลงเพียงแต่เฟอร์ไรท์จะลดปริมาณคาร์บอนลงตามเส้น PQ ซึ่งคาร์บอนส่วนที่ลดนี้จะไปรวมกับอะตอมของเหล็กให้ซีเมนไตต์ชนิด Termaty ซึ่งอยู่รอบ ๆ เฟอร์ไรท์ สรุปได้ว่าเหล็กหล่อขาวชนิดไฮโปยูเทคติตที่อุณหภูมิปกติประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นเพิร์ลไลท์ขนาดโตที่มาจากออสเทนไนต์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1147$^0$C และเพิร์ลไลท์ที่อยู่ในโครงสร้างยูเทตติกหรือเลดเดอร์บูไรท์ที่เกิดที่อุณหภูมิ 1147$^0$C รอบเพิร์ลไลท์จะเป็นซีเมนไตต์ชนิดยูเทคติกและโปรยูเทคตอยด์



**รูปที่ 2.2.11 โครงสร้างเหล็กหล่อขาว Hypoeutectic**

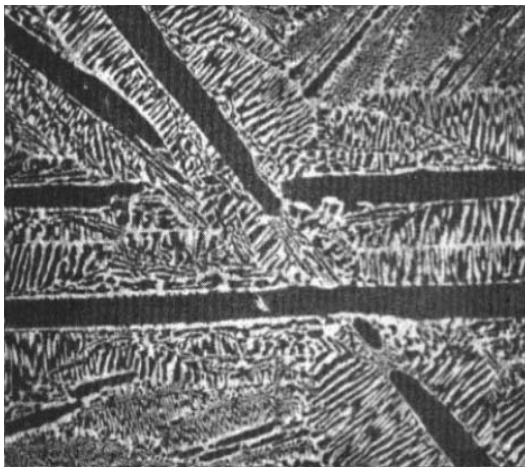
**รูปที่ 2.2.12** โครงสร้างเหล็กหล่อขาว Eutectic

### 2.2.3.2 เหล็กหล่อขาวยูเทคติก (Eutectic)

สำหรับเหล็กหล่อขาวชนิดยูเทคติกซึ่งมีคาร์บอน 4.3 % โครงสร้างของเหล็กที่อุณหภูมิปกติจะประกอบด้วยเกรนเล็ก ๆ ของเพิร์ลไลท์ล้อมรอบด้วยซีเมนไตต์ชนิดยูเทตติกและโปรยูเทคตอยด์ ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้างยูเทคติกหรือ ลีดเดอร์บูไรท์ เหล็กหล่อชนิดนี้จะไม่ปรากฏเกรนขนาดโตของเพิร์ลไลท์อย่างที่ปรากฏพบในเหล็กหล่อสีขาวไฮโปรยูเทคติก แต่ในทางปฏิบัติจะพบเหล็กหล่อชนิดนี้ที่ปริมาณคาร์บอนใกล้เคียง กับ 4.3 % ซึ่งจะทำให้เห็นโครงสร้างแตกต่างออกไปจากที่กล่าวมา

**2.2.3.3 เหล็กหล่อขาวไฮเปอร์ยูเทคติก (Hypereutectic)**

เป็นเหล็กหล่อที่มีคาร์บอนมากกว่า 4.3 % ซึ่งเป็นเหล็กหล่อสีขาวที่มีความแข็งแรงสูงกว่า 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว แต่จะเปราะแตกหักได้ง่ายกว่า ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อจะมีผลิตเหล็กชนิดนี้มากนัก โครงสร้างชนิดนี้จะปรากฏมีซีเมนไตต์ประเภทโปรยูเทคติก หรือ Primary Cementite ซึ่งจะเกิดจากตอนแรกที่เหล็กหล่อเริ่มเกิดการแข็งตัว กล่าวคือ เมื่อเส้นของเหล็กหล่อสมมุติว่าเป็นเหล็กที่คาร์บอน 5 % ในขณะเย็นตัวลงจะคัดกับเส้น Liquidus ที่อุณหภูมิ $1300^0$ C การให้กำเนิดนิวเคลียสที่จุดนี้จะเป็น Cementite และเมื่ออุณหภูมิเย็นลงเรื่อย ๆ Proeutectic cementite จะขยายตัวการขยายตัวของ Cementit นี้ จะอิสระเพราะมีเหล็กหลอมเหลวล้อมรอบอยู่ เนื่องจากระบบผลึกของ Cementite ประเภท Tetragonal ดังนั้นการขยายตัวจึงมีทิศทางที่แน่นอนทางใดทางหนึ่งซึ่งเป็นทิศทางที่พอเหมาะ (Preferential direction) ต่อการขยายตัวปรากฏว่าผลึกของ Proeutectic cementite ที่ปรากฏพบจึงมีลักษณะเป็นแถบยาว(ดังภาพ) ในขณะที่อุณหภูมิลดลงความเข้มข้นของคาร์บอนจะค่อยลดลงด้วยและเมื่ออุณหภูมิอยู่เหนือ $1147^0$ C เล็กน้อย เหล็กหล่อจะประกอบด้วย Proeutectic cementite (6.67 % C) ล้อมรอบด้วยเหล็กหล่อหลอมเหลวที่มีคาร์บอนประมาณ 4.3 % ณ จุดนี้ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงมาอยู่ที่ $1147^0$C เหล็กหลอมเหลวจะให้ปฏิกิริยายูเทคติกให้โครงสร้างเลดเดอร์บูไรด์ และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนถึง $723^0$ C ออสเทนไนท์ในเลดเดอร์บูไรท์จะเปลี่ยนเป็นเพิร์ลไลท์เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า $723^0$ C จะเกิด Termary Cementite ตามบริเวณรอบ ๆ เกรนของ Ferrite ดังนั้นโครงสร้างของเหล็กหล่อไฮเปอร์ยูเทคติกที่อุณหภูมิปกติประกอบด้วย Proeutectic cementite เป็นแถบยาวล้อมรอบด้วยโครงสร้าง Eutectic หรือ Lederburite ซึ่งถ้ามองผ่านกล้องขยายจะเห็นProeutectic cementiteที่เป็นแถบสีขนาดใหญ่ กับลักษณะโครงสร้างยูเทคติกซึ่งประกอบด้วยจุดดำเล็กๆ คือเพิร์ลไลท์พื้นที่สีขาวซึ่งก็คือซีเมนไตต์



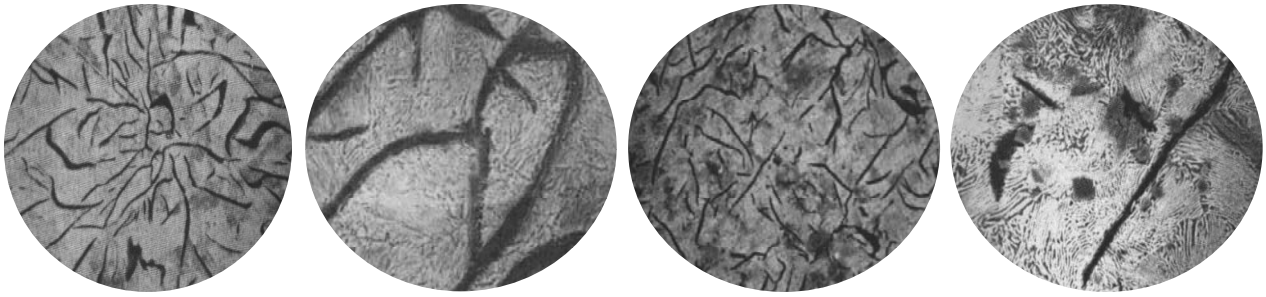
**รูปที่ 2.2.13** โครงสร้างเหล็กหล่อสีขาว Hypereutectic

**2.2.3.4 เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron)**

สาเหตุที่เรียกว่าเหล็กหล่อสีเทาก็เพราะเหล็กหล่อชนิดนี้เมื่อตีหักดูเนื้อเหล็กตรงรอยหักจะมีลักษณะเป็นสีเทา ซึ่งต่างกันกับเหล็กหล่อสีขาว ซึ่งความจริงเหล็กหล่อสีเทาก็เป็นเหล็กหล่อที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมที่อยู่ใกล้เคียงกับเหล็กหล่อสีขาว ผิดกันที่เหล็กหล่อสีเทาในขณะเปลี่ยนสภาวะจากของเหลวเป็นของแข็งจะเป็นระบบ Stable กล่าวคือปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของคาร์บอนบริสุทธิ์แยกตัวออกมารวมเป็นแผ่น (Flakes) ซึ่งเรียกว่ากราไฟต์และกระจายตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อเหล็ก ทำให้มองดูรอยหักเป็นสีเทา

คุณสมบัติของเหล็กหล่อสีเทา

1. มีความแข็งไม่สูงสามารถกลึงไส ตกแต่งให้ได้ขนาดตามต้องการได้ง่าย
2. มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ และมีความสามารถในการไหลตัวดีสามารถหลอมให้ได้รูปร่างสลับซับซ้อนได้ง่าย
3. มีความต้านทานต่อแรงอัดและรับแรงสั่นได้ดี
4. สามารถที่จะปรับปรุงคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงได้มากขึ้นอยู่กับการปรับปรุงส่วนผสมและการอบชุบ ทำให้ใช้งานได้กว้างขวาง



**รูปที่ 2.2.14** ลักษณะโครงสร้างของเหล็กหล่อสีเทา

ความแข็งแรงของเหล็กหล่อสีเทาขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ที่สำคัญ 3 ประการ คือ

- ส่วนผสมของเหล็กหล่อ
- อัตราส่วนการเย็นตัวของเหล็กหล่อภายในแบบหล่อ
- การตกผลึกหรือฟอร์มของกราฟไฟต์

**ส่วนผสมของเหล็กหล่อ**

จากที่เราทราบมาแล้ว เหล็กหล่อสีเทาเป็นเหล็กหล่อที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมทั่วไป จะมีคาร์บอนระหว่าง 2.5 - 4 % ซึ่งคาร์บอนนี้จะตกผลึกเป็นกราฟไฟต์แทรกอยู่ในเนื้อเหล็ก ขณะที่เหล็กหล่อเย็นตัวลงจากสภาพหลอมเหลวจนแข็งตัว นอกจากธาตุคาร์บอนแล้ว ยังมีธาตุอื่น ๆ เช่น ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และอื่น ๆ ซึ่งธาตุต่าง ๆ นี้ มีบทบาทสำคัญมากเกี่ยวกับคุณสมบัติของเหล็กหล่อ เราแบ่งธาตุต่าง ๆ นอกเหนือไปจากคาร์บอนออกเป็น 2 ชนิด คือ

- **ประเภทช่วยให้เกิดกราฟไฟต์**

ได้แก่ ซิลิคอน ฟอสฟอรัส อลูมิเนียม นิเกิล และอื่น ๆ ธาตุที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือ ซิลิคอน เนื่องจากธาตุเหล่านี้จะมีแรงดึงดูดในการรวมตัวกับเหล็กได้สูงกว่าคาร์บอน ดังนั้นซิลิคอนจะรวมกับเหล็กก่อนและให้สารประกอบในขณะที่เหล็กยังอยู่ที่อุณหภูมิสูงหรืออยู่ในสภาพหลอมเหลว ดังนั้นธาตุคาร์บอนจึงหมดโอกาสที่จะรวมกับเหล็กเกิด Cementite เมื่อเป็นเช่นนี้อะตอมของธาตุคาร์บอนจึงจับรวมกันเข้าเป็นกลุ่มเป็นก้อนกลายเป็นกราไฟต์ซึ่งฟอร์มของกราไฟต์ปกติจะเกิดเป็นแผ่นบาง ๆ แต่จะมีการเปลี่ยนลักษณะไปบ้างขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์บางอย่าง และนอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังช่วยให้การไหลตัวของน้ำเหล็กไหลได้ดี สามารถเทที่อุณหภูมิต่ำได้

- **ประเภทรวมตัวกับคาร์บอน** (Carbide - forming elements)

ได้แก่ธาตุแมงกานีส โครเมี่ยม ทังสเตน วานาเดียม โมลิปดินั่ม และอื่น ๆ ธาตุเหล่านี้จะรวมตัวกับคาร์บอนให้คาร์ไบด์และเป็นคาร์ไบด์ที่มีเสถียรภาพซึ่งจะทำให้เกิดเป็นเหล็กหล่อ สีเทาได้ยากยกเว้นในกรณีที่ต้องการทำเหล็กหล่อสีขาวเพื่อต้องการให้เหล็กแข็งทนต่อการสึกหรอ จึงจะผสมธาตุเหล่านี้ลงไป ปกติธาตุคาร์ไบด์ที่เกิดจากธาตุเหล่านี้มักจะเปราะแตกหักง่าย ถึงจะมีความแข็งสูงก็ตาม

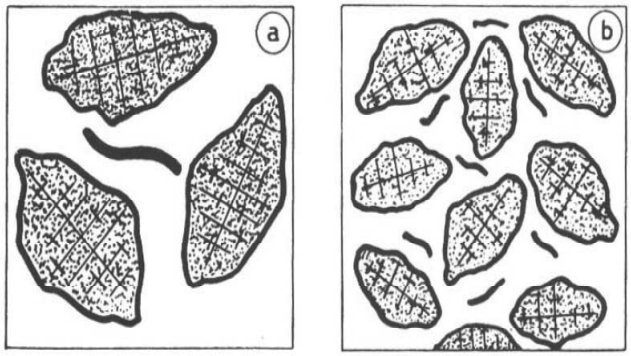
เนื่องจากอิทธิพลของธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเหล็กหล่อ เป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้จุดต่าง ๆ ของ Equilibrium Diagram ของเหล็กกับคาร์บอนเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเปอร์เซ็นต์คาร์บอนจะต้องพิจารณาร่วมกับเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเทียบเท่าหรือเรียกว่า Carbon equivalent (C.E) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$C.E.= \%\ C + \frac{1}{3}(Si + P)$$

ค่าคาร์บอนเทียบเท่าจะอยู่ในช่วง 3.8-4.2 คาร์บอนเทียบเท่าจะไม่เกิน 4.2 ไม่ได้เป็นอันขาด เพราะจะทำให้กราไฟต์ไม่รวมกับเหล็กจะลอยขึ้นเหนือน้ำโลหะ เป็นเหตุให้เหล็กหล่ออ่อนแอมีความแข็งแรงน้อย

### 2.2.4 การตกผลึกหรือการฟอร์มตัวของกราไฟต์

จากการศึกษาการหลอมเหล็กหล่อที่กำลังหลอมเหลว เบ้าแรกมีปริมาณของซิลิคอน 1.6 % อีกเบ้ามีซิลิคอน 1.4 % ส่วนธาตุทีผสมอยู่ในเหล็กหล่ออื่น ๆเท่ากัน ก่อนที่จะเทลงแบบหล่อทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน เอาเฟอร์โรซิลิคอนที่เป็นผงละเอียดเทลงไปในเบ้าที่สอง เพื่อให้ปริมาณซิลิคอนในเบ้าที่สองเท่ากับ 1.6 % เมื่อกวนให้เฟอร์โรซิลิคอนละลายในน้ำเหล็กหล่อดีแล้ว จึงเทน้ำเหล็กหล่อทั้งสองเบ้าลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ทั้งสองแบบ ปรากฏว่าเบ้าแรกให้คุณสมบัติที่ดีกว่า โดยฟอร์มกราไฟต์มีความละเอียดและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายในเนื้อเหล็ก จากการทดลองนี้มีผู้ให้เหตุผลว่า การที่ใส่ซิลิกอน ลงไปในน้ำเหล็กหล่อ ซิลิคอนอาจจะมีออกซิไดซ์และกลายเป็นผงเล็ก ๆ ของ $SiO_2$ ซึ่งมีจุดหลอมตัวสูงลอยอยู่ในน้ำเหล็ก และทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสเทียม ให้กำเนิดการตกผลึกและรวมตัวของคาร์บอน จนเป็นGraphite ได้ เพราะจากการทดลอง ถ้าใช้เฟอร์โรซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์มากกลับให้ผลในการให้กำเนิดนิวเคลียสได้น้อยกว่าเฟอร์โร-ซิลิกอนที่ผลิตขึ้นจากโรงงาน ซึ่งจะมีธาตุหรือสารเจือปนอื่น ๆ เช่น อลูมิเนียม แมกนีเซียม ปนมาด้วยทำให้เพิ่มปริมาณนิวเคลียสของกราไฟต์ ถ้าการเกิดนิวเคลียสของออสเทนไนต์ได้มาก กราไฟต์ก็จะเกิดได้มากและมีความละเอียดกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แต่ถ้าหากนิวเคลียสเกิดจำนวนน้อยการฟอร์มตัวของกราฟไฟต์จะเกิดน้อย และจะมีขนาดโต ทำให้คุณสมบัติทางกลด้อยลงด้วย




**รูปที่ 2.2.15** รูปแสดงลักษณะการฟอร์มตัวของกราไฟต์

กระบวนการเติมผงเฟอร์โรซิลิคอนผสมในเหล็กหล่อหลอมเหลวก่อนเทลงแบบหล่อนี้เรียกกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพเหล็กหล่อนี้ว่า **การทำ Inoculation** ซึ่งในปัจจุบันได้พัฒนาโดยการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการทำ Inoculation ด้วยจึงทำให้ประสิทธิภาพของเหล็กหล่อดีขึ้น โครงสร้างพื้นฐาน (Mattrix) ของเหล็กหล่อสีเทามีสามประเภท คือ เฟอริติค, เพิร์ลลิติก ,และเฟอร์ริโต-เพิร์ลลิติก โดยหลักทางโลหะวิทยาจะถือว่า โครงสร้างเพิร์ลลิติกเป็นโครงสร้างที่ให้คุณสมบัติทนแรงดึงได้สูงสุด ส่วนเฟอร์ริโต-เพิร์ลลิติก และเฟอร์ริติก ก็จะให้คุณสมบัติทนแรงดึงลดหลั่นลงไปตามปริมาณของเพิร์ลไลท์

**ชนิดของกราฟไฟต์สามารถแบ่งได้ 6 ชนิดดังนี้**

**2.2.4.1 Type A ; กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ**

กราไฟท์ชนิดนี้ปรากฏในเหล็กหล่อชนิดคุณภาพดีพิเศษโครงสร้างส่วนใหญ่คือ Pearlite และ Graphite ที่มีขนาดที่เหมาะสม นอกจากนั้นการที่กราไฟท์มีรูปร่างโค้งทำให้เหล็กหล่อเทามีความแข็งแรงสูงขึ้น กราไฟท์จะโค้งงอได้ก็เพราะ ออสเทนไนต์ที่มีรูปร่างเป็นกิ่งไม้ (Dendritic) ที่ตกผลึกก่อนอุณหภูมิยูเทคติก หรือเรียกว่าผลึก “Primary graphite” จะถูกดัดไปตามแนวของรูปร่างกิ่งไม้ ดังนั้นถ้าต้องการให้มีกราไฟท์ รูปร่างโค้งให้มากก็จะต้องมีการทำให้มีผลึกไพรมารีมากๆ น้ำโลหะที่มีเปอร์เซ็นคาร์บอนสูงจะมีการไฟท์โค้งอยู่น้อย เพราะผลึกไพรมารีน้อย เพื่อให้ผลึกไพรมารีมีมาก ๆ จะต้องใส่สาร Inculate สารเคมีลดออกซิเจน และช่วยในการเกิดกราไฟท์เข้าไปในน้ำโลหะ

**2.2.4.2 Type B ; กราไฟท์ดอกกุหลาบกระจายอยู่เป็นกลุ่ม**

กราไฟท์ชนิดนี้ประกอบด้วยก้อนยูเทคติก ซึ่งมีกราไฟท์ชิ้นเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นขณะเกิดการแปรสภาพแบบยูเทคติก กราไฟท์เล็ก ๆ เหล่านี้อยู่ตรงกลาง และล้อมรอบด้วยกราไฟท์ที่มีขนาดใหญ่เรียงตามแนวรัศมี การไฟท์ประเภทนี้มักเกิดตรงส่วนบาง ๆ ของชิ้นงานหล่อ ส่วนขนาดของกราไฟท์จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมและอัตราการเย็นตัว

ถ้าน้ำโลหะมีออกซิเจนละลายอยู่เกินเกณฑ์ปกติจะมีกราไฟท์ยูเทคติก แต่ถ้าอัตราการเย็นสูงมีซิลิคอนอยู่มากจะมีแต่เฟอร์ไรท์อยู่กลางกลุ่มกราไฟท์ กราไฟท์ในลักษณะนี้มักเกิดร่วมกับกราไฟท์ชนิด A ในชิ้นงานหล่อบาง ๆ กราไฟท์ชนิด B นี้จะมีอยู่หนาแน่นในเหล็กที่คาร์บอนสูงเพราะมีการตกผลึกของกราไฟท์มาก ดังนั้นจะทำให้ชิ้นงานหล่ออ่อนแอบางครั้งจะขาดครึ่งท่อนขณะทำการตัดด้วยเครื่องกล

**2.2.4.3 Type C : เกร็ดกราไฟท์เกิดทับกัน การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ**

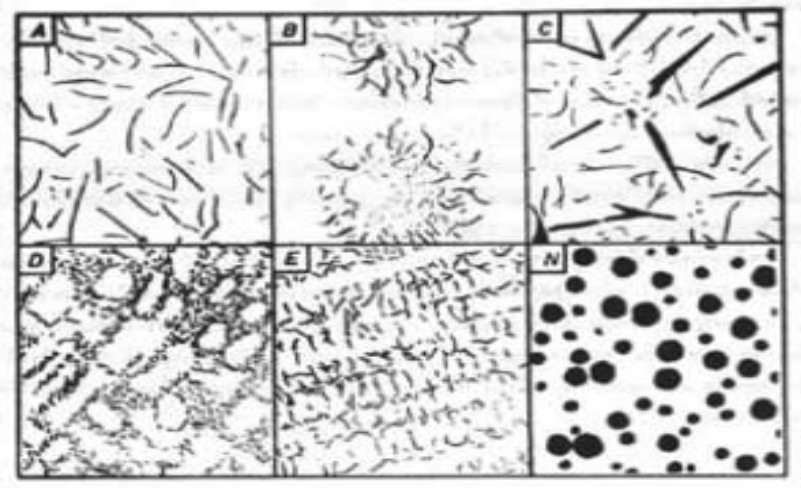
โครงสร้างชนิดนี้เกิดขึ้นสำหรับเหล็กหล่อที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนมากกว่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนของเหล็กหล่อที่มีส่วนผสมยูเทคติก (เกิน 4.3%)คาร์บอนที่มีอยู่จะอยู่ในสภาพกราไฟท์เสียมากจนกระทั่งเหลือจะเป็นเฟอร์ไรท์เป็นส่วนมาก มีซีเมนไทท์น้อย กราไฟต์ชนิด C นี้จะมีผลึกกราไฟต์ไพรมารีที่ยาวและกว้าง และมีเกล็ดที่เกิดที่อุณหภูมิยูเทคติคมาทับหรือล้อมรอบกราไฟท์ไพรมารี โครงสร้างประเภทนี้เมื่อยิ่งมีเฟอร์ไรท์อยู่มากด้วยจะอ่อนแอมาก ใช้ประโยชน์อะไรไม่ค่อยได้ ในทางปฏิบัติเราไม่ต้องการกราไฟท์ชนิดนี้

**2.2.4.4 Type D : เกร็ดกราไฟท์เกิดระหว่างออสเทนไนต์ไพรมารีรูปกิ่งไม่ การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ**

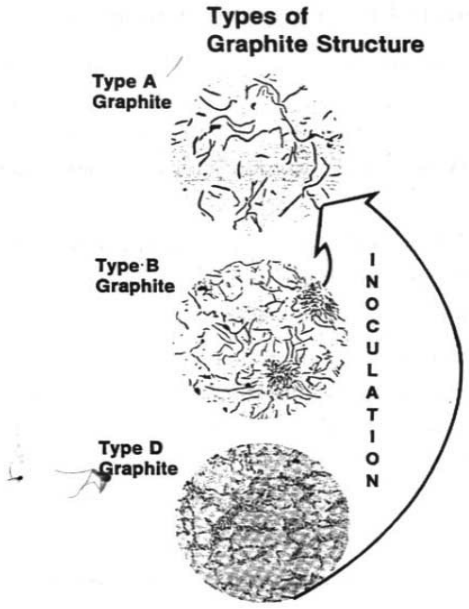
สำหรับโครงสร้างแบบนี้กราไฟท์ชิ้นเล็กที่ตกผลึกที่อุณหภูมิยูเทคติคจะเกิดขึ้นระหว่างออสเทน-ไนต์ไพรมารีรูปกิ่งไม้ ปรากฏการณ์นี้ปรากฏขึ้นเมื่อมีสถานการณ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดแข็งตัวแต่น้ำโลหะยังไม่แข็งตัว (Super Cooling) เมื่ออุณหภูมิอยู่แถบอุณหภูมิยูเทคติก เงื่อนไขอันหนึ่งจะทำให้เกิดการแข็งตัวช้านี้ คือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำโลหะและออกซิเจน ถ้าใส่สารเคมีเข้าไปในน้ำโลหะเพื่อช่วยเฉลี่ยเลี่ยงไม่ให้เกิดการแข็งตัวช้าได้บ้าง แต่ช่วยไม่มากหากมีออกซิเจนอยู่มากขนาดเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย กราไฟท์ชนิดนี้บางครั้งก็เกิดตรงกลางของกราไฟท์ชนิด B และบางครั้งก็เกิดตรงกลางของชิ้นงานหล่อหนา ๆ ที่แข็งตัวทีหลังส่วนอื่น โครงสร้างชนิดนี้มักมีเฟอร์ไรท์เป็นพื้นทำให้อ่อนแอ ในทางปฏิบัติไม่ต้องการกราไฟท์ชนิดนี้

**2.2.4.5 Type E : เกล็กราไฟท์เกิดระหว่างออสเทนไนต์ไพรมารีรูปกิ่งไม้ การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบอยู่บ้าง (Pref erred orientation)**

กราไฟท์ชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่อ เปอร์เซนต์คาร์บอนค่อนข้างต่ำ จะเกิดการลดความแข็งแรงเพราะชิ้นกราไฟท์อยู่ติดกัน เช่นเดียวกับชนิด D แต่บางครั้งความแข็งแรงก็สูงเพราะ เปอร์เซนต์คาร์บอนต่ำจึงมี




**รูปที่ 2.2.16** แสดงชนิดของกราไฟต์ที่เกิดขึ้นในเหล็กหล่อสีเทา




**รูปที่ 2.2.17** รูปแสดงผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะกราไฟต์โดยการทำอินน๊อคคูเลท

### 2.2.5 เหล็กหล่อกราไฟท์กลม(Spheroidal graphite cast iron)

เหล็กหล่อกราไฟท์กลม หรือที่มีชื่อเรียกกันหลายแบบ เช่น Nordutar cast iron, Spheroidal graphite cast iron หรือ Ductile iron เพราะคุณสมบัติและลักษณะของกราไฟท์ที่ตกผลึกอยู่ในเหล็ก จะอยู่ในลักษณะกลม ซึ่งแตกต่างไปจากลักษณะกราไฟของเหล็กหล่อสีเทา ซึ่งอยู่ในรูปแถบยาว ๆ ด้วยคุณลักษณะของกราไฟท์ที่เป็นรูปกลมนี้เอง ทำให้มีคุณสมบัติเหนียวรับแรงกระแทกได้ดีกว่าเหล็กหล่อสีเทามาก จนได้ชื่อว่าเป็นเหล็กหล่อเหนียวหรือ Dutite iron กราไฟท์ก้อนกลมนี้ค้นพบโดยการผสมโลหะซีเรียมหรือแมกนีเซียมในเหล็กหล่อ

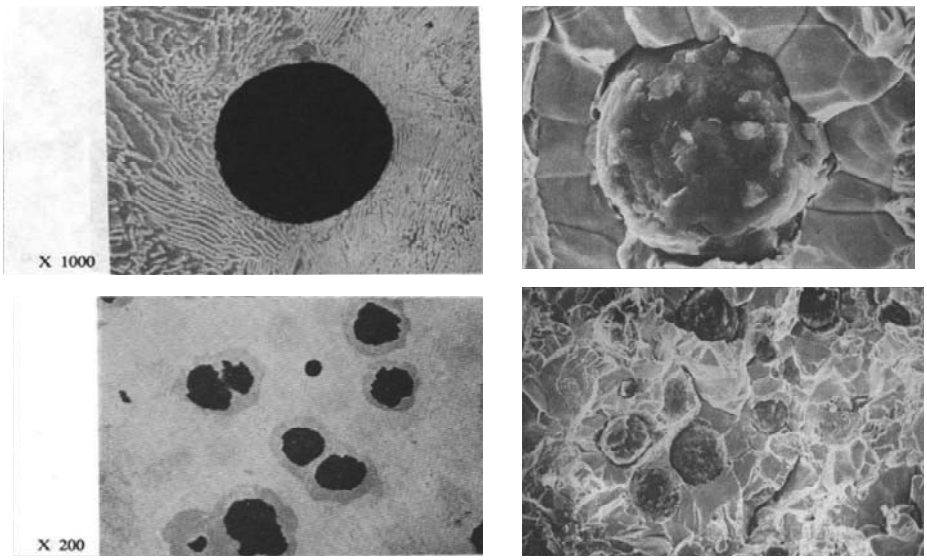
**ทฤษฎีทางด้านโลหะวิทยา**

คุณสมบัติของเหล็กหล่อทั่วไป จะขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ที่สำคัญสองประการคือ

1. โครงสร้างพื้นฐาน (Metallic Matrix)
2. ลักษณะของกราไฟท์และการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

* โครงสร้างพื้นฐานของเหล็กหล่อแบ่งได้เป็น เพิร์ลไล และเพิร์ลลิโต-เฟอร์ริติก (ในกรณีที่มีการชุบแข็งอาจจะมีโครงสร้างพื้นฐานเป็น Bainite หรือ Martensite)
* เพิร์ลไลท์เป็นโครงสร้างที่มีความแข็งสูง (80 kg/mm$^2$) แต่มีความเหนียวน้อย
* เฟอร์ไรท์เป็นโครงสร้างที่มีความแข็งอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (28 kg/mm$^2$) แต่มีความเหนียวสูง
* เพิร์ลไลท์ – เฟอร์ริติค เป็นโครงสร้างที่มีทั้งสองชนิดปนกัน จึงมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง โดยทั่วไปโครงสร้างของเหล็กหล่อส่วนมากจะเป็นเฟอร์ริโต-เฟอริติค จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้โดยการทำการอบชุบการที่จะได้เหล็กหล่อที่มีกราไฟท์เป็น

เม็ดกลมสามารถกระทำได้โดยการผสมโลหะแมกนีเซียมหรือซีเรียม ลงไปในเหล็กหล่อหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1300-1450$^{0}$ C ซึ่งโลหะแมกนีเซียมหรือซีเรียมจะทำหน้าที่ช่วยให้คาร์บอนในเหล็กหล่อจับตัวกันเป็นเม็ดกลม และภายหลังจากการผสมแมกนีเซียมแล้วจะทำ Inoculate ด้วยเฟอร์โรซิลิกอน เพื่อให้เกิดการกระจายของกราไฟท์ดีขึ้น จะทำให้เหล็กหล่อมีความต้านทานแรงดึงสูงขึ้นวิธีการผสมแมกนีเซียมและหลักการเกิดกราไฟท์กลมจะได้กล่าวต่อไป




**รูปที่ 2.2.18 รูปแสดงโครงสร้างของเหล็กหล่อกราไฟต์ก้อนกลม**

### 2.2.6 เหล็กหล่ออบเหนียว(Malleable Cast Iron)

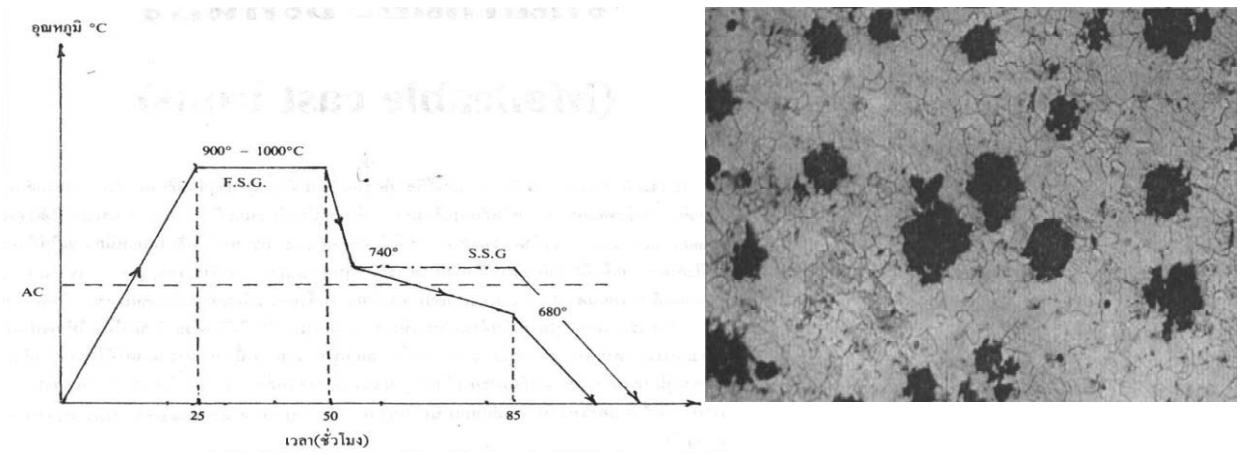
เหล็กหล่ออบเหนียวได้จากการนำเหล็กหล่อขาวมาอบด้วยกรรมวิธีความร้อนเนื่องจากเหล็กหล่อขาวมีคาร์บอนอยู่ในรูปของซีเมนไตต์ ($Fe_3C$) เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา นาน ๆ ธาตุคาร์บอนก็จะแยกตัวออกมาจากเหล็ก แล้วรวมตัวกันเป็นกราไฟต์ ลักษณะของเหล็กหล่อชนิดนี้ คือเป็นเหล็กที่มีความเค้นสูงกว่าเหล็กหล่อมีเทาและเหล็กหล่อสีขาว แต่จะต่ำกว่าเหล็กหล่อกราไฟต์กลมเล็กน้อย เหล็กหล่ออบเหนียวแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานคือ

#### 2.2.6.1 เหล็กหล่ออบเหนียวดำ (Black Heat Malleable)

โดยการเอาเหล็กหล่อสีขาวมาอบด้วยความร้อนภายในเตาที่มีบรรยากาศเป็นก๊าซเฉื่อย หรือ อาจจะใช้ทรายปกคลุมเพื่อป้องกันการออกซิเดชั่น ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

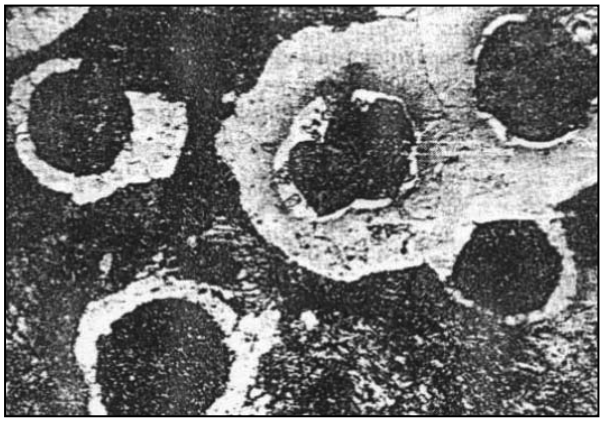
**ขั้นตอนที่หนึ่ง ของการอบ (First Stage Graphitization : FSG)** เป็นการคอยให้ความร้อนแก่เหล็กหล่อสีขาวให้มีอุณหภูมิระหว่าง 925$^0$ C ในระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 723$^0$ C ซึ่งเป็นอุณหภูมิวิกฤติต่ำ เพิร์ลไลต์จะเปลี่ยนเป็นออสเทไนต์ ดังนั้นโครงสร้างจะกลายเป็นซีเมนไตต์ที่หลงเหลืออยู่ละลายในออสเทนไนต์ ขณะที่อุณหภูมินี้สูงขึ้นก่อนจะถึงอุณหภูมิอบอ่อน ในสถานะกึ่งเสถียรเช่นนี้ออสเทนไนต์ สามารถละลายคาร์บอนไว้ในตัวมันได้มากกว่าเมื่ออยู่ในสภาวะเสถียร ดังนั้นจึงมีโอกาสที่คาร์บอนจะแยกตัวออกมาจากออสเทนไนต์เป็นอิสระในรูปของกราไฟต์ได้มาก การเริ่มก่อตัวของกราไฟต์จะเริ่มที่อุณหภูมิอบเหนียว (Malleable temperature) เทมเปอร์คาร์บอนที่เป็นก้อนเนื้อแน่นจะไม่ทำลายความต่อเนื่องของความเหนียวของเนื้อเฟอร์ไรท์ ผลก็คือทำให้เหล็กหล่ออบเหนียวมีความแข็งแรงและเหนียวดีกว่าเหล็กหล่อเทา

**ขั้นตอนที่สอง (Second Stage Graphitizion : SSG)** หลังจาก FSG ปล่อยให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วมาที่ 760-700$^0$ C ในการลดอุณหภูมินี้ต้องใช้เวลาในการลดประมาณ 2-6 ชั่วโมง โดยมีอัตราการเย็นตัวที่ช้ามาก ๆ ประมาณ 5 –15 ($^0$C / hr).เพราะอัตราการเย็นตัวและเวลาจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากออสเทนไนต์เป็นเฟอร์ไรท์ และกราไฟท์ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยายูเทคตอยด์ ($\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$) กราไฟต์ที่เกิดขึ้นจะเกิดจากอนุภาคของเทมเปอร์คาร์บอน เมื่อขบวนการก่อตัวของกราไฟต์สิ้นสุดลง ลักษณะโดยทั่วไปแล้ว จะไม่มีการเปลี่ยนระหว่างการเย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้อง โครงสร้างจุลภาค ณ ที่อุณหภูมิห้องยังคงเป็น Temper Carbon nodules ในพื้นเฟอร์ไรต์เหมือนเดิมดังรูป




**รูปที่ 2.2.19** รูปแสดงโครงสร้างTemper Carbon nodules ในพื้นเฟอร์ไรต์

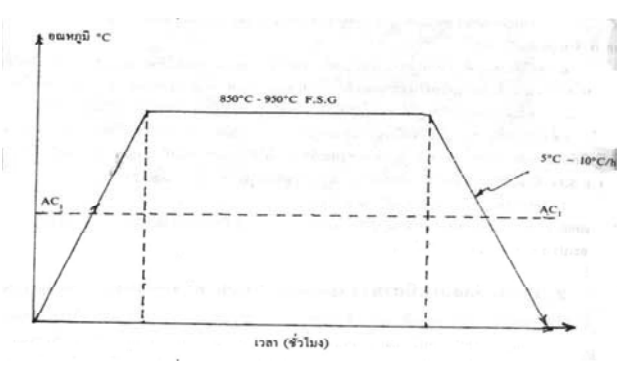
ใน SSG ถ้าลดอุณหภูมิไม่ช้าพอที่ออสเทนไนต์จะแตกตัวเป็นเฟอร์ไรต์ก็จะทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเฟอร์ไรท์ล้อมรอบกราไฟต์และจะมีโครงสร้างเพิร์ลไลต์อยู่ถัดจากเฟอร์ไรท์อีกที โครงสร้างกล่าวนี้เรียกว่า โครงสร้างตาวัว ดังแสดงในรูป

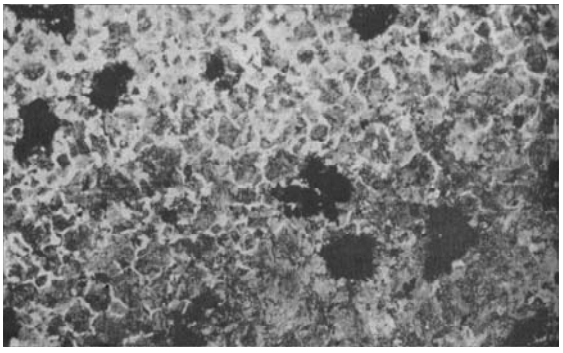


**รูปที่ 2.2.20 รูปแสดงโครงสร้างตาวัว**

### 2.2.7 เหล็กหล่ออบเหนียวขาว(White heart malleable)

การนำเหล็กหล่อขาวมาผ่านกรรมวิธีทางความร้อนภายใต้บรรยากาศที่เป็นการลดคาร์บอน (Decaburizing) คือการลดปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กไปพร้อม ๆ กับการอบความร้อน (Annealing) โดยใช้ผงเหล็กออกไซด์ หรือแร่เหล็กปกคลุมและอบที่อุณหภูมิ 850 - 950$^{0}$C ก็จะเกิดการแตกตัวของซีเมนไตต์ที่บริเวณผิวของเหล็กก็จะเกิดการรวมตัวของคาร์บอนกับออกซิเจนอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โครงสร้างที่ได้จะเป็นเพิร์ลไลและเฟอร์ไรท์ ดังรูป

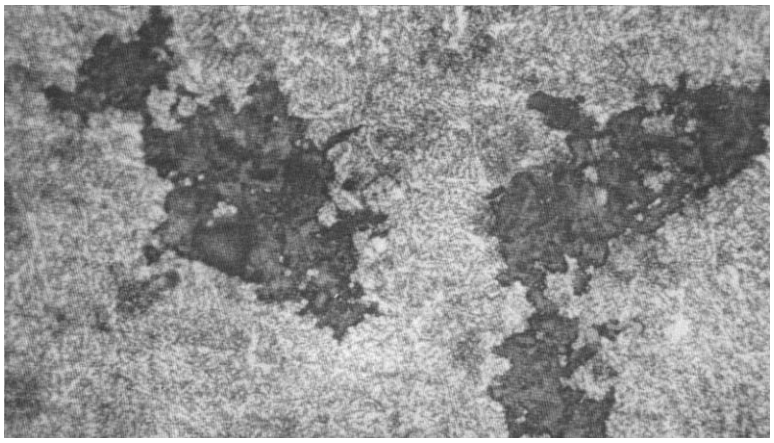


**รูปที่ 2.2.21** รูปแสดงโครงสร้างเหล็กหล่ออบเหนียวขาว

### 2.2.8 เหล็กหล่ออบเหนียวเพิร์ลิติค (Pearlitic Malleable)

การทำเหล็กล่อเพอริติคจะเหมือนกับการทำเหล็กหล่อดำทุกประการ แต่จะต่างกันที่การลดอุณหภูมิจาก $950^0$ C จะลดลงมาช้า ๆ โดยที่ไม่หยุดอยู่ที่อุณหภูมิ $720^0$ C ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ได้โครงสร้างเพิร์ลไลต์ ดังรูป บางทีก็ใช้ผสมโลหะที่เป็นตัวทำให้ซีเมนต์ไตต์มีสเถียรภาพลงไปเล็กน้อย ให้เหล็กหล่อสีขาว เช่น แมงกานีส เทลลูเลียม และบิสมัส โลหะพวกนี้จะช่วยทำให้ซีเมนไตต์โดยเฉพาะ Eutectic cementite ไม่แตกตัวกลายเป็นการาไฟต์จึงมีส่วนทำให้เกิดเพิร์ลไลท์ได้ง่ายขึ้น เหล็กหล่อเหนียวชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติได้มากโดยการใช้ความร้อน กล่าวคือ สามารถทำการชุบแข็งผิวได้ และสามารถทำการชุบ Spheroidizing เพื่อผลทางด้านการตัดหรือการกลึงได้ง่าย เพิ่มความเหนียว



**รูปที่ 2.2.22** รูปแสดงโครงสร้างของเหล็กหล่อ Pearlitic Malleable

### ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับวัสดุ (GENEARAL MATERIAL; PG-5)

วัสดุที่ถูกกระทบโดยความเค้นเนื่องจากความดันจะถูกกำหนดขอบเขตอุณหภูมิการใช้งานตาม Appendix section II D ซึ่งวัสดุจะต้องไม่ถูกใช้งานเหนือกว่าค่าความเค้นที่ถูกระบุตามอุณหภูมิตามตาราง

**ข้อกำหนดสำหรับวัสดุโลหะแผ่น (Plate; PG-6)**

แผ่นโลหะเหล็กที่ใช้ในการประกอบส่วนใดๆ ของหม้อน้ำที่ได้รับแรงกระทำจากความดัน หรือไม่ก็มีการสัมผัสเปลวไฟ หรือสัมผัสผลิตภัณฑ์จากห้องเผาไหม้ จะต้องเป็นภาชนะรับแรงดันที่มีคุณภาพตามที่ระบุในข้อกำหนดดังต่อไปนี้

| หมายเลขวัสดุ | ชนิด หรือ คุณสมบัติของวัสดุ |
|---|---|
| SA-202 | Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Manganese-Silicon |
| SA-204 | Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Molybdenum |
| Sa-240 (Type 405 only) | Pressure Vessel Plates, Alloy Steel (Ferritic Stainless), Chromium |
| SA-285 | Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Low-and Intermediate-Tensile Strength |
| SA-229 | Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Manganese-Silicon |
| SA-302 | Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Manganese-Molybdenum and Manganese-Molybdenum-Nickel |
| SA-387 | Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum |
| SA-515 | Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Intermediate-and High-Temperature Service |
| SA-516 | Pressure Vessel Plates, Carbon steel, for Moderate-and Low-Temperature Service |
| SA/AS 1548 | Steel Plates for Pressure Equipment |
| SA/EN-10028-2 | Flat Products Made of Steels for Pressure Purposes |
| SA/JIS G3118 | Carbon Steel Plates for Pressure Vessels for Intermediate and Moderate Temperature Service |

**ข้อกำหนดสำหรับวัสดุโลหะเหล็กหล่อ (Cast Iron; PG-8.2)**

เหล็กหล่อจะต้องไม่ถูกใช้เป็น นอซเซิล หรือหน้าแปลนที่สัมผัสโดยตรงกับความดันหรืออุณหภูมิในหม้อน้ำ (PG-8.2.1)

**เหล็กหล่อสีเทาที่ผลิตมาตรฐาน SA-278**

สามารถใช้ในสภาวะรับความดันที่อุณหภูมิสูงสุด 345$^0$C และสามารถใช้ในส่วนที่เป็นข้อต่อของส่วนไอน้ำยิ่งยวด (Superheat) ที่ความดัน 1.7 MPa โดยที่อุณหภูมิไม่เกิน 230$^0$ C (PG-8.2.2)

**ข้อกำหนดสำหรับวัสดุโลหะเหล็กหล่อกราไฟท์กลม (PG-8.3 Cast Nodular Iron.)**

เหล็กหล่อกราไฟท์กลมที่ผลิตตามมาตรฐาน SA-395 สามารถใช้ในส่วนที่เป็นข้อต่อของส่วนไอน้ำยิ่งยวด (Superheat) ที่ความดัน 2.5 MPa โดยที่อุณหภูมิไม่เกิน 230$^0$ C

**ข้อกำหนดสำหรับวัสดุอโลหะ (PG-8.4 Nonferrous.)**

Bronze castings ที่เป็นไปตามมาตรฐาน SB-61, SB-62, และ SB-148, สามารถถูกนำไปใช้สำหรับเป็นหน้าแปลน หรือข้อต่อเกลียว ที่ใช้ในอุณภูมิต่ำกว่า 290$^0$ C สำหรับ SB-61 และ SB-148 ส่วน วัสดุตาม SB-62 สามารถใช้งานไม่เกินอุณหภูมิ 208 $^0$ C (PG-8.4.2.1)

ส่วนประกอบของหม้อน้ำสำหรับ ท่อส่ง (PIPES), ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (TUBES), และส่วนรับแรงดัน PRESSURE CONTAINING PARTS **จะต้องประกอบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติตาม (PG-9)**

| หมายเลขวัสดุ | ชนิด หรือ คุณสมบัติของวัสดุ |
|---|---|
| SA-53 | Welded and Seamless Steel pipe (excluding galvanized) |
| SA-105 | Forgings, Carbon Steel, for Piping Components |
| SA-106 | Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service |
| SA-178 | Electric-Resistance-Welded Carbon Steel Boiler Tubes |
| SA-181 | Forged or Rolled Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for General Service |
| SA-182 | Forged or Rolled Alloy-Steel Pipe Flanges, Service (ferritic only)<br>Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature |
| SA-192 | Seamless Carbon Steel Boiler Tubes for High Pressure Service |
| SA-209 | Seamless Carbon-Molybdenum Alloy-Steel, Boiler and Superheater Tubes |
| SA-210 | Seamless Medium Carbon Steel Boiler and Superheater Tubes |

| หมายเลขวัสดุ | ชนิด หรือ คุณสมบัติของวัสดุ |
|---|---|
| SA-213 | Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheater and Heat Exchanger Tubes (ferritic only) |
| SA-216 | Carbon Steel Castings Suitable for Fusion Welding for High-Temperature Service |
| SA-217 | Alloy-Steel Castings for Pressure-Containing Parts Suitable for High-Temperature Service |
| SA-234 | Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy Steel for Moderate and Elevated Temperatures |
| SA-250 | Electric-Resistance-Welded Ferritic Alloy-Steel Boilder and Superheater Tubes |
| SA-266 | Carbon Steel Seamless Drum Forgings |
| SA-268 | Seamless and Welded Ferritic Stainless Steel Tubing for General Service |
| SA-335 | Seamless Ferritic Alloy Steel Pipe for High-Temperature Service |
| SA-336 | Alloy Steel Seamless Drum Forgings (ferritic only) |
| SA-423 | Seamless and Electric Welded Low Alloy Steel Tubes |
| SA-660 | Centrifugally Cast Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service |
| SA-731 | Seamless, Welded Ferritic, and Martensitic Stainless Steel Pipe |

ส่วนของหม้อน้ำ “once-through”S จะต้องประกอบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติ ตามตารางดังนี้ (PG-9.1.1).

| หมายเลขวัสดุ | ชนิด หรือ คุณสมบัติของวัสดุ |
|---|---|
| SB-407 | Nickel-Iron-Chromium Alloy Seamless Pipe and Tube |
| SB-408 | Nickel-Iron-Chromium Alloy Rod and Bar |
| SB-409 | Nickel-Iron-Chromium alloy Plate, Sheet, and Strip |
| SB-423 | Nickel-Iron-Chromium-Molybdenum Seamless Pipe and Tube |

| หมายเลขวัสดุ | ชนิด หรือ คุณสมบัติของวัสดุ |
|---|---|
| SB-424 | Nickel-Iron-Chromium-Molybdenum-Copper Alloy Plate, Sheet, and Strip |
| SB-425 | Nickel-Iron-Chromium-Molybdenum-Copper Alloy Rod and Bar |
| SB-515 | Welded Nickel-Iron-Chromium Alloy Tubes |
| SB-564 | Nickel Alloy Forgings |

ส่วนของหม้อน้ำ “Supherheater” จะต้องประกอบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติ ตามข้อ PG-9 s หรือเป็นไปตามตารางดังนี้ (PG-9.2).

| หมายเลขวัสดุ | ชนิด หรือ คุณสมบัติของวัสดุ |
|---|---|
| SA-182 | Forged or Rolled Alloy-Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Plates for High-Temperature Service |
| SA-213 | Seamless Ferritic and Austenitic Alloy Steel Boiler, Superheater and Heat Exchanger Tubes |
| SA-240 | Stainless and Heat-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Steel Plates, Sheet and Strip for Fusion-Welded Unfired Pressure Vessels |
| SA-249 | Welded Austenitic Steel Boiler, Superheater, heat Exchanger, and Condenser Tubes |
| SA-250 | Electric-Resistance-Welded Ferritic Alloy-Steel Boiler and Superheater Tubes |
| SA-312 | Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Pipe |
| SA-336 | Alloy Steel Seamless Drum forgings SA-351 Ferritic and Austenitic Steel Castings for High-Temperature Service |
| SA-369 | Ferritic Alloy Steel Forged and Bored Pipe for High-Temperature Service |
| SA-376 | Seamless Austenitic Steel Pipe for High-Temperature Central-Station Service |
| SA-430 | Austenitic Steel Forged and Bored Pipe for High-Temperature Service |
| SA-479 | Stainless and heat-Resisting Steel Bars and Shapes for Use in Boilers and Other Pressure Vessels |

| หมายเลขวัสดุ | ชนิด หรือ คุณสมบัติของวัสดุ |
|---|---|
| SA-731 | Seamless, Welded Ferritic, and Martensitic Stainless Steel Pipe |
| SB-163 | Seamless Nickel and Nickel Alloy Condenser and heat Exchanger Tubes |
| SB-166 | Nickel-Chromium Iron Alloys (UNS N06600, N06601,N06690, and N06045) and Nickel-Chromium-Cobalt-Molybdenum Alloy (UNS N06617) Rod, Bar, and Wire |
| SB-167 | Nickel-Chromium Iron Alloys (UNS N06600, N06601, N06690, N06025, and N06045) Seamless Pipe and Tube |
| SB-168 | Nickel-Chromium Iron Alloys (UNS N006600, N06601, N06690, N06026, and N06045) and Nickel-Chromium-Cobalt-Molybdenum Alloy (UNS N06617) Plate, Sheet, and Strip |
| SB-366 | Factory-Made Wrought Nickel and Nickel Alloy Fittings |
| SB-407 | Nickel-Iron-Chromium Alloy Seamless Pipe and Tube |
| SB-408 | Nickel-Iron-Chromium Alloy Rod and Bar |
| SB-409 | Nickel-Iron-Chromium Alloy Plate, Sheet, and Strip |
| SB-423 | Nickel-Iron-Chromium-Molybdenum Seamless Pipe and Tube |
| SB-424 | Nickel-Iron-Chromium-Molybdenum-Copper Alloy Plate, Sheet, and Strip |
| SB-425 | Nickel-Iron-Chromium-Molybdenum-Copper Alloy Rod and Bar |
| SB-435 | N06002, W06230, and R300556 Plate, Sheet, and Strip |
| SB-514 | Welded Nickel-Iron-Chromium Alloy Pipe |
| SB-515 | Welded Nickel-Iron-Chromium Alloy Tubes |
| SB-516 | Welded Nickel-Iron-Chromium Alloy (UNS N06600), UNS N06025, UNS N06045 Tubes |
| SB-517 | Welded Nickel-Chromium-iron Alloy (UNS N066000), UNS N06025, and UNS N06045 Pipe SB-564 Nickel Alloy Forgings |
| SB-572 | Nickel-Molybdenum-Chromium-Iron Alloy Rod |
| SB-619 | Welded Nickel and Nickel-Cobalt Alloy Pipe |
| SB-622 | Seamless Nickel and Nickel-Cobalt Alloy Pipe and Tube |
| SB-626 | Welded Nickel and Nickel-Cobalt Alloy Tube |

โลหะทองแดงและท่อโลหะกลุ่มทองแดงห้ามใช้ในกรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 208 $^{0}$ C โดยท่อนั้นจะต้องเป็นท่อไร้ตะเข็บและมีความหนาไม่น้อยกว่ามาตรฐานท่อ ANSI Schedule 40 และสอดคล้องกับมาตรฐานการผลิต (PG-9.3)

| หมายเลขวัสดุ | ชนิด หรือ คุณสมบัติของววัสดุ |
|---|---|
| SB-42 | Seamless Copper Pipe, Standard Sizes; |
| SB-43 | Seamless Red Brass Pipe, Standard Sizes |
| SB-75 | Seamless Copper Tube |
| SB-111 | Copper and Copper-Alloy Seamless Condenser Tubes and Ferrule Stoock |

PG-9.5 ผลิตภัณฑ์จากการเชื่อม Electric Resistance Weld (ERW) จะถูกจำกัดความหนาสูงสุดที่ 13 มม. เมื่อถูกใช้ในการรับ “Internal Pressure”

ท่อชนิดนี้สามารถใช้รับ “External Pressure” จะต้องมีความหนามากที่สุด 13 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดตาม NPS 24 (DN 600).ในกรณีที่ถูกผลิตหรือบ่งชี้ไม่สอดคล้องตามข้อกำหนดใน ASME Section I และไม่มีการบ่งชี้วัสดุครบถ้วน นี้จะต้องจัดเตรียมข้อมูลวัสดุตามข้อกำหนดใน PG-10

# 2.3 การเชื่อม (Welding)

ปัจจุบันการเชื่อมโลหะได้มีบทบาทอันสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตหม้อน้ำการวางท่อไอน้ำ ท่อแก๊ส ท่อน้ำมัน ตลอดจนการซ่อมแซมทั่วไป ซึ่งในงานเชื่อมสำหรับงานการผลิต การซ่อมสร้างภาชนะรับความดัน มีความต้องการคุณภาพของรอยเชื่อมสูงปราศจากรอยตำหนิและข้อบกพร่องต่างๆ

**การเชื่อม คือ** การทำให้โลหะสองชิ้นขึ้นไปติดกันโดยใช้ความร้อนหรือความดัน หรือทั้งสองอย่างรวมกันโดยอาจใช้หรือไม่ใช้โลหะเติม (Filler Metal) ก็ได้

เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการผลิต และอันตรายกับบุคคลากรที่ทำงานเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นั้นๆ ดังนั้นตามมาตรฐาน ASME section I และ IX จึงได้มีการกำหนดให้ต้องมีการออกแบบการเชื่อม การตรวจทดสอบช่างเชื่อม และการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม
อย่างไรก็ตาม การออกแบบแนวเชื่อมของมาตรฐาน ASME ได้เปิดโอกาสให้สามารถออกแบบแนวเชื่อมแบบไม่เต็ม (Partial penetration welding) ในชิ้นส่วนรับแรงดันได้ (Pressure part) แต่ในคู่มือฉบับนี้แนะนำให้มีการเชื่อมหม้อน้ำหรือภาชนะรับแรงดัน ในชิ้นส่วนรับแรงดัน (Pressure part) ว่าต้องออกแบบแนวเชื่อมเต็ม (Full penetration welding) ตามมาตรฐานการผลิตภาชนะรับแรงดันของ **มาตรฐานยุโรป (EN-standard)** ของชิ้นงานเชื่อม เพื่อให้มั่นใจได้ว่าแนวเชื่อมมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการรับแรงต่างๆที่เกิดขึ้น
ดังนั้นในการควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อมจึงต้องมีการควบคุมตัวแปรที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

- การควบคุมกรรมวิธีการเชื่อม
- การควบคุมบุคลากรการเชื่อม
- การควบคุมอุปกรณ์การเชื่อม

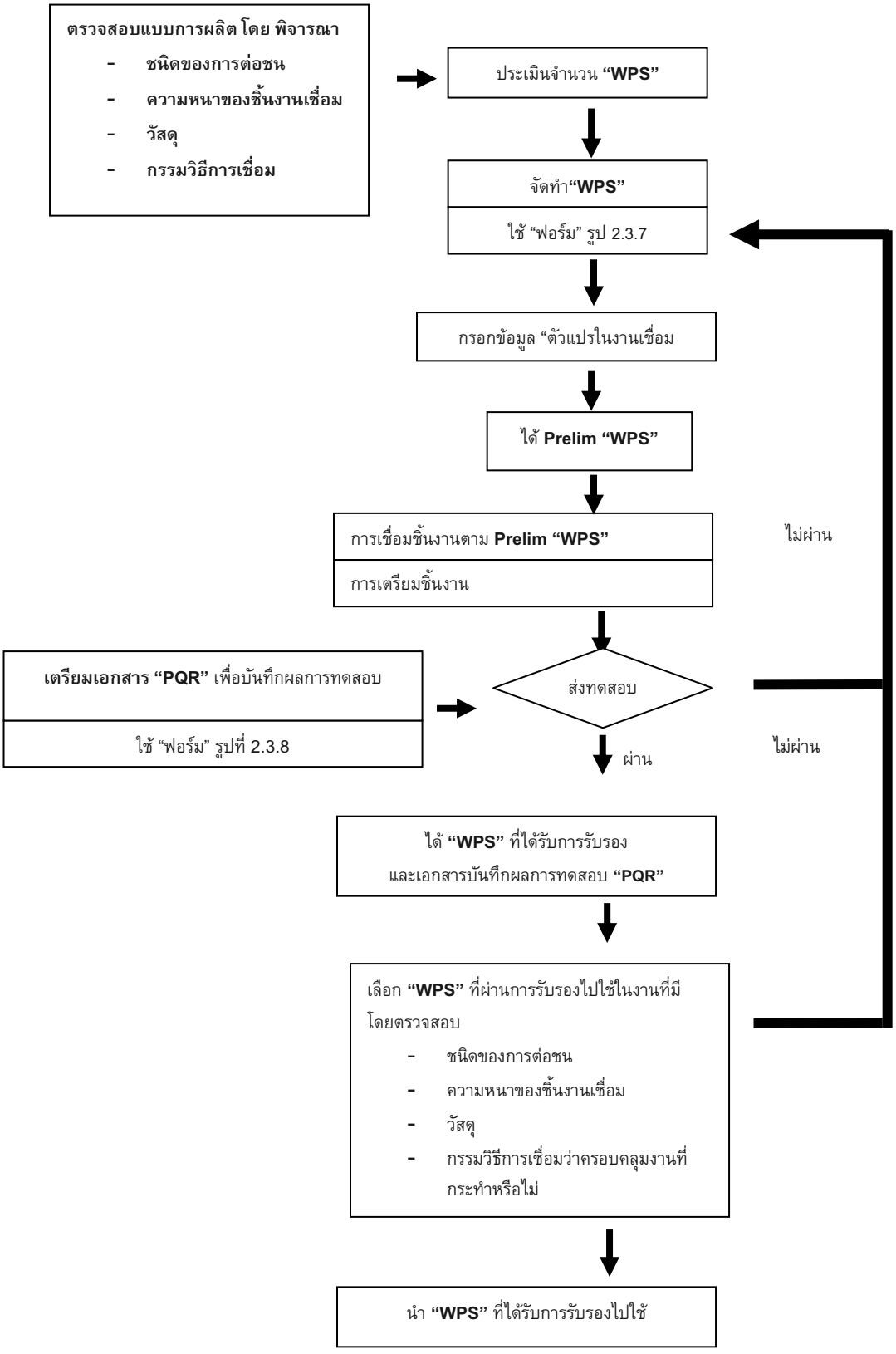
### 2.3.1 การควบคุมกรรมวิธีการเชื่อม

เพื่อให้การเชื่อมในงานเชื่อมที่มีมาตรฐานสามารถดำเนินไปอย่างสม่ำเสมอตามข้อกำหนดต่างๆ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดทำเอกสารประกอบการเชื่อมเพื่อควบคุมตัวแปรต่างๆ ในการเชื่อม โดยเอกสารดังกล่าวคือ เอกสารควบคุมคุณสมบัติขั้นตอนการเชื่อม(WELDING PROCEDURE SPECIFICITION; WPS) และต้องมีผลการทดสอบเอกสาร “WPS” ซึ่งเรียกว่า ผลบันทึกการผ่านการทดสอบของการเชื่อม (PROCEDURE QUALIFICATION TEST RECORD; PQR) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดและความหมายดังนี้

“**WPS**” (WELDING PROCEDURE SPECIFICITION) คือข้อกำหนดที่ผู้ออกแบบงานเชื่อมได้กำหนดขึ้น ให้เป็นแนวทางในการเชื่อมแก่ช่างเชื่อม และผู้ควบคุมงานเชื่อมให้ปฏิบัติตาม เพื่อให้ได้งานเชื่อมที่มีคุณภาพและคุณสมบัติที่เหมาะสมกับงานนั้นๆ และสิ่งที่ผู้ออกแบบได้กำหนด

ลงใน “WPS” เรียกว่า ตัวแปร (VARIABLES) ที่จะต้องปฏิบัติตามและหากว่ามีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่ถือว่าเป็นตัวแปรที่จำเป็น จะต้องเขียน “WPS” ขึ้นใหม่เสมอ ซึ่งในการจัดทำ “WPS” จะต้องทำ “PQR” ประกอบด้วย

“**PQR**” (PROCEDURE QUALIFICATION TEST RECORD) คือ บันทึกผลข้อมูลทดสอบที่ได้จากชิ้นงานที่ปฏิบัติตาม “WPS” นั้นๆ เพื่อพิสูจน์ได้ว่าหากกระทำการเชื่อมตามค่าตัวแปรควบคุมใน “WPS” แล้วจะทำให้คุณสมบัติทางกลหรือคุณสมบัติทางจุลโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติที่ดีกว่า และเหมาะสมกับชิ้นงานที่ออกแบบไว้
การทำ **“PQR” ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบกับทุก ๆ “WPS”** เพราะจุดสำคัญของการทดสอบ คือ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมนั้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตาของงานเชื่อมหรือตัวแปรที่ไม่สำคัญ ใดๆ จะไม่ทำให้คุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมเปลี่ยนไป ดังนั้น ในการเลือกชิ้นงานมาทำ “PQR” ให้เลือกชิ้นงานที่มีสภาพที่สามารถรองรับ “WPS” ให้ได้มากที่สุด เพื่อให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย
นอกจากนั้นในการทำ “WPS” ครั้งต่อๆ ไป ก็อาจจะนำผลการทดสอบที่เคยทดสอบมาแล้วอ้างอิงในการ ออกแบบ “WPS” ใหม่ก็ได้ โดยไม่ต้องทำการทดสอบ “PQR” ใหม่ แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นกับการยอมรับของเจ้าของงาน ขั้นตอนในการจัดทำ “WPS” แสดงในผังการทำงานดังนี้




**รูปที่ 2.3.1** แสดงแผนผังการจัดทำ "WPS" และ "PQR"

ในบทนี้จะใช้ ASME section IX เป็น “CODE” และ “STANDARD” ประกอบการบรรยายสำหรับงานเชื่อม ซึ่งใน “WPS” ได้มีการควบคุมตัวแปรสำหรับงานเชื่อม ดังนี้

- วัสดุ (MATERIAL) เช่น ชนิด , ขนาด , ความหนา
- วัสดุที่ใช้ในงานเชื่อม หรือลวดเชื่อม (CONSUMABLES) เช่น ชนิด, เส้นผ่าศูนย์กลาง, แก๊สที่ใช้,อัตราการไหลของแก๊ส
- ขบวนการเชื่อม ( PROCESS)
- ตำแหน่งที่เชื่อม ( POSITION )
- ชนิดของการต่อชนและวิธีทำความสะอาด เช่น การใช้ BACKING PLATE , การทำ BACK GOUGING
- ลำดับขั้นการเชื่อม โดยใช้วิธีสเก็ตรูปร่างของแนวเชื่อม
- สภาวะการเชื่อม เช่น กระแส, แรงเคลื่อน, ความเร็วในการเชื่อม
- การทำ PREHEAT โดยการควบคุม อุณหภูมิ และเวลา
- การทำ HEAT TREATMENT โดยการควบคุม อุณหภูมิ และเวลา
- การทดสอบงานเชื่อม

ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรใดๆในเอกสาร “WPS” ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) หรือคุณสมบัติทางจุลโครงสร้าง (Microstructure) ให้ดำเนินการจัดทำเอกสาร “WPS” และ “PQR” ใหม่ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

**ตัวแปรที่สำคัญใน “WPS” อธิบายได้ดังนี้**

- วัสดุเชื่อม (MATERIAL) จะแบ่งเป็นตามชนิดของวัสดุเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการเชื่อมโดยจะมีการแบ่งเรียกของวัสดุตาม P-NO. ซึ่งย่อมาจาก “Parent Number” ซึ่งพิจารณาได้จาก “QW 422” นอกจากวัสดุตาม P.NO. แล้วยังมีวัสดุเติมในแนวเชื่อม (FILLER METAL) จะกล่าวเป็น F-NO. ซึ่งพิจารณาได้จาก “QW 432”และ “QW 442” หรือจะเป็นการควบคุมวัสดุในบ่อเชื่อมซึ่งจะกล่าวเป็น A-NO.

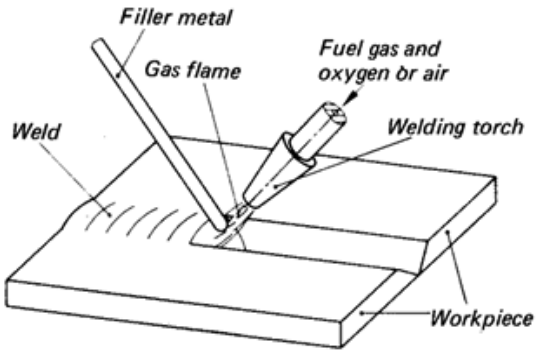
- ตัวแปรสำหรับงานเชื่อม (WELDING VARIABLES) จะกล่าวไว้อย่างละเอียด ทั้งตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของการเชื่อม (ESSENTIAL VARIABLES) (QW-251.2) และ ตัวแปรที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของการเชื่อม NONESSENTIAL VARIALESS (QW-251-3) ซึ่งจะบอกไว้เป็นตาราง และแบ่งแยกตามขบวนการเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมตามมาตรฐานสากลได้ระบุการเชื่อมไว้ทั้งสิ้น 13 ชนิดการเชื่อม คือ

- กระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเจน Oxyfuel Gas Welding (OFW)
- กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้ม Shielded Metal-Arc Welding(SMAW)
- กระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ Submerged-Arc Welding(SAW)
- กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะและแก๊สปกคลุมและกระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะยัดไส้ฟลักซ์และแก๊สปกคลุม Gas Metal-Arc Welding(GMAW and FCAW)
- กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้แท่งทังสเตนและแก๊สปกคลุม Gas Tungsten-Arc Welding(GTAW)
- กระบวนการเชื่อมพลาสม่า Plasma-Arc Welding (PAW)
- กระบวนการเชื่อมอิเลคโตสแลค Electroslag Welding(ESW)
- กระบวนการเชื่อมอิเลคตรอนบีม Electron Beam Welding(EBW)
- กระบวนการเชื่อมสตัด StudWelding
- Inertiaand and Continuous Drive Friction Welding
- ResistanceWelding
- กระบวนการเชื่อมเลเซอร์ LaserBeamWelding(LBW)
- FlashWelding

จากการสำรวจโรงงานผู้ผลิตหม้อน้ำในประเทศพบว่ามีการใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่สำคัญเพียง 5 ชนิด ดังกล่าวต่อไปนี้

**2.3.1.1 กระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเจน OXYFUEL GAS WELDING (QW-252)**

กระบวนการเชื่อมโดยใช้แก๊สออกซิเจนเป็นกระบวนการเชื่อมด้วยมือ (Manual) และใช้แหล่งพลังงานในการเชื่อมจากการเผาไหม้ระหว่างออกซิเจน กับ เชื้อเพลิง (ยกตัวอย่างเช่น LPG หรือ Acetylene) ซึ่งที่ผู้เชื่อมจะต้องควบคุมทั้งทิศทางการเชื่อมและควบคุมการเชื่อมไปพร้อม ๆกัน โดยจะใช้ลวดเติม (Filler Metal) หรือไม่ก็ได้ กระบวนการเชื่อมจะทำโดยใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของแก๊สที่มีความร้อนสูง จนสามารถละลายโลหะชิ้นงานและลวดเชื่อมลงไปในรอยเชื่อมให้หลอมละลายเชื่อมติดกันได้ กระบวนการเชื่อมที่ใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของแก๊สนี้ใช้เวลามากกว่ากระบวนการเชื่อมที่ใช้ความร้อนจากไฟฟ้า และเชื่อมงานที่มีความหนาไม่มากนัก




**รูปที่ 2.3.2** แสดงตัวอย่างกระบวนการเชื่อมกระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเจน

กระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเจน มีตารางแสดงค่าความสำคัญของตัวแปรดังต่อไปนี้

| QW-252 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อม “Oxyfuel Gas Welding ; OFW” | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-402 รอยต่อ | .1 | ϕ การออกแบบรอยต่อชน | | | X |
| | .2 | ± แผ่นรองหลัง (Backing) | | | X |
| | .3 | ϕ Backing comp | | | X |
| | .10 | ϕ ช่องว่างที่ “root” | | | X |
| QW-403 วัสดุ | .1 | ϕ ชนิด | X | | |
| | .2 | ค่าความหนาแผ่นทดสอบสูงสุด | X | | |
| | .13 | ϕ P-No 5/9/10 | X | | |
| QW-404 ลวดเชื่อม | .3 | ϕ ขนาด | | | X |
| | .4 | ϕ F-No | X | | |
| | .5 | ϕ A-No. | X | | |
| | .12 | ϕ Classification | X | | |
| QW-405 ตำแหน่ง | .1 | + ท่าเชื่อม | | | X |
| QW-406 การอุ่นก่อนเชื่อม | .1 | ϕ อุ่นก่อนเชื่อม | | | X |
| QW-407 PWHT | .1 | ϕ อบทางความร้อน (PWHT) | X | | |
| QW-408 แก๊ส | .7 | ϕ เชื้อเพลิงแก๊ส | X | | |

| QW-252 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อม “Oxyfuel Gas Welding ; OFW” | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-410 | .1 | ϕ การส่ายลวดเชื่อม | | | X |
| | .2 | ϕ ลักษณะของเปลวไฟ | | | X |
| | .4 | ϕ →← เทคนิคการเดินลวดเชื่อม | | | X |
| | .5 | ϕ การทำความสะอาด | | | X |
| | .20 | ± การเคาะ (Peening) | | | X |
| + เพิ่ม > เพิ่มขึ้นหรือมากกว่า ↑ เชื่อมขึ้น → เชื่อมเดินหน้า ϕ การเปลี่ยนแปลง<br>- ลบออก < ลดลงหรือน้อยกว่า ↓ เชื่อมลง ← เชื่อมถอยหลัง | | | | | |

จากตารางแสดงถึงค่าตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพการเชื่อม ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรอาจต้องมีการพิจารณาทบทวน “WPS” หรือไม่ขึ้นอยู่กับความสำคัญของตัวแปรนั้นๆ

**ตัวอย่างที่ 1** ในการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบใช้แก๊สออกซิเจนหากมีการเปลี่ยนแปลง (แทนด้วยสัญลักษณ์ “ϕ”) ค่าตัวแปร ความหนาของวัสดุเชื่อม (QW-403.2 วัสดุ ซึ่งรายละเอียดสามารถดูได้ใน ASME section IX) จะถือว่าเป็นตัวแปรที่มีผลกระทบสำคัญต่อคุณภาพรอยเชื่อม ดังนั้นจึงต้องมีการทบทวน เอกสาร “WPS” ใหม่ อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาจากตาราง “QW-451.1”ว่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงนั้นมีนัยสำคัญต่อ “WPS” หรือไม่

**ตัวอย่างที่ 2** การเพิ่มท่าเชื่อมจากเดิมที่ระบุใน “WPS” เพียงท่า 1 G (แทนด้วยสัญลักษณ์ “+” ท่าเชื่อม) ในการเชื่อมจริงของชิ้นงานมีตำแหน่งการวางชิ้นงานในท่า อื่นๆ ซึ่งกล่าวได้ว่าไม่มีผลต่อนัยสำคัญใน “WPS” จึงไม่จำเป็นต้องทบทวน “WPS”

**ตาราง “QW-451.1** GROOVE-WELDTENSIONTESTSANDTRANSVERSE-BEND

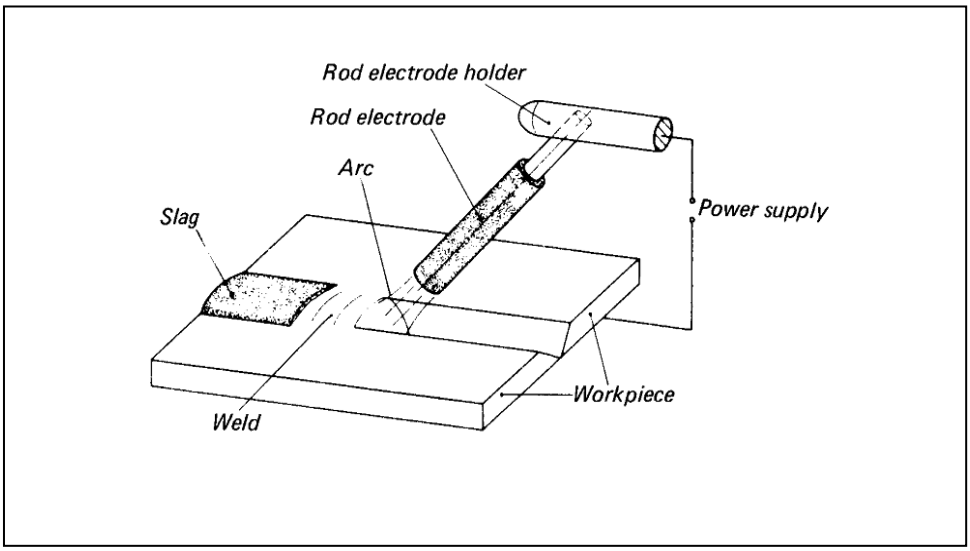
QW-451.1
GROOVE-WELD TENSION TESTS AND TRANSVERSE-BEND TESTS

| Thickness *T* of Test Coupon, Welded, in. (mm) | Range of Thickness *T* of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)] Min. | Max. | Maximum Thickness *t* of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)] | Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)] Tension, QW-150 | Side Bend, QW-160 | Face Bend, QW-160 | R B QW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Less than 1/16 (1.5) | *T* | 2*T* | 2*t* | 2 | ... | 2 | |
| 1/16 to 3/8 (1.5 to 10), incl. | 1/16 (1.5) | 2*T* | 2*t* | 2 | Note (5) | 2 | |
| Over 3/8 (10), but less than 3/4 (19) | 3/16 (5) | 2*T* | 2*t* | 2 | Note (5) | 2 | |
| 3/4 (19) to less than 1 1/2 (38) | 3/16 (5) | 2*T* | 2*t* when *t* < 3/4 (19) | 2 [Note (4)] | 4 | ... | |
| 3/4 (19) to less than 1 1/2 (38) | 3/16 (5) | 2*T* | 2*T* when *t* ≥ 3/4 (19) | 2 [Note (4)] | 4 | ... | |
| 1 1/2 (38) and over | 3/16 (5) | 8 (200) [Note (3)] | 2*t* when *t* < 3/4 (19) | 2 [Note (4)] | 4 | ... | |
| 1/2 (38) and over | 3/16 (5) | 8 (200) [Note (3)] | 8 (200) [Note (3)] when *t* ≥ 3/4 (19) | 2 [Note (4)] | 4 | ... | |

NOTES:
(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-40 QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.
(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.
(3) For the welding processes of QW-403.7 only; otherwise per Note (1) or 2*T*, or 2*t*, whichever is applicable.
(4) See QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).
(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness *T* is 3/8 in. (10 mm) and over.

**2.3.1.2 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้ม Shield Metal Arc Welding: SMAW (QW-253)**

**กระบวนการเชื่อม "SMAW"** เป็นกระบวนการเชื่อมด้วยมือ (Manual) และใช้แหล่งพลังงานในการเชื่อมจากไฟฟ้า ซึ่งที่ผู้เชื่อมจะต้องควบคุมทั้งทิศทางการเชื่อมและควบคุมการเชื่อมไปพร้อมๆกัน




**รูปที่ 2.3.3** แสดงตัวอย่างกระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้ม

กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้ม มีตารางแสดงค่าความสำคัญของตัวแปรดังต่อไปนี้

| QW-253 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อม "Shield Metal Arc Welding: SMAW (QW-253)" | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-402 รอยต่อ | .1 | ϕ การออกแบบรอยต่อชน | | | X |
| | .2 | - Backing | | | X |
| | .10 | ϕ ช่องว่างที่ "root" | | | X |
| | .11 | ± Retainer | | | X |

| QW-253 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อม “Shield Metal Arc Welding: SMAW (QW-253)” | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-403 วัสดุ | .5 | ϕ กลุ่มวัสดุ (Group Number) | | X | |
| | .6 | T Limits impact | | X | |
| | .7 | T/t Limits > 8 in(200mm) | X | | |
| | .8 | ϕ T qualified | X | | |
| | .9 | T pass > ½ in(13mm) | X | | |
| | .11 | ϕ P-No qualified | X | | |
| | .13 | ϕ P-No 5/9/10 | X | | |
| QW-404 ลวดเชื่อม | .4 | ϕ F-No | X | | |
| | .5 | ϕ A-No. | X | | |
| | .6 | ϕ Diameter | | | X |
| QW-404 ลวดเชื่อม (ต่อ) | .7 | ϕ Diameter > 6 mm. | | X | |
| | .12 | ϕ Classification | | X | |
| | .30 | ϕ t | X | | |
| | .33 | ϕ Classification | | | X |
| QW-405 ตำแหน่ง | .1 | + ท่าเชื่อม | | | X |
| | .2 | + ท่าเชื่อม | | X | |
| | .3 | ϕ ↑↓ ทิศทางเชื่อมตามแนวตั้ง | | | X |
| QW-406 การอุ่นก่อนเชื่อม | .1 | ลดอุณหภูมิลง > 55 C | X | | |
| | .2 | ϕ การรักษาอุณหภูมิการอุ่น | | | X |
| | .4 | เพิ่มอุณหภูมิขึ้น > 55 C ใน “IP” | | X | |
| QW-407 PWHT | .1 | ϕ อบทางความร้อน (PWHT) | X | | |
| | .2 | ϕ อบทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ และ ช่วงเวลา | | X | |
| | .4 | T ที่จำกัด | X | | |

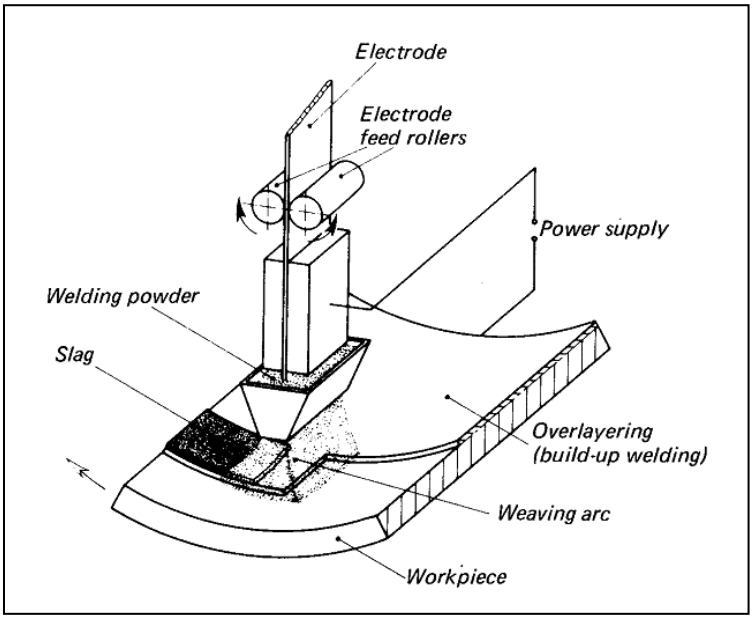
| QW-253 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อม “Shield Metal Arc Welding: SMAW (QW-253)” | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-408 ไฟฟ้า | .1 | > ความร้อนเข้า | | X | |
| | .4 | ϕ กระแส หรือ ขั้ว | | X | X |
| | .8 | ϕ ช่วงของ กระแส และโวลท์ | | | X |
| QW-410 เทคนิค | .1 | ϕ การส่ายลวดเชื่อม | | | X |
| | .5 | ϕ การทำความสะอาด | | | X |
| | .6 | ϕ วิธีการ Back gouge | | | X |
| | .9 | ϕ multiphase เป็น single pass | | X | X |
| | .25 | ϕ Manual หรือ อัตโนมัติ | | | X |
| | .26 | ± การเคาะ (Peening) | | | X |
| + เพิ่ม | > เพิ่มขึ้นหรือมากกว่า | ↑ เชื่อมขึ้น | → เชื่อมเดินหน้า | | ϕ เปลี่ยนแปลง |
| - ลบออก | < ลดลงหรือน้อยกว่า | ↓ เชื่อมลง | ← เชื่อมถอยหลัง | | |

“T” : ความหนาชิ้นงาน

“t” : ความหนารอยเชื่อม

### 2.3.1.3 กระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ SAW (QW-254)

กระบวนการเชื่อมชนิดนี้โดยปกติจะเป็นกระบวนการเชื่อมอัตโนมัติ (Automatic) โดยผู้ทำการเชื่อมเพียงแต่เตรียมงานเชื่อม และองค์ประกอบต่าง ๆ ในการเชื่อมใช้พร้อมเท่านั้น ส่วนการควบคุมทิศทางในการเชื่อมและการเชื่อมจะมีเครื่องจักรควบคุม หรือควบคุมโดยกระบวนการเอง




**รูปที่ 2.3.4** ตัวอย่างกระบวนการเชื่อมอัตโนมัติที่ควบคุมการเชื่อมด้วยกระบวนการเอง

กระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ มีตารางแสดงค่าความสำคัญของตัวแปรดังต่อไปนี้

| QW-254 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ Submerged-Arc Welding(SAW) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-402 รอยต่อ | .1 | ϕ การออกแบบรอยต่อชน | | | X |
| | .2 | - Backing | | | X |
| | .10 | ϕ ช่องว่างที่ “root” | | | X |
| | .11 | ± Retainer | | | X |
| QW-403 วัสดุ | .5 | ϕ กลุ่มวัสดุ (Group Number) | | X | |
| | .6 | T Limits impact | | X | |
| | .7 | T/t Limits > 8 in(200mm) | X | | |
| | .8 | ϕ T qualified | X | | |
| | .9 | T pass > ½ in(13mm) | X | | |
| | .11 | ϕ P-No qualified | X | | |
| | .13 | ϕ P-No 5/9/10 | X | | |

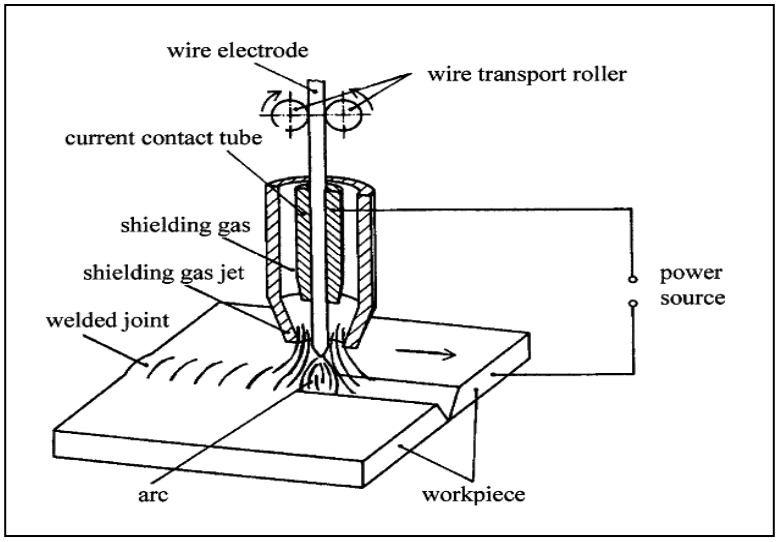
| QW-254 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ Submerged-Arc Welding(SAW) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-404 ลวดเชื่อม | .4 | ϕ F-No | X | | |
| | .5 | ϕ A-No. | X | | |
| | .6 | ϕ Diameter | | | X |
| | .9 | ϕ Class ฟลักซ์ / ลวด | X | | |
| | .10 | ϕ โลหะเจื่อในฟลักซ์ | X | | |
| | .24 | ± Supplemantal ϕ | X | | |
| | .27 | ϕ ธาตุเจือ | X | | |
| | .29 | ϕ ฟลักซ์ยี่ห้อ | | | X |
| | .30 | ϕ t( ความหนาแนวเชื่อม) | X | | |
| | .33 | ϕ Classification | | | X |
| | .34 | ϕ ชนิดของฟลักซ์ | X | | |
| | .35 | ϕ Class ฟลักซ์ / ลวด | | X | X |
| | .36 | การเอาสแลคออก | X | | |
| QW-405 ตำแหน่ง | .1 | + ท่าเชื่อม | | | X |
| QW-406 การอุ่นก่อนเชื่อม | .1 | ลดอุณหภูมิลง > 55 C | X | | |
| | .2 | ϕ การรักษาอุณหภูมิการอุ่น | | | X |
| | .4 | เพิ่มอุณหภูมิขึ้น > 55 C ใน “IP” | | X | |
| QW-407 PWHT | .1 | ϕ อบทางความร้อน (PWHT) | X | | |
| | .2 | ϕ อบทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ และ ช่วงเวลา | | X | |
| | .4 | T ที่จำกัด | X | | |
| QW-409 ไฟฟ้า | .1 | > ความร้อนเข้า | | X | |
| | .4 | ϕ กระแส หรือ ขั้ว | | X | X |
| | .8 | ϕ ช่วงของ กระแส และ โวลท์ | | | X |

| QW-254 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ Submerged-Arc Welding(SAW) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-410 เทคนิค | .1 | ϕ การส่ายลวดเชื่อม | | | X |
| | .5 | ϕ การทำความสะอาด | | | X |
| | .6 | ϕ วิธีการ Back gouge | | | X |
| | .7 | ϕ Oscillation | | | X |
| | .8 | ระยะห่างระหว่างท่อทำงาน | | | X |
| | .9 | ϕ multiphase เป็น single pass | | X | X |
| | .10 | ϕ single เป็น multiphase electrode | | X | X |
| | .15 | ϕ ช่องว่างของ electrode | | | X |
| | .25 | ϕ Manual หรือ อัตโนมัติ | | | X |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| + เพิ่ม | > เพิ่มขึ้นหรือมากกว่า | ↑ เชื่อมขึ้น | → เชื่อมเดินหน้า | ϕ เปลี่ยนแปลง |
| - ลบออก | < ลดลงหรือน้อยกว่า | ↓ เชื่อมลง | ← เชื่อมถอยหลัง | |

### 2.3.1.4 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะและแก๊สปกคลุม GMAW และ กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะยัดไส้ฟลักซ์และแก๊สปกคลุม FCAW (QW-255)

กระบวนการเชื่อม “GMAW และ FCAW” นี้เป็นกระบวนการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic) ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมที่ผู้เชื่อมควบคุมทิศทางในการเชื่อมเพียงอย่างเดียว ส่วนการควบคุมการเชื่อมจะมีเครื่องจักรในการควบคุมเช่น ในการเชื่อมแบบมิกในการป้อนลวดก็จะใช้เครื่องป้อนทำหน้าที่ควบคุมระยะอาร์คให้ ผู้เชื่อมเพียงแต่ควบคุมทิศทางและความเร็วในการเชื่อมเท่านั้น ตัวอย่างกระบวนการเชื่อมแบบนี้ได้แก่ กระบวนการเชื่อม “Metal Inert Gas Welding” (MIG), “Metal Active Gas (MAG)”




**รูปที่ 2.3.5** ตัวอย่างกระบวนการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติของกระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะและแก๊สปกคลุม

กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะและแก๊สปกคลุม มีตารางแสดงค่าความสำคัญของตัวแปรดังต่อไปนี้

| QW-255 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะและแก๊สปกคลุม GMAW และกระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะยัดไส้ฟลักซ์และแก๊สปกคลุม FCAW | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-402 รอยต่อ | .1 | ϕ การออกแบบรอยต่อชน | | | X |
| | .2 | - Backing | | | X |
| | .10 | ϕ ช่องว่างที่ “root” | | | X |
| | .11 | ± Retainer | | | X |

| QW-255 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะและแก๊สปกคลุม GMAW และกระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะยัดไส้ฟลักซ์และแก๊สปกคลุม FCAW | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-403 วัสดุ | .5 | ϕ กลุ่มวัสดุ (Group Number) | | X | |
| | .6 | T Limits impact | | X | |
| | .7 | T/t Limits > 8 in(200mm) | X | | |
| | .8 | ϕ T qualified | X | | |
| | .9 | T pass > ½ in(13mm) | X | | |
| | .11 | ϕ P-No qualified | X | | |
| | .13 | ϕ P-No 5/9/10 | X | | |
| QW-404 ลวดเชื่อม | .4 | ϕ F-No | X | | |
| | .5 | ϕ A-No. | X | | |
| | .6 | ϕ Diameter | | | X |
| | .12 | ϕ Class ฟลักซ์ / ลวด | | X | |
| | .23 | ϕ Filler metal product form | X | | |
| | .24 | ± Supplemantal ϕ | X | | |
| | .27 | ϕ ธาตุเจือ | X | | |
| | .30 | ϕ t( ความหนาแนวเชื่อม) | X | | |
| | .33 | ϕ Classification | | | X |
| QW-405 ตำแหน่ง | .1 | + ท่าเชื่อม | | | X |
| | .2 | ϕ ท่าเชื่อม | | X | |
| | .3 | ϕ↑↓ ท่าเชื่อม | | | X |
| QW-406 การอุ่นก่อนเชื่อม | .1 | ลดอุณหภูมิลง > 55 C | X | | |
| | .2 | ϕ การรักษาอุณหภูมิการอุ่น | | | X |
| | .3 | เพิ่มอุณหภูมิขึ้น > 55 C ใน “IP” | | X | |
| QW-407 PWHT | .1 | ϕ อบทางความร้อน (PWHT) | X | | |
| | .2 | ϕ อบทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ และ ช่วงเวลา | | X | |
| | .4 | T ที่จำกัด | X | | |

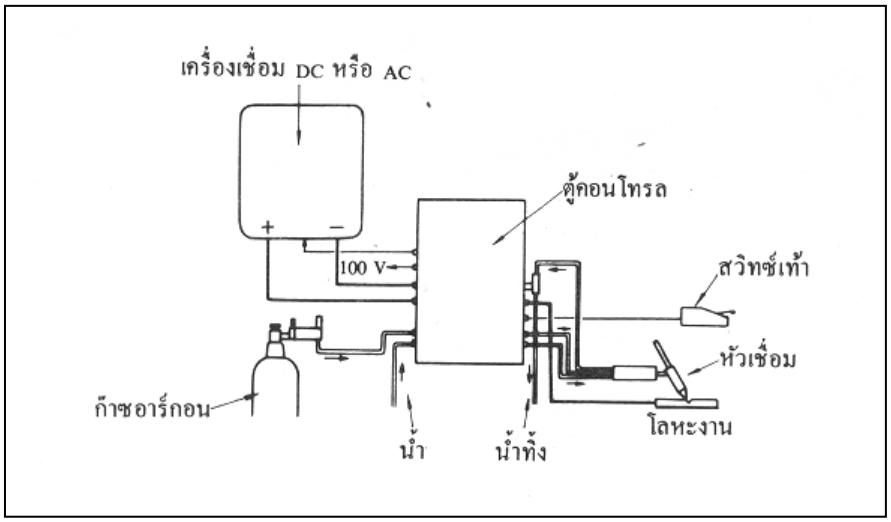
QW-255 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะและแก๊สปกคลุม GMAW
และกระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะยัดไส้ฟลักซ์และแก๊สปกคลุม FCAW

| บทที่ | | ตัวแปร | สำคัญ | สำคัญพิเศษ | ไม่สำคัญ |
|---|---|---|---|---|---|
| QW-408 แก๊ส | .1 | ± การปกคลุมหลังเชื่อม (Trail) หรือ ϕcomp | | | X |
| | .2 | ϕ แก๊สเดียว/ ส่วนผสมแก๊ส หรือ % | X | | |
| | .3 | ϕ อัตราการไหล | | | X |
| | .5 | ± หรือ ϕ อัตราการไหลแก๊สรองหลัง | | | X |
| | .9 | - การรองหลัง หรือ ϕ comp | X | | |
| | .10 | ϕ แก๊สปกคลุม หรือ การปกคลุมหลังเชื่อม | X | | |
| QW-409 ไฟฟ้า | .1 | > ความร้อนเข้า | | X | |
| | .2 | ϕ ระบบการกระจายน้ำโลหะ (Transfer mode) | X | | |
| | .4 | ϕ กระแส หรือ ขั้ว | | X | |
| | .8 | ϕ ช่วงของ กระแส และ โวลท์ | | | X |
| QW-410 เทคนิค | .1 | ϕ การส่ายลวดเชื่อม | | | X |
| | .3 | ϕ Orifice, Cup หรือ Nozzle | | | X |
| | .5 | ϕ การทำความสะอาด | | | X |
| | .6 | ϕ วิธีการ Back gouge | | | X |
| | .7 | ϕ Oscillation | | | X |
| | .8 | ระยะห่างระหว่างท่อทำงาน | | | X |
| | .9 | ϕ multiphase เป็น single pass | | X | X |
| | .10 | ϕ single เป็น multiphase electrode | | X | X |
| | .15 | ϕ ช่องว่างของ electrode | | | X |
| | .25 | ϕ Manual หรือ อัตโนมัติ | | | X |
| | .26 | ± การเคาะ (Peening) | | | X |

+ เพิ่ม > เพิ่มขึ้นหรือมากกว่า ↑ เชื่อมขึ้น → เชื่อมเดินหน้า ϕ เปลี่ยนแปลง
- ลบออก < ลดลงหรือน้อยกว่า ↓ เชื่อมลง ← เชื่อมถอยหลัง

**2.3.1.5 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้แท่งทังสเตนและแก๊สปกคลุม GTAW (QW-256)**

กระบวนการเชื่อม “GTAW” เป็นกระบวนการเชื่อมด้วยมือ (Manual) โดยที่ความร้อนที่ได้จากพลังงานไฟฟ้านี้อาจจะมีอุณหภูมิสูงจนทำให้โลหะชิ้นงานและลวดเชื่อมหลอมละลายหรือไม่ถึงอุณหภูมิหลอมละลายของชิ้นงานก็ได้ โดยกระบวนการเชื่อมที่ใช้ความร้อนมีอุณหภูมิสูงถึงจุดหลอมละลายของชิ้นงานได้แก่กระบวนการเชื่อมที่ใช้ความร้อนจาการอาร์คของขั้วไฟฟ้า




**รูปที่ 2.3.6** ตัวอย่าง กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้แท่งทังสเตนและแก๊สปกคลุม

กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้แท่งทังสเตนและแก๊สปกคลุม มีตารางแสดงค่าความสำคัญของตัวแปรดังต่อไปนี้

| QW-256 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้แท่งทังสเตนและแก๊สปกคลุม GTAW | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-402 รอยต่อ | .1 | ϕ การออกแบบรอยต่อชน | | | X |
| | .2 | - Backing | | | X |
| | .10 | ϕ ช่องว่างที่ “root” | | | X |
| | .11 | ± Retainer | | | X |
| QW-403 วัสดุ | .5 | ϕ กลุ่มวัสดุ (Group Number) | | X | |
| | .6 | T Limits impact | | X | |
| | .7 | T/t Limits > 8 in(200mm) | X | | |
| | .8 | ϕ T qualified | X | | |
| | .11 | T pass > ½ in(13mm) | X | | |
| | .13 | ϕ P-No 5/9/10 | X | | |

| QW-256 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้แท่งทังสเตนและแก๊สปกคลุม GTAW | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| | .11 | ϕ P-No qualified | X | | |
| | .13 | ϕ P-No 5/9/10 | X | | |
| QW-404 ลวดเชื่อม | .3 | ϕ ขนาด | | | X |
| | .4 | ϕ F-No | X | | |
| | .5 | ϕ A-No. | X | | |
| | .12 | ϕ Class ฟลักซ์ / ลวด | | X | |
| | .14 | ± ลวดเติม | X | | |
| | .23 | ϕ Filler metal product form | X | | |
| | .30 | ϕ t( ความหนาแนวเชื่อม) | X | | |
| | .33 | ϕ Classification | | | X |
| | .50 | ± ฟลักซ์ | | | X |
| QW-405 ตำแหน่ง | .1 | + ท่าเชื่อม | | | X |
| | .2 | ϕ ท่าเชื่อม | | X | |
| | .3 | ϕ↑↓ ท่าเชื่อม | | | X |
| QW-406 การอุ่นก่อนเชื่อม | .1 | ลดอุณหภูมิลง > 55 C | X | | |
| | .3 | เพิ่มอุณหภูมิขึ้น > 55 C ใน “IP” | | X | |
| QW-407 PWHT | .1 | ϕ อบทางความร้อน (PWHT) | X | | |
| | .2 | ϕ อบทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ และ ช่วงเวลา | | X | |
| | .4 | T ที่จำกัด | X | | |
| QW-408 แก๊ส | .1 | ± การปกคลุมหลังเชื่อม (Trail) หรือ ϕcomp | | | X |
| | .2 | ϕ แก๊สเดียว/ ส่วนผสมแก๊ส หรือ % | X | | |
| | .3 | ϕ อัตราการไหล | | | X |
| | .5 | ± หรือ ϕ อัตราการไหลแก๊สรองหลัง | | | X |
| | .9 | - การรองหลัง หรือ ϕ comp | X | | |
| | .10 | ϕ แก๊สปกคลุม หรือ การปกคลุมหลังเชื่อม | X | | |

| QW-256 กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้แท่งทังสเตนและแก๊สปกคลุม GTAW | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **บทที่** | | **ตัวแปร** | **สำคัญ** | **สำคัญพิเศษ** | **ไม่สำคัญ** |
| QW-409 ไฟฟ้า | .1 | > ความร้อนเข้า | | X | |
| | .2 | ϕ Pulsing | | | X |
| | .4 | ϕ กระแส หรือ ขั้ว | | X | |
| | .8 | ϕ ช่วงของ กระแส และ โวลท์ | | | X |
| | .12 | ϕ Tungsten electrode | | | X |
| QW-410 เทคนิค | .1 | ϕ การส่ายลวดเชื่อม | | | X |
| | .3 | ϕ Orifice, Cup หรือ Nozzle | | | X |
| | .5 | ϕ การทำความสะอาด | | | X |
| | .6 | ϕ วิธีการ Back gouge | | | X |
| | .7 | ϕ Oscillation | | | X |
| | .9 | ϕ multiphase เป็น single pass | | X | X |
| | .10 | ϕ single เป็น multiphase electrode | | X | X |
| | .11 | ϕ Close to out chamber | X | | |
| | .15 | ϕ ช่องว่างของ electrode | | | X |
| | .25 | ϕ Manual หรือ อัตโนมัติ | | | X |
| | .26 | ± การเคาะ (Peening) | | | X |
| + เพิ่ม > เพิ่มขึ้นหรือมากกว่า ↑ เชื่อมขึ้น → เชื่อมเดินหน้า ϕ เปลี่ยนแปลง<br>- ลบออก < ลดลงหรือน้อยกว่า ↓ เชื่อมลง ← เชื่อมถอยหลัง | | | | | |

**ตัวอย่าง** การประเมินหาพลังงานในการเชื่อมสามารถประมาณได้จาก (ตาม QW-409.26) Heat input [J/in. (J/mm)] = Voltage x Amperage x 60 / Travel Speed [in./min (mm/min)] โดยที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า “Heat input” ตั้งแต่ 10 % ต้องทำการปรับปรุงแก้ไข “WPS” และ “PQR” ใหม่

เมื่อทำการเลือก กรรมวิธีการเชื่อมแล้ว ทำการเติมค่าตัวแปรต่างๆที่จำเป็นลงในแบบฟอร์ม “ WPS” (WELDING PROCEDURE SPECIFICITION)” โดยมีรูปแบบตัวอย่างเป็นไปตามรูปที่ 2.3.7

ในการเขียน “WPS” ครั้งแรกเรียกเอกสารนี้ว่า “PreWPS” ซึ่งเมื่อนำ “PreWPS” ไปทดสอบแล้วผ่านการทดสอบจึงเรียกว่า “WPS” และผลการทดสอบจะถูกบันทึกโดย “PQR”โดยมีรูปแบบตัวอย่างเป็นไปตามรูปที่ 2.3.7

| | WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS.)<br>OF BOILER SHELL AND FURNACE SHELL | FILE CNT No.: WPS.-01<br>CODE: ASWE SEC. IX |
|---|---|---|

WPS. No(เลขที่ WPS.):WPS.01 DATE(วันที่): 01-01-2007 Rev.DATE(วันที่แก้ไข):

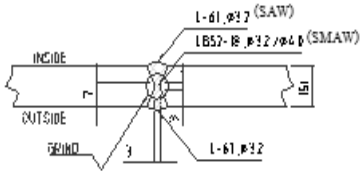
PROCESS(กรรมวิธีการเชื่อม): SMAW +SAW SUPPORTING PQR No(เลขที่ PQR.ที่สนับสนุน): PQR 05-07-001-PQR.01

WELDING TYPE (วิธีเชื่อม): ☑MANUAL (เชื่อมใช้ที่) ☑ SEMI-AUTO (เชื่อม SAW.) ☐ MACHINE(เชื่อมอัตโนมัติ) ☐ IMPACT: N/A °C

**JOINT** (รอยต่อแนวเชื่อม): QW-402

JOINT DESIGN(แบบรอยต่อแนวเชื่อม): BUTT / GROOVE

BACKING: NO. (✓) YES. [WELD METAL] ( )




JOINT DESIGN

**PREHEAT** (การอบอุ่นชิ้นงาน): QW-406

MIN. PREHEAT TEMP (อุณหภูมิน้อยที่สุดในการอบอุ่น): N/A °C

MAX INTERPASS TEMP (อุณหภูมิมากสุดในการอบอุ่น): N/A °C

OTHER: NONE

**POST WELD HEAT TRETMENT** (QW-407)

TEMPERATURE: +15 °C

HOLDING TIME: N/A Min.

OTHER: NONE

**BASE METALS**(ที่มาของวัสดุ): QW-403

P-No.: 1 Gr-No.: 2 to P-No.: 1 Gr-No.: 2

B/METAL SPEC (ลักษณะเฉพาะของวัสดุ)

SA516 Gr70 to SA516 Gr70

THICK RANGE (ความหนาของวัสดุ): 15t. to 15t. mm.

GROOVE: N/A mm.

FILLET: N/A mm.

PIPE DIA. RANGE(ความโตของท่อ)

N/A

MAX.ONE PASS THICKNESS(ความหนามากสุด): N/A mm.

**SHIELD GAS** (แก๊สคลุมแนวเชื่อม)

SHIELDING GAS&MIX(ปริมาณแก๊สคลุมมากสุด): N/A %

FLOW RATE (อัตราการไหล): N/A ℓ/min.

GAS BACKING: NO (✓) YES ( ) ℓ/min.

TRAILING GAS: N/A ℓ/min.

**FILLER METALS**(ที่มาของลวดเชื่อม): QW-404

SMAW +SAW : LB-52-18 + 780 Flux /L-61 Electrode

DEPOSITED WELD METAL THICK RANGE:

Max. 25t. mm.

**WELDING TECHNIQUE** (เทคนิคในการเชื่อม): QW-407

STRING OR WEAVE BEAD(เป็นทาง หรือเป็นคลื่น): WEAVE

GAS CUP SIZE (ขนาดหัวแก๊ส): N/A mm.

INITIAL OR INTERPASS CLEANING METHOD(ขั้นตอนหรือวิธีทำความสะอาด)

GRIND OR WIRE BRUSHING(เลื่อยออก หรือใช้แปรงลวดขัด): GRIND

CONTACT TIP TO WORK DISTANCE N/A mm.

OSCILLATION: N/A

METHOD OF BACK GOUGING:

SINGLE OR MULTIPASS (PERSIDE): N/A

PEENING(การเคาะในเชิงคุณสมบัติ): NO (✓) YES ( )

**POSITION**(ท่าในการเชื่อม): QW-405

POSITION: ALL POSITION

WELD PROGRESSION(ทิศทางของแนวเชื่อม):

☑ UP ☐ DOWN

*REMARK:

| Item. | FILLER METAL (คุณสมบัติของลวดเชื่อม) | | | | | Elec. Type | Dia. (mm.) | Amp. (A) | Volt (V) | T/Speed (cm. /min.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F.No. | A. No. | SFA.No. | AWS. CLASS | Brand Name | | | | | |
| Cylindrical Shell | L-61 | - | 5.17 | EM12K | LINCOLN | DC-EP | 3.2 | 500 | | 160 |
| | LB52-18 | - | 5.1 | E7018 | KOBE | | 4.0 | 120 | | 60 |
| | L-61 | - | 5.17 | EM12K | LINCOLN | | 3.2 | 500 | | 160 |

| PREPARED BY W/D ENGR. | REVIEWED BY W/D SECT. CHIEF | APPROVED BY W/D DEPT.CHIEF |
|---|---|---|
| | | |

**รูปที่ 2.3.7** ตัวอย่าง “WPS” ของ กรรมวิธีการเชื่อม “SMAW” และ “SAW” รวมกัน

**ตัวอย่างรายละเอียดใน WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS.)**

**ชื่อชิ้นงาน** BOILER SHELL AND FURNACE SHELL

**หมายเลขเอกสาร** WPS.-01

**มาตรฐานอ้างอิง** ASME SEC. IX

**วันที่จัดทำ** 01-01-2007

**วันที่แก้ไข** -

**กรรมวิธีการเชื่อม** SMAW +SAW

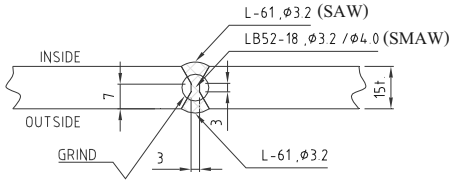
**WELDING TYPE (วิธีเชื่อม):** ☑MANUAL (เชื่อมไฟฟ้า) ☑ SEMI-AUTO (เชื่อม SAW.)
☐ MACHINE(เชื่อมอัตโนมัติ) ☐ IMPACT:
(การทำ Impact test อาจมีความจำเป็นหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของการรับแรงของวัสดุที่ทำการเชื่อมนั้น)

**เลขที่ PQR.อ้างอิง** PQR 05-07-001-PQR.01

**รอยต่อแนวเชื่อม** ออกแบบตามลักษณะการต่อชน (ดูจากภาคอภิธานศัพย์)

**แบบรอยต่อแนวเชื่อม** BUTT / GROOVE ออกแบบตามลักษณะการต่อชน (ดูจากภาคอภิธานศัพย์)
BACKING: NO. (✓) YES. WELD METAL ( )
(การใช้ Backing เพื่อให้รอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ในส่วนล่าง)

**ตัวอย่างรูปในการเชื่อม**



**PREHEAT**

**MIN. PREHEAT TEMP(°C)** ดูใน ตาราง PW-39, ASME section I (ภาคผนวก ค-5)

**MAX INTERPASS TEMP(°C)** ดูใน ตาราง PW-39, ASME section I (ภาคผนวก ค-5)

**OTHER:** อาจไม่จำเป็นต้องมี

**POST WELD HEAT TRETMENT**

**TEMPERATURE (°C)** ดูใน ตาราง PW-39, ASME section I (ภาคผนวก ค-5)

**HOLDING TIME (Min.)** ดูใน ตาราง PW-39, ASME section I (ภาคผนวก ค-5)

**OTHER** อาจไม่จำเป็นต้องมี

**วัสดุเชื่อม** ตามการออกแบบ

P-No.: 1 Gr-No.: 2 กับ P-No.: 1 Gr-No.: 2

**หมายเลขวัสดุ** SA516 Gr70 กับ SA516 Gr70

ความหนาของวัสดุ 15t. to 15t. mm.

GROOVE N/A mm. (ตามการออกแบบ)

FILLET N/A mm. (ตามการออกแบบ)

ความโตของท่อ N/A mm. (ตามการออกแบบ)

ความหนาของแนวเชื่อมที่มากสุด N/A mm. (ตามการออกแบบ)

**แก๊สคลุมแนวเชื่อม** เลือกตามกรรมวิธีการเชื่อมและคู่มือการเลือกลวดเชื่อมของบริษัทผู้ผลิต

**ปริมาณแก๊สผสม (%)** อาจไม่จำเป็นต้องมีขึ้นอยู่กับการออกแบบ

**อัตราการไหลแก๊ส(l/min)** อาจไม่จำเป็นต้องมี ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

GAS BACKING: NO (✓) YES ( ) ℓ/min.

(การใช้ Backing เพื่อให้รอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ในส่วนล่าง)

ปล่อยแก๊สค้างก่อนหยุด (TRAILING GAS) N/A ℓ/min.

| | |
|---|---|
| **ลวดเชื่อม** | เลือกตามกรรมวิธีการเชื่อมและคู่มือการเลือกลวดเชื่อมของบริษัทผู้ผลิต |
| **ความหนาของแนวเชื่อม** | ตามขนาดของลวดเชื่อม |
| **เทคนิคในการเชื่อม** | STRING (เป็นทาง) หรือ WEAVE BEAD (เป็นเกล็ด)<br>GAS CUP SIZE (ขนาดหัวแก๊ส)<br>อาจไม่จำเป็นต้องมีขึ้นอยู่กับการกรรมวิธีของการเชื่อม |
| **ขั้นตอน วิธีทำความสะอาด** | เจียรนัยด้วยเครื่อง หรือ ขัดด้วยแปรงขึ้นอยู่กับการออกแบบ |
| **CONTACT TIP TO WORK DISTANCE** | ระยะห่างระหว่าง Contact tip กับชิ้นงาน นี้เป็นการกำหนดสำหรับ GMAW) ซึ่งไม่จำเป็นสำหรับกรรมวิธีเชื่อมชนิดอื่น |
| **OSCILLATION** | โหมดการหมุนวนนี้ใช้บ้างในกรรมวิธีการเชื่อม GTAW ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีในการกรรมวิธีของการเชื่อมชนิดอื่น |
| **METHOD OF BACK GOUGING:** | เป็นวิธีการขจัดรอยเชื่อมด้านตรงข้ามผิวเชื่อมโดยขึ้นอยู่กับการออกแบบแนวเชื่อมว่าจำเป็นต้องมีหรือไม่ |
| **SINGLE OR MULTIPASS (PERSIDE):** | เป็นการออกแบบแนวเชื่อมให้เป็นรอยเดียว หรือหลายรอยซ้อนกัน สามารถกำหนดจากขนาดลวดเชื่อมและกรรมวิธีการเชื่อม |
| **การเคาะ(PEENING)ในเชิงคุณสมบัติ** | เป็นการเคาะแนวเชื่อมขณะทำการเชื่อมเพื่อให้เนื้อโลหะไม่เกิดความไม่ต่อเนื่องในแนวเชื่อมซึ่งจะพบได้ในเชื่อมเหล็กหล่อ |
| **ท่าในการเชื่อมและทิศทางของแนวเชื่อม** | ขึ้นอยู่กับความสามารถของช่างเชื่อมหรือเอกสารรับรองช่างเชื่อม |

| | |
|---|---|
| Electrode. Type | เลือกตามกรรมวิธีการเชื่อมและคู่มือการเลือกลวดเชื่อมของบริษัทผู้ผลิต |
| Diameter electrode.(mm.) | เลือกตามกรรมวิธีการเชื่อมและคู่มือการเลือกลวดเชื่อมของบริษัทผู้ผลิต |
| กระแสไฟฟ้าสำหรับการเชื่อม (Welding current ;A) | เลือกตามกรรมวิธีการเชื่อมและคู่มือการเลือกลวดเชื่อมของบริษัทผู้ผลิต |
| แรงเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับการเชื่อม (Welding Voltage ;V) | เลือกตามกรรมวิธีการเชื่อมและคู่มือการเลือกลวดเชื่อมของบริษัทผู้ผลิต |
| ความเร็วการเดินลวดเชื่อม (Travel Speed ;cm. /min.) | เลือกตามกรรมวิธีการเชื่อมและคู่มือการเลือกลวดเชื่อมของบริษัทผู้ผลิต |

**รูปที่ 2.3.8** ตัวอย่าง “PQR” ที่รองรับกรรมวิธีการเชื่อมตาม “WPS” ข้างบน

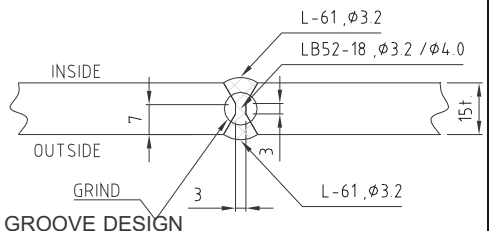
| | PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR.)<br>OF BOILER SHELL AND FURNACE SHELL | PQR No.: CBW05-07-001-PQR.01<br>DATE: 01-01-2007 |
|---|---|---|

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION No.(เลขที่ WPS.): -WPS.01

PROCESS(กรรมวิธีการเชื่อม): SMAW +SAW IMPACT: ☑ NO , ☐ YES (N/A °C)

WELDING TYPE (วิธีเชื่อม): ☑MANUAL (เชื่อมไฟฟ้า) ☑ SEMI-AUTO (เชื่อม SAW.) ☐ MACHINE(เชื่อมอัตโนมัติ)

**JOINT**(รอยต่อแนวเชื่อม)**: QW-402**




GROOVE DESIGN
OF TEST COUPON

| PASS No. | 1 | 2 | 3 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PROCESS | SAW | SMAW | SAW | | | |
| DIA.(mm) | 3.2 | 4.0 | 3. | | | |
| Amp(A) | 500 | 120 | 500 | | | |
| VOLT(V) | | | | | | |
| SPEED(CPM) | 160 | 60 | 160 | | | |

**BASE METALS**(ที่มาของวัสดุ)**: QW-403**

Material Spec.(คุณสมบัติวัสดุ): SA516 Gr70 to SA516 Gr70

P No./Gr No.: 1 to 1

Thickness of Test Coupon (ความหนาชิ้นงานทดสอบ):
25t. mm.

Diameter of Test Coupon (ความโตชิ้นงานทดสอบ): N/A mm.

Other: NONE

**FILLER METALS**(ที่มาของลวดเชื่อม)**: QW-404**

SFA Spec.: 5.1

AWS Class, : E7018

F No. : LB52-18

A No.:

Size: 2.6, 3.2, 4.0 mm.

Treacle Name: KOBE

Deposit Weld metal Thickness: 25.0 mm.

Other : NONE

**POSITION**(ท่าในการเชื่อม)**: QW-405**

Position of Groove: 1G (FLAT)

WELD PROGRESSION(ทิศทางของแนวเชื่อม)

Uphill , Downhill: UPHILL

Other: NONE

**PREHEAT**(การอบอุ่นชิ้นงาน)**: QW-406**

MIN. PREHEAT TEMP(อุณหภูมิมากสุดในการอบอุ่น):
N/A °C

MAX INTERPASS TEMP(อุณหภูมิมากสุดในการอบอุ่น):
N/A °C

OTHER: NONE

**PWHT (QW-407)**

Temperature: N/A °C

Time: N/A Min.

Other: N/A

**GAS (QW-408)**

| | Gas(es) | Percent Composition Mixture (%) | Flow Rate |
|---|---|---|---|
| Shielding: | N/A | N/A | N/A |
| Trailling: | N/A | N/A | N/A |
| Backing: | N/A | N/A | N/A |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)**

Current & Polarity: DC-EP / AC

Tungsten Electrode Size: N/A

Mode of Metal Transfer: N/A

For GMAW (FCAW): N/A

Max. Heat Input: N/A KJ/cm

**TECHINIQUE**(เทคนิคในการเชื่อม)**: QW-407**

STRING OR WEAVE BEAD(เป็นทาง หรือเป็นคลื่น):
WEAVE

Oscillation: N/A

Multi pass or Single Pass(per side) : MULTI

Single or Multiple Electrodes: SINGLE

Gas Cup Size(ขนาดหัวแก๊ส): : N/A mm.

Initial or Interpass Cleaning Method: GRIND

Method of Back Gouging: N/A

Other: NONE

**รูปที่ 2.3.8 (ต่อ)**

| | PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR.)<br>OF CYLINDYCAL SHELL | PQR No.: CBW05-07-001-PQR.01<br>DATE: 01-01-2007 |
|---|---|---|

Tensile Test (QW-150)

| Specimen No. | Size (mm.) | | Area ($mm^1$) | Ultimate Total Load (N) | Ultimate Unit Stress ($N/mm^1$) | Type of Falture & Location |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Width | Thick | | | | |
| T-1 | 19.0 | 34.0 | 649.0 | 334,180 | 514.5 | Base Metal |
| T-2 | 19.0 | 34.0 | 649.0 | 338,100 | 520.4 | Base Metal |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Glued bend test (QW-160)

| Specimen No. | Type& Figure No. | Result | Specimen No. | Type& Figure No. | Result |
|---|---|---|---|---|---|
| S-1 | Side bend (QW-462.2) | GOOD | S-3 | Side bend (QW-462.2) | GOOD |
| S-2 | Side bend (QW-462.2) | GOOD | S-4 | Side bend (QW-462.2) | GOOD |

Toughness Test (QW-170)

| Specimen No. | Notch Location | Notch Type | Test Temp. ($^{o}C$) | Impact Value(J) | | | | Other |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 / 4 | 2 / 5 | 3 / 6 | Average | |
| N/A | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| N/A | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Fillet-Weld Test (QW-180)

Result-Satisfactory: ☐Yes, ☐No Penetration Into Parent Metal: ☐Yes, ☐No

Macro-Results: N/A

Other Test

Type of Test: HARDNESS(HB) : Hardness 172 HB

Deposit Analysis: N/A

Other: N/A

……..

Welder's Name: Clock No.:

Test Conducted by: Laboratory Test No.:

We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirement of Section IX of the ASME Code.

This PQR is revised due to format revision date on

Approved by:

Date:

การทำ “POST WELD HEAT TREATMENT” ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) โดยปกติจะต้องมีการพิจารณาจากปริมาณ “Carbon Equivalent; CE” (CE = C +Mn/6+ (Cr+Mo+V)/5 +(Ni+Cu)/15 ตาม **QW-403.26**) เพื่อแก้ไขหรือปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคของโลหะหลังการเชื่อมให้ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้นเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งมีจุดประสงค์ในการทำแตกต่างจากการ “Preheat” เนื่องจากการทำ “Preheat” เป็นการควบคุมอัตราการเย็นตัวของเนื้อโลหะเพื่อป้องกันการเกิดโครงสร้างทางจุลภาคที่ไม่เหมาะสมในสภาพการนั้นๆ

### 2.3.2 การควบคุมบุคลากรการเชื่อม

**การสอบช่างเชื่อม W.P.Q (WELDING PERFORMANCE QUALIFICATIONS)**

การทดสอบช่างเชื่อม จุดประสงค์เพื่อสามารถยืนยันได้ว่าช่างเชื่อมผู้นั้นมีทักษะความชำนาญในกระบวนการเชื่อม(Welding Process), วัสดุ(Material) และ ตำแหน่งในการเชื่อม(Welding position) แล้วจะมีการออกเอกสารประกอบเรียกว่า “WQP” Welder Qualification Performance ซึ่งเปรียบได้กับ “Welder Certification” โดยเอกสารเหล่านี้

- มีอายุการใช้ทำงาน 6 เดือน
- ถ้ามีการทำงานต่อเนื่องจะต้อง U -DATE CERTIFICATE ให้ช่างเชื่อมทุก

6 เดือนหลังจากทำ Procedure Qualification เสร็จเรียบร้อยแล้ว จำเป็นต้องทำการสอบช่างเชื่อมแต่ละคน เพื่อให้สามารถทำการเชื่อมตาม Procedure ได้ ซึ่งปฏิบัติการทั้งสองนี้ต้องแยกจากกัน การสอบช่างเชื่อมเพื่อตรวจสอบทักษะของช่างเชื่อมแต่ละคน ว่าสามารถเชื่อมตาม Procedure ได้อย่างน่าพอใจหรือไม่

การสอบช่างเชื่อมจะมีส่วนคล้ายคลึงกับการทำ Procedure Qualification เพราะยังคงมีตัวแปรสำคัญ (Essential Variables) โดยการสอบช่างเชื่อมจะมีการกำหนด

- ท่าเชื่อม (Position of Welding)
- รูปร่างรอยเชื่อม (Joint Configuration)
- ชนิดของโลหะฐาน(Base Metal)
- เทคนิคการเชื่อมเฉพาะ(Specific Welding Technique)

จะเห็นได้ว่าตัวแปรดังกล่าวทั้งหมด จะเกี่ยวโดยตรงกับความสามารถทางฟิสิกส์ของช่างเชื่อมโดยตรง

เทคนิคการเชื่อมเฉพาะอีกอย่างซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการสอบช่างเชื่อม คือ ทิศทางการเดินแนวเชื่อม สำหรับท่าเชื่อมแบบตั้ง(Vertical Position) ซึ่งแบ่งเป็นแบบเดินขึ้น เดินลง ตัวแปรสำคัญอื่นๆ ที่มีผลต่อเทคนิคการเชื่อมได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว หลังจากที่กำหนดชิ้นทดสอบ ท่าเชื่อม และเทคนิค ที่สอดคล้องกับ Procedure แล้ว Welding Inspector มีหน้าที่

ติดตามดูการเชื่อมจริงของช่างเชื่อม ขณะที่ทำการสอบและมีการบันทึกเกี่ยวกับความสามารถของช่างเชื่อม และสังเกตเทคนิคและการทำงานของช่างเชื่อม ซึ่งอาจทำให้รอยเชื่อมไม่ผ่านได้ ชิ้นทดสอบที่เชื่อมเสร็จแล้ว จะถูกทำเครื่องหมายเพื่อให้ทราบถึงช่างเชื่อมแต่ละคน และแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งด้านบนของชิ้นทดสอบ กรณีชิ้นทดสอบท่อท่า 5G, 6G และ 6GR ในมาตรฐานได้กำหนดถึงชนิดของการทดสอบและจำนวนชิ้นทดสอบที่จำเป็น โดยทั่วไปการสอบช่างเชื่อมจะใช้ชิ้นทดสอบน้อยกว่าการทำ Procedure Qualification มาตรฐานบางชนิดให้ใช้การทดสอบแบบไม่ทำลาย เช่น การถ่ายภาพรังสี มาตรฐานส่วนใหญ่ใช้การทดสอบแบบทำลายสำหรับการสอบช่างเชื่อม

ผลของการทดสอบ และ Welding Procedure ที่ใช้ในการสอบ จะถูกบันทึกไว้ในแบบฟอร์มเพื่อใช้ในการรับรอง (Certify) ว่าช่างเชื่อมผ่านการทดสอบแล้ว

ถึงจุดนี้กล่าวคำสอบคำ คือ Qualified หมายความว่า ช่างเชื่อมได้แสดงให้เห็นว่ามีทักษะในการเชื่อมนั้น ในขณะที่ Certification เป็นเพียงเอกสารรับรองการ Qualification เท่านั้น

เมื่อช่างเชื่อมผ่านการ Qualified แล้ว ถ้าต้องการให้ช่างเชื่อมทำงานนั้นโดยที่มีท่าเชื่อม ความหนา ลวดเชื่อม ฯลฯ อยู่นอกขอบเขตของการ Qualified มาตรฐานส่วนใหญ่อนุญาตให้ทำได้ตราบใดที่ช่างเชื่อมสามารถทำงานได้ผลสำเร็จในงานที่ผลิตนั้น แต่ถ้า Welding Inspector พบว่างานที่ทำไม่ผ่านก็จะต้องให้ทำการ Qualify ส่วนที่จำเป็นเพิ่ม หรือทำการอบรม Qualification นี้ จะถูกยกเลิกเมื่อช่างเชื่อมเปลี่ยนผู้ว่า มาตรฐานระบุว่าผู้ประกอบการมีหน้าที่รับผิดชอบในการทำ Qualification ช่างเชื่อมของตัวเอง

ขอบเขตการพิจารณาความเหมาะสมของช่างเชื่อมตามเอกสาร “WPQ” (ใน ASME Section IX) กับการเชื่อมชิ้นงาน มีการพิจารณาตามตัวแปรสำคัญ ดังนี้

**2.3.2.1 กรรมวิธีการเชื่อม** เพื่อรู้ว่าช่างเชื่อมนั้นสามารถจะทำการเชื่อมด้วยกรรมวิธีใด โดยช่างเชื่อมที่ผ่านการทดสอบกระบวนการเชื่อมใดๆ จะสามารถเชื่อมได้เฉพาะกระบวนการนั้นเท่านั้น

**2.3.2.2 วัสดุในงานเชื่อม** ซึ่งประกอบด้วย วัสดุชิ้นงาน (Parent material) และวัสดุลวดเชื่อม (Filler metal)

- วัสดุชิ้นงาน (Parent material) โดย วัสดุชิ้นงานที่ใช้สำหรับทดสอบช่างเชื่อม จะต้องสอดคล้องกับ วัสดุงานเชื่อมที่ใช้ผลิตจริง ตามตารางในหัวข้อ QW-423.1

**ตารางที่ 2.3.1** แสดง ขอบเขตความสามารถของช่างเชื่อมตามวัสดุชิ้นงาน (QW-423.1)

| Base Metals for Welder Qualification | Qualified Production Base Metals |
|---|---|
| P- or S-No. 1 through P- or S-No. 11, P- or S-No. 34, and P- or S-No. 41 through P- or S-No. 49 | P- or S-No. 1 through P- or S-No. 11, P- or S-No. 34, and P- or S-No. 41 through P- or S-No. 49 |
| P- or S-No. 21 through P- or S-No. 25 | P- or S-No. 21 through P- or S-No. 25 |
| P- or S-No. 51 through P- or S-No. 53 or P- or S-No. 61 through P- or S-No. 62 | P- or S-No. 51 through P- or S-No. 53 and P- or S-No. 61 through P- or S-No. 62 |

- **วัสดุลวด(Filler metal)** ช่างเชื่อมที่ผ่านการทดสอบด้วยวัสดุลวดเชื่อมชนิดใด จะสามารถกระทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมเฉพาะชนิดนั้นหรืออื่นใด ตามตารางQW-433

| Qualified With → / Qualified For ↓ | F-No. 1 With Backing | F-No. 1 Without Backing | F-No. 2 With Backing | F-No. 2 Without Backing | F-No. 3 With Backing | F-No. 3 Without Backing | F-No. 4 With Backing | F-No. 4 Without Backing | F-No. 5 With Backing | F-No. 5 Without Backing |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F-No. 1 With Backing | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| F-No. 1 Without Backing | | X | | | | | | | | |
| F-No. 2 With Backing | | | X | X | X | X | X | X | | |
| F-No. 2 Without Backing | | | | X | | | | | | |
| F-No. 3 With Backing | | | | | X | X | X | X | | |
| F-No. 3 Without Backing | | | | | | X | | | | |
| F-No. 4 With Backing | | | | | | | X | X | | |
| F-No. 4 Without Backing | | | | | | | | X | | |
| F-No. 5 With Backing | | | | | | | | | X | X |
| F-No. 5 Without Backing | | | | | | | | | | X |

| Qualified With | Qualified For |
|---|---|
| Any F-No. 6 | All F-No. 6 [Note (1)] |
| Any F-No. 21 through F-No. 25 | All F-No. 21 through F-No. 25 |
| Any F-No. 31, F-No. 32, F-No. 33, F-No. 35, F-No. 36, or F-No. 37 | Only the same F-Number as was used during the qualification test |
| F-No. 34 or any F-No. 41 through F-No. 45 | F-No. 34 and all F-No. 41 through F-No. 45 |
| Any F-No. 51 through F-No. 55 | All F-No. 51 through F-No. 55 |
| Any F-No. 61 | All F-No. 61 |
| Any F-No. 71 through F-No. 72 | Only the same F-Number as was used during the qualification test |

NOTE:
(1) Deposited weld metal made using a bare rod not covered by an SFA Specification but which conforms to an analysis listed in QW-442 shall be considered to be classified as F-No. 6.

**หมายเหตุ :**

Steel and steel alloys : F no 1 to 6

Al and its alloys : F no 21 to 25

Cu and its alloys : F no 31 to 37

Ni and its alloy : F no 41to 45

Ti and its alloys : F no 51 to 55

Zr and its alloys : F no 61

Hard-facing weld metal overlay : F no 71 and 72

### 2.3.2.3 ท่าเชื่อม(Welding position)

ช่างเชื่อมที่ผ่านการทดสอบด้วยท่าเชื่อมใดๆ(1G, 2G, 3G, 4G, 5G หรือ 6G : ตามภาคผนวก ง) จะสามารถเชื่อมได้ครอบคลุมตำแหน่งหรือลักษณะการต่อชน ตามตาราง QW-461.9 ,ASME IX

PERFORMANCE QUALIFICATION — POSITION AND DIAMETER LIMITATIONS
(Within the Other Limitations of QW-303)

| Qualification Test | | Position and Type Weld Qualified [Note (1)] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Groove | | |
| Weld | Position | Plate and Pipe Over 24 in. (610 mm) O.D. | Pipe ≤ 24 in. (610 mm) O.D. | Fillet Plate and Pipe |
| Plate — Groove | 1G | F | F [Note (2)] | F |
| | 2G | F,H | F,H [Note (2)] | F,H |
| | 3G | F,V | F [Note (2)] | F,H,V |
| | 4G | F,O | F [Note (2)] | F,H,O |
| | 3G and 4G | F,V,O | F [Note (2)] | All |
| | 2G, 3G, and 4G | All | F,H [Note (2)] | All |
| | Special Positions (SP) | SP,F | SP,F | SP,F |
| Plate — Fillet | 1F | . . . | . . . | F [Note (2)] |
| | 2F | . . . | . . . | F,H [Note (2)] |
| | 3F | . . . | . . . | F,H,V [Note (2)] |
| | 4F | . . . | . . . | F,H,O [Note (2)] |
| | 3F and 4F | . . . | . . . | All [Note (2)] |
| | Special Positions (SP) | . . . | . . . | SP,F [Note (2)] |
| Pipe — Groove [Note (3)] | 1G | F | F | F |
| | 2G | F,H | F,H | F,H |
| | 5G | F,V,O | F,V,O | All |
| | 6G | All | All | All |
| | 2G and 5G | All | All | All |
| | Special Positions (SP) | SP,F | SP,F | SP,F |
| Pipe — Fillet [Note (3)] | 1F | . . . | . . . | F |
| | 2F | . . . | . . . | F,H |
| | 2FR | . . . | . . . | F,H |
| | 4F | . . . | . . . | F,H,O |
| | 5F | . . . | . . . | All |
| | Special Positions (SP) | . . . | . . . | SP,F |

NOTES:
(1) Positions of welding as shown in QW-461.1 and QW-461.2.
F = Flat
H = Horizontal
V = Vertical
O = Overhead
(2) Pipe 2⅞ in. O.D. and over.
(3) See diameter restrictions in QW-452.3, QW-452.4, and QW-452.6.

### 2.3.2.4 ความหนาและขนาดของวัสดุ

ช่างเชื่อมที่ผ่านการทดสอบการเชื่อมโดยใช้วัสดุที่มีความหนาและขนาดใดๆ จะสามารถเชื่อมได้ครอบคลุมความหนาและขนาดของวัสดุ ตามตาราง QW-452.1 (b) QW-452.3; ASME IX

**ตารางที่ 2.3.2** ตารางควบคุมความหนาที่ช่างเชื่อมสามารถกระทำได้

| **ความหนาของโลหะเชื่อมที่ถูกทดสอบ THICKNESS OF WELD METAL QUALIFIED** [Notes (1) and (2)] [Note (3)] | |
|---|---|
| **ความหนาของรอยเชื่อม (t) ของวัสดุในชิ้นงานทดสอบ (มม.) (Thickness, t, of Weld Metal in the Coupon, in. (mm))** | **ความหนาที่สามารถเชื่อมได้ (Thickness of Weld Metal Qualified)** |
| ความหนา ที่น้อยกว่า 13 มม. | 2t |
| หนาตั้งแต่ 13 มม.ขึ้นไป และ มีจำนวนชั้นการเชื่อมอย่างน้อย 3 ชั้น | เท่ากับชิ้นงานที่ทดสอบ |

**ตารางที่ 2.3.3** ตารางควบคุมขนาดท่อที่ช่างเชื่อมสามารถกระทำได้

| **ข้อจำกัดขนาดรอยต่อชนบากร่องของรูปทรงกระบอก GROOVE-WELD DIAMETER LIMITS** | | |
|---|---|---|
| **เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของชิ้นงานทดสอบ (Outside Diameter of Test Coupon, mm)** | **เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่สามารถเชื่อมได้ Outside Diameter Qualified, in. (mm)** | |
| | **Min.** | **Max.** |
| เล็กกว่า 25 | เท่ารอยเชื่อม | ไม่จำกัด |
| 25 ถึง 73 | 25 | ไม่จำกัด |
| เกินกว่า 73 | 73 | ไม่จำกัด |

**2.3.2.5 สรุปขั้นตอนการทำ Welder Qualification มีขั้นตอนดังต่อไปนี้**

- กำหนดตัวแปรงานเชื่อมที่สำคัญสำหรับช่างเชื่อม (**QW-350**) ตามหัวข้อทั้ง 4 ที่กล่าวมาแล้ว
- ตรวจสอบความเหมาะสมเครื่องมืออุปกรณ์ และวัสดุ
- ตรวจสอบชิ้นทดสอบการเชื่อม ด้านรูปร่างและตำแหน่ง
- ติดตามดูการเชื่อมจริง เพื่อประกันให้เป็นไปตาม Procedure
- คัดเลือก กำหนด และตัดชิ้นทดสอบ (ดูตำแหน่งการตัดชิ้นงานทดสอบในบทการตรวจสอบงานเชื่อม)
- ทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบ
- ทำแบบฟอร์มเอกสารต่างๆ เช่น WQP, Welder card record เป็นต้น

การสอบช่างเชื่อมของผู้ผลิตนั้น ทำเพื่อการผลิตงานเชื่อมซึ่งตรงตาม Procedure Qualification ที่มีอยู่เมื่อเริ่มทำการผลิต Welding Inspector จะต้องมีหน้าที่ติดตามดูการเชื่อมให้เป็นไปตามความต้องการของ Procedure และให้งานเชื่อมสุดท้ายเป็นที่ยอมรับ ความบกพร่องต่างๆ จะต้องถูกบันทึกไว้และทำการแก้ไขถ้ามีการพบปัญหาขึ้นอีก ควรมีการแก้ไขโดยการเปลี่ยนวิธีดำเนินการ หรือเปลี่ยนบุคลากร

การมี Qualified Procedure และ Qualified Welder ไม่ได้เป็นการการันตีงานเชื่อม ในการผลิตจะเป็นที่ยอมรับทั้งหมด มันเป็นการประกันเท่านั้นว่า Procedure และบุคลากรมีความสามารถในการผลิตงานเชื่อมให้ได้คุณภาพเพียงพอ สิ่งสำคัญที่ไม่ควรลืม คือ การทำ Qualification นั้น เงื่อนไขของสภาพการสอบจะดีกว่าสภาพการทำงานจริง เช่น รูปร่างรอยต่อจริง ความสามารถในการเข้าถึงได้ ฯลฯ ซึ่งอาจเพิ่มโอกาสที่จะเกิดการผิดพลาดได้มากขึ้น ดังนั้น Welding Inspector ควรพิจารณาจุดนี้ด้วยก่อนที่จะทำการ Reject งานเชื่อม

**2.3.2.6 Welding Inspector มีหน้าที่ สำคัญในการทำ Qualification ดังนี้**

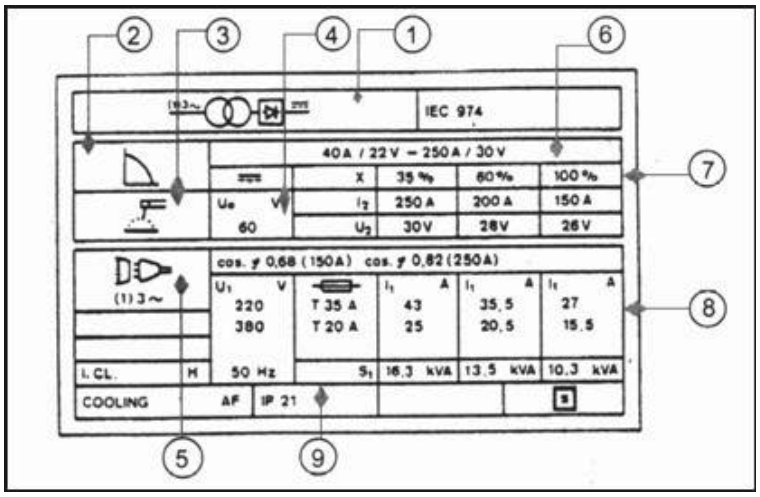
1. ตรวจสอบเอกสารเกี่ยวกับการทำ Qualification
2. ติดตามดูการทดสอบ Qualification
3. ทดสอบและวิเคราะห์ผล ชิ้นทดสอบที่ทำการ Qualification
4. ติดตามดูการผลิตงานเชื่อมให้เป็นไปตาม Qualified Procedure และ Qualified Personal
5. ติดตามดูการเชื่อมจริงในการผลิต

### 2.3.3 การควบคุมอุปกรณ์การเชื่อม

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเชื่อมนั้น หากไม่มีความเหมาะสมกับการใช้งานหรือมีความไม่สม่ำเสมอในการปล่อยพลังงานในการเชื่อมก็สามารถก่อให้เกิดความบกพร่องในชิ้นงานเชื่อมได้ แม้ว่าตัวแปรอุปกรณ์การเชื่อมนั้นบางส่วนจะถูกควบคุมใน “WPS” แต่ส่วนที่สำคัญมากคือการเลือกเครื่องเชื่อมให้เหมาะสมกับการใช้งาน

**รูปที่ 2.3.9** รูปทั่วไปของเครื่องเชื่อม

โดยหากพิจารณาที่ป้ายแสดงข้อมูลทางเทคนิค (Rating Plate)จะสามารถบ่งบอกคุณลักษณะของเครื่องเชื่อมได้ ซึ่งสถาบันมาตรฐานต่าง ๆ ได้กำหนดให้ผู้ผลิตทำป้ายแสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องเชื่อมติดไว้บนเครื่องเชื่อม เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปฏิบัติได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 2.3.10




**รูปที่ 2.3.10** แสดงป้ายข้อมูลทางเทคนิคที่กำหนดโดยมาตรฐานยุโรป
ที่มา : สมพร พงศ์ขจร , เจริญ คงปรีพันธุ์. 2544 หน้า 28

จากรูปที่ 2.3.10 **หมายเลข 1 – หมายเลข 9** ที่แสดงในตำแหน่งต่าง ๆ ในป้ายข้อมูลทางเทคนิค มีความหมายดังนี้

**หมายเลข 1.** เทคโนโลยีเครื่องเชื่อม

**หมายเลข 2.** แผนภาพแรงเคลื่อน – กระแส

**หมายเลข 3.** สัญลักษณ์กรรมวิธีการเชื่อม

**หมายเลข 4.** แรงดันวงจรเปิด

**หมายเลข 5.** ไฟเมน

**หมายเลข 6.** กระแสเชื่อมต่ำสุด – สูงสุด

**หมายเลข 7.** รอบการทำงาน

**หมายเลข 8.** การกินไฟ

**หมายเลข 9.** ระดับการป้องกันความเสียหาย

ในการพิจารณาเครื่องเชื่อมเพื่อการนำไปใช้งานที่เหมาะสม สามารถแบ่งข้อมูลออกได้ 8 หัวข้อ ดังนี้

**2.3.3.1 Maximum Welding Current**

มีความสัมพันธ์ต่อความสามารถในการหลอมละลายโลหะ และความต้องการพลังงานในการเชื่อมที่พอเหมาะ ซึ่งจะทำให้ทรายได้ถึงความสามารถของแหล่งจ่ายว่ามีความเหมาะสมต่อการนำเครื่องไปใช้งานหรือไม่

**2.3.3.2 Duty Cycle**

Duty Cycle เป็นค่าบอกระยะเวลาที่เครื่องเชื่อมสามารถทำงานได้ภายใต้ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด โดยไม่เกิดความเสียหายแต่เครื่องเชื่อม ค่านี้จะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยที่ 100% คือ 10 นาที เช่น เครื่องเชื่อมระบุว่า 350 แอมป์ 50% duty cycle ที่ 36 โวลต์ หมายถึง เครื่องเชื่อมสามารถทำงานเชื่อมต่อเนื่องได้นาน 5 นาที และพัก 5 นาที ภายใต้กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม 350 แอมป์ ที่แรงดัน 36 โวลต์ ค่า duty Cycle คำนวณจากสูตร $D_1 I_1^2 = D_2 I_2^2$

โดยที่ $D_1$ = Duty Cycle ที่ต้องการ

$D_2$ = Duty Cycle ที่กำหนด

$I_1$ = กระแสที่ต้องการ

$I_2$ = กระแสที่กำหนด

**2.3.3.3 Type: Thyristor , Transformer, Inverter**

เป็นข้อพิจารณาสำหรับเทคโนโลยีการจ่ายลูกคลื่นไซน์ และพลัสส์ของกระแสเชื่อม

**2.3.3.4** ระบบขั้วไฟฟ้าในการเชื่อม **Polarity: AC, DC**

- กระแสตรงขั้วตรง (Direct Current Straight Polarity ; DCSP or DC Electrode Negative; DCEN or DC-) คือ การต่อขั้วลบเข้ากับหัวเชื่อม และขั้วบวกต่อเข้ากับชิ้นงาน ซึ่งกระแสตรงขั้วตรงนี้ความร้อนจะเกิดขึ้นที่ชิ้นงานมากกว่าที่หัวเชื่อม และการซึมลึกจะสูง
- กระแสตรงขั้วกลับ (Direct Current Reverse Polarity; DCRP or DC Electrode Positive; DCEP or DC+) คือ การต่อขั้วบวกเข้ากับหัวเชื่อม และขั้วลบต่อเข้ากับชิ้นงาน ซึ่งกระแสตรงขั้วกลับนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณชิ้นงานจะน้อยกว่า ทำให้การซึมลึกจะน้อย
- กระแสสลับ (Alternating Current ; AC) คือ การต่อที่ไม่สนใจขั้วไฟฟ้าสามารถต่อขั้วไหนกับชิ้นงานหรือหัวเชื่อมก็ได้ มีความสำคัญต่อกระบวนการเชื่อม เช่นการเชื่อม GTAW-Aluminium ต้องใช้เครื่องเชื่อม AC

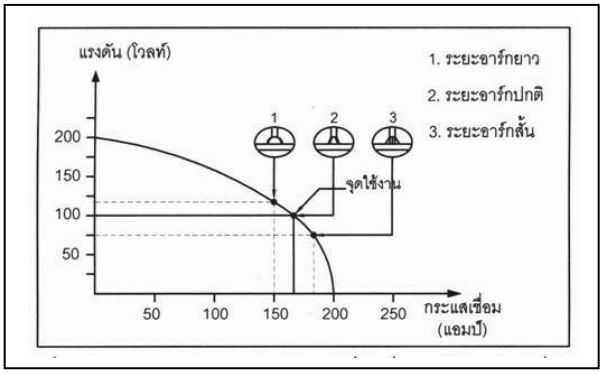
**2.3.3.5 Efficiency**

บ่งบอกถึงการสิ้นเปลืองพลังงาน และความแม่นยำในการจ่ายไฟ โดยทั่วไปแล้วไม่มีสถานประกอบการใดทำการวัดประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อม โดยที่ไม่ทราบถึงความสูญเปล่าทางความสิ้นเปลืองนี้

**2.3.3.6 V-A Characteristic**

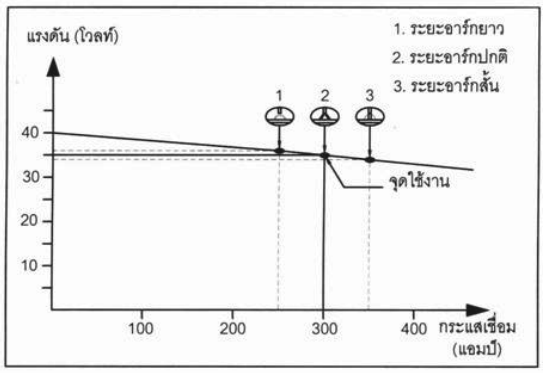
บ่งบอกถึงความเสถียรภาพของการเชื่อม และความ เหมาะสมกับการนำไปใช้กับกระบวนการเชื่อมต่าง ๆ

- **ระบบไฟฟ้ากระแสคงที่ (Constant Current ; CC)** คือ เป็นเครื่องเชื่อมที่มีการจ่ายพลังงานออกมาแล้วนำไป เขียนแผนภาพจะได้เส้นแผนภาพที่มีลักษณะลาดชัน ขณะวงจรเปิด (Open Circuit) จะไม่มีกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนจะสูงในขณะทำการเชื่อมหรือวงจรปิด หากปรับกระแสไฟเชื่อมสูงแรงเคลื่อนจะลดลงตามจำนวนของกระแสที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3.11 จึงเป็นระบบที่ใช้กับเครื่องเชื่อมธรรมดาโดยใช้กับกรรมวิธีเชื่อมแบบต่าง ๆ เช่น ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) การเชื่อมทิก (TIG) การเชื่อมอาร์กคาร์บอน (CAW) การเชื่อมสลัก (SW) สำหรับการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (SAW) ที่ใช้ลวดขนาดใหญ่จะใช้เครื่องเชื่อมลักษณะนี้ แต่จะต้องใช้เครื่องป้อนลวดชนิดไวต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้า




**รูปที่ 2.3.11** แสดงแผนภาพแรงเคลื่อน - กระแส ของเครื่องเชื่อมชนิดกระแสคงที่ (CC)

- **ระบบไฟฟ้าแรงดันคงที่ (Constant Voltage ; CV)** เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่จะจ่ายพลังงานออกมาแล้ว นำไปเขียนแผนภาพจะได้เส้นแผนภาพในลักษณะแบนเรียบ เมื่อวงจรเปิดไม่มีกระแสไฟฟ้าแรงดันจะอยู่ประมาณ 40 โวลท์ ขณะทำการเชื่อมหรือวงจรปิดแรงเคลื่อนจะอยู่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก หากปรับกระแสไฟเชื่อมสูง แรงเคลื่อนจะลดลงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.3.12 จึงเป็นระบบที่ใช้กับเครื่องเชื่อมแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ ที่ใช้เครื่องป้องลวดแบบความเร็วคงที่ เช่น การเชื่อมมิก / แมก (MIG / MAG) หรือการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (SAW) ที่ใช้ลวดเชื่อมเล็กเครื่องเชื่อมแบบนี้จะผลิตออกมาเฉพาะกระแสตรง(DC)เท่านั้น




**รูปที่ 2.3.12** แสดงแผนภาพแรงเคลื่อน - กระแส ของเครื่องเชื่อมชนิดแรงดันคงที่ (CV)

### 2.3.3.7 Open Circuit Voltage (OPC)

เป็นแรงดันขณะเปิดเครื่องเชื่อมแต่ยังไม่ทำการอาร์ค หาก OCV มีค่าสูงจะทำให้จุดอาร์คง่าย แต่มีความเสี่ยงต่ออันตรายทางไฟฟ้า

### 2.3.3.8 ขนาดและน้ำหนักของเครื่องเชื่อม

มีผลต่อการจัดวาง และการขนย้ายเพื่อการนำไปใช้งาน

# 2.4 ข้อจำกัดทั่วไปของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม (อ้างอิงจาก ASME section I)

ในเอกสารนี้จะยกมาในส่วนที่จำเป็นและในบางหัวข้อ ทั้งนี้ทาง ASME ได้มีการตัดหัวข้อที่ยกเลิกบางหัวข้อออก แต่ในเอกสาร ASME มิได้มีการปรับเรียงลำดับหมายเลขหัวข้อใหม่ ดังนั้นอาจทำให้หมายเลขหัวข้อไม่เรียงไปตามลำดับ

**PW-5.2** คาร์บอน หรือ โลหะเจือ ในเหล็กกล้า ที่มีส่วนผสมของ คาร์บอน มากกว่า 0.35% จะต้องถูกงดใช้ในงานเชื่อมหรือกระบวนการตัดเตรียมทางความร้อน

**PW-5.6** สำหรับการเชื่อมภาชนะความดันด้วยวัสดุในเกรด 2 $^{1}/_{4}$Cr-1Mo ในส่วน circumferential butt welds ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกเล็กกว่าหรือเท่ากับ 89 mm., เมื่ออุณหภูมิของวัสดุที่ออกแบบเกิน 455°C, วัสดุนั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นส่วนผสมเกิน 0.05%.

**PW-9.3** รอยต่อระหว่างวัสดุที่หนาไม่เท่ากัน (ยกเว้นตามPW-9.3.2) รอยต่อเทเปอร์ที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 1/3 ของระยะห่างของจุดที่ความหนาแตกต่าง และจะต้องจัดให้มีรอยต่อระหว่างวัสดุทั้งสองโดยมีความหนามากกว่า 3 มม. ดังรูป 2.4.1.

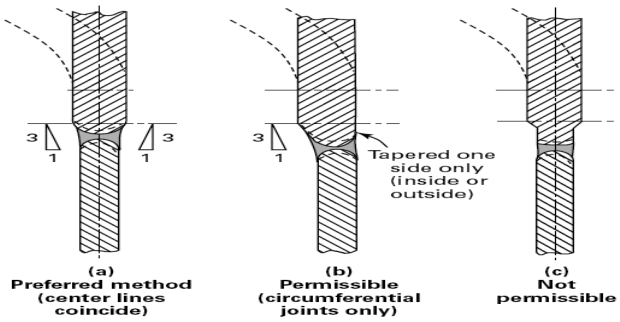



FIG. PW-9.1 BUTT WELDING OF PLATES OF UNEQUAL THICKNESS

**รูปที่ 2.4.1** แสดงการเชื่อมต่อตรง (Butt Welding) ของแผ่นเหล็กที่มีความหนาไม่เท่ากัน

**PW-16 ข้อจำกัดที่น้อยที่สุดในงานเชื่อม (MINIMUM REQUIREMENTS FOR ATTACHMENT WELDS)**

**PW.16.4** ข้อต่อต่างๆที่แสดงในรูป 2.4.2 ตัวอย่างที่ (u-2), (v-2), (w-2) และ (x) ที่ขนาดไม่เกิน NPS 3 (DN 80) อาจจะเชื่อมได้โดยไม่กำหนดเรื่อง นอกจากจะมีระบุใน PW-15.1

**PW-16.5**ฟิตติ้งที่เป็นเกลียวด้านใน และมีขนาดไม่เกิน NPS 3 (DN 80) อาจจะต่อได้โดยการเชื่อม fillet groove weld จากด้านนอกเท่านั้น ตามรูปที่ 2.4.2 ตัวอย่าง (w-3)

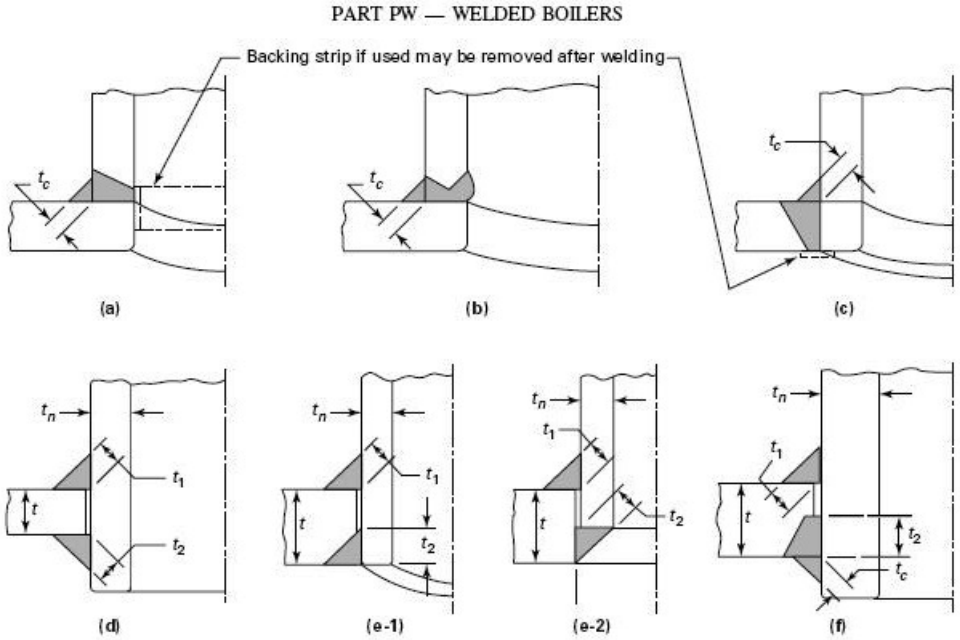
**PW-16.6** ข้อต่อและ tube ที่โตไม่เกิน NPS 6 (DN 150) ที่เชื่อมต่อจากด้านเดียวเท่านั้น อาจจะเชื่อมต่อซึมลึกบางส่วนหรือฟิลเล็ทจากด้านนอกหรือในฝั่งเดียวเท่านั้น โดยอ้างอิงข้อกำหนดดังนี้

(a) ถ้าเชื่อมจากด้านนอกอย่างเดียว ร่องชิ้นงานจะต้องมีความลึกไม่น้อยกว่า tn ตามแกนตั้งของรูเจาะ และแนะนำให้หรือขอบหนาที่ด้านล่างไว้ 1/16 (1.5 mm) ขนาด tw ของแนวเชื่อมต้องไม่น้อยกว่า tn หรือ ¼ (6 mm) ดูรูป 2.4.2 ตัวอย่าง (y), (z)

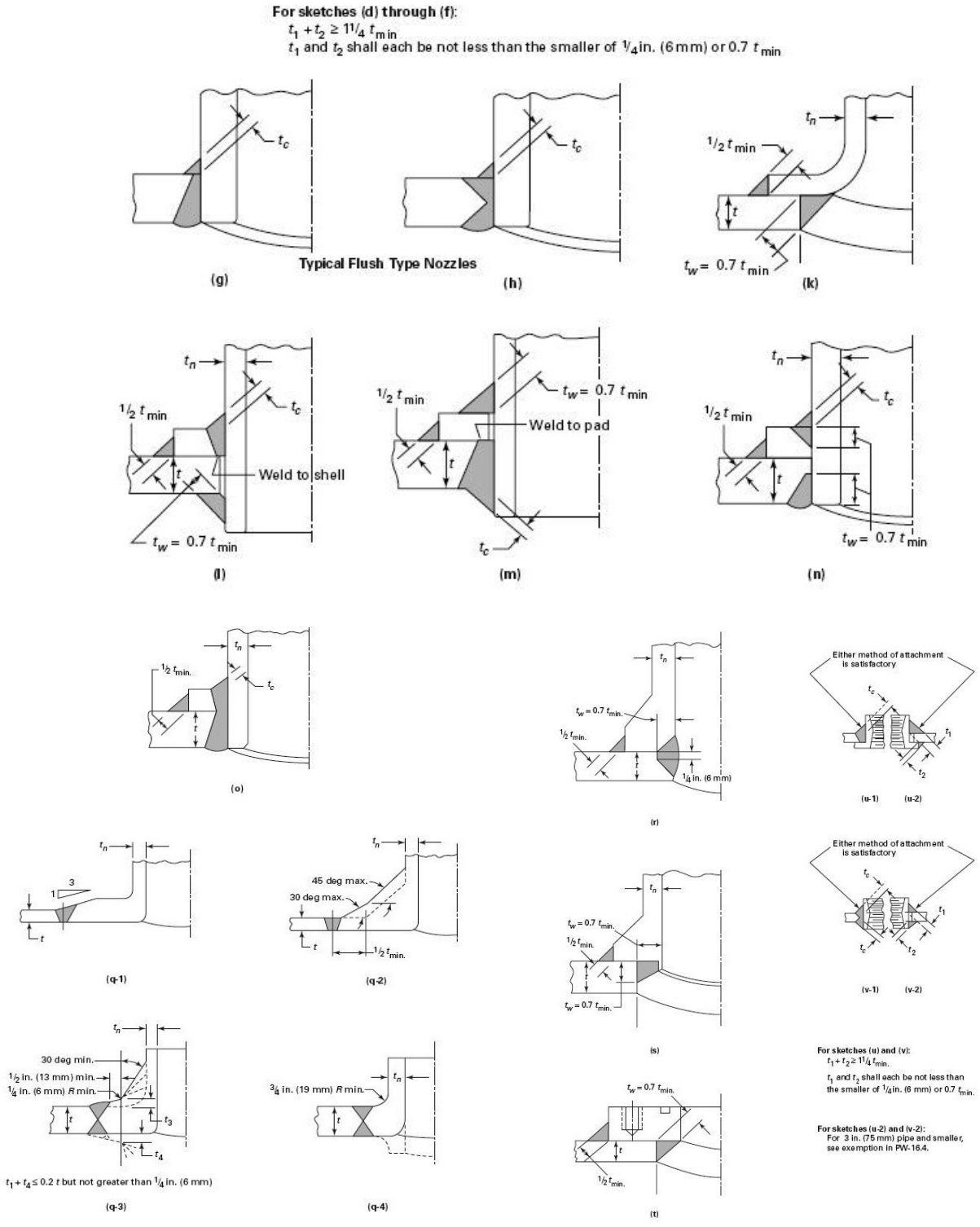
(b) ถ้าเชื่อมจากด้านในด้านเดียวความลึกของร่องหรือคอแนวฟิลเล็ท อย่างน้อยต้องเท่ากับ 1 ¼ เท่าของ t min ช่องว่างแนวรอบวงของรูเจาะกับ Nozzle ตรงที่ไม่ได้เชื่อมตรงไม่มากกว่าค่า tolerance ในรูป 2.4.2 ตัวอย่าง (aa)

(c) ท่อน้ำอาจถูกเชื่อมติดกับ tubesheet หรือ เฮดเดอร์ ตามข้อกำหนดต่อไปนี้ เมื่อ tw, tc และ t min ถูกระบุตาม PW-16.2 และตัวอย่าง (bb) ในรูป 2.4.2

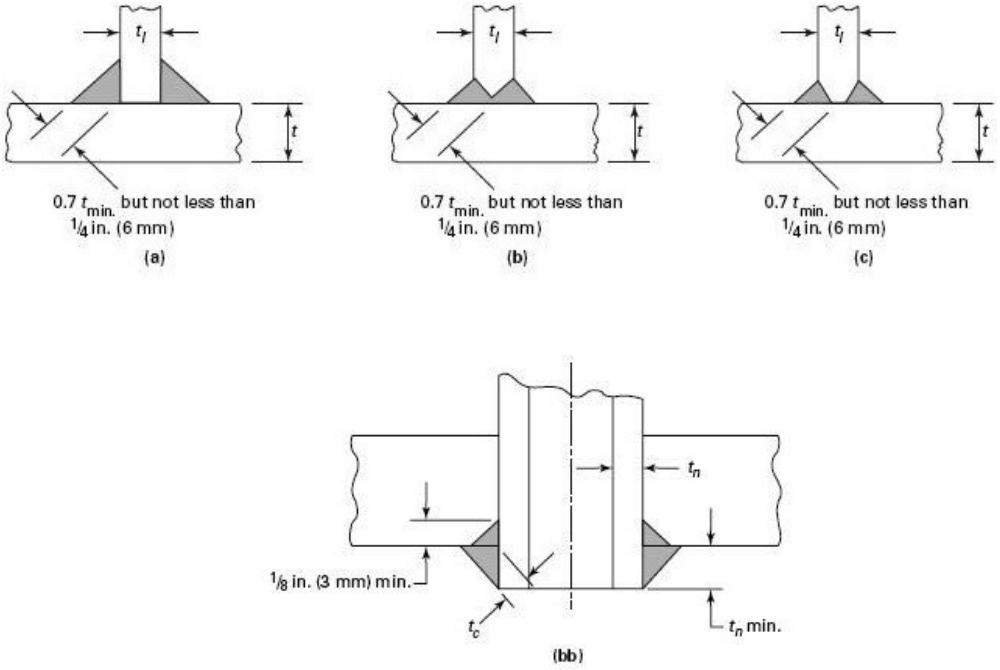
- ขนาดต้องไม่เกิน NPS 2 (50 mm)
- ความหนาต้องไม่เกิน ¼ (6 mm)
- ความลึกของร่อง tw และ tc ต้องไม่น้อยกว่า ¼ (6 mm) หรือ 0.7 t min อันใดอันหนึ่งที่น้อยสุด
- ท่อต่อจะต้องถูกเชื่อมจากด้านที่มีน้ำของหม้อน้ำ
- การประยุกต์ใช้จะถูกจำกัดสูงสุดที่อุณหภูมิ 650 F (345 °C)

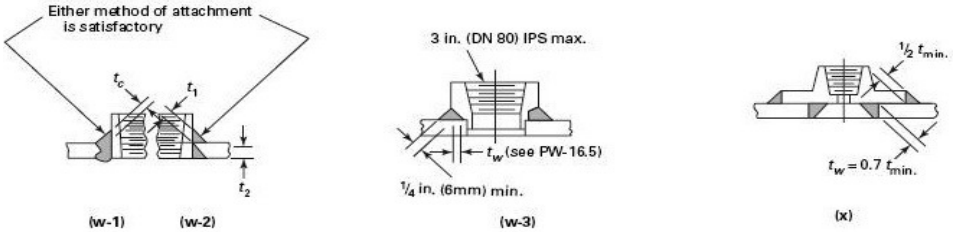


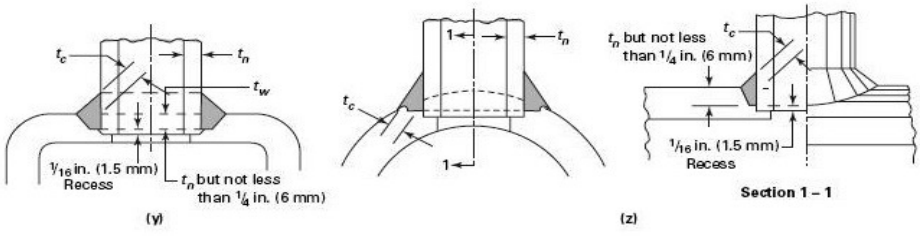

**รูปที่ 2.4.2** ลักษณะการต่อชนที่ได้รับการยอมรับ

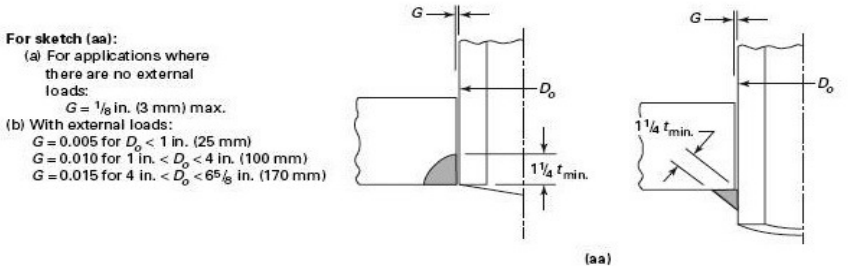



**รูปที่ 2.4.2** ลักษณะการต่อชนที่ได้รับการยอมรับ (ต่อ)




**รูปที่ 2.4.2** ลักษณะการต่อชนที่ได้รับการยอมรับ (ต่อ)

**PW-19** แนวเชื่อมใน stay (ตัวค้ำ) แนวเชื่อมในตัวค้ำอาจจะใช้เป็นเกลียวแทนได้ และจะต้องตรงตามความต้องการที่ PW 19.1 – PW 19.8

**PW-19.1** Stay จะต้องถูกสอดเข้าในแผ่นยึดละเชื่อมแบบซึมลึกสมบูรณ์ พื้นที่ของแนวเชื่อมในการคิดแรงเฉือน โดยวัดขนานกับส่วนของตัวค้ำที่ยื่นผ่านแผ่นยึด ต้องไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการของ stay แต่ขนาดแนวเชื่อมต้องไม่น้อยกว่า 3/8 (10 mm)

**PW-19.2** ปลายของ stay จะต้องถูกครอบคลุมด้วยเนื้อเชื่อมโดยที่ผิวเนื้อเชื่อมจะต้องอยู่ไม่ต่ำกว่าผิวแผ่นยึดด้านนอก

**PW-19.3** ปลาย stay ที่สอดผ่านแผ่นยึดจะต้องยื่นออกจากผิวที่สัมผัสการเผาไหม้มากกว่า 3/8 (10 mm)

**PW-19.4** ตัวค้ำทแยงมุม (Diagonal stay) จะต้องถูกยึดติดกับผิวด้านในของ shell แต่ไม่ใช่ยึดกับ head ด้วยการเชื่อมฟิลเล็ทเท่านั้น ดูรูป PW-19.4(a) และ Pw-19.4(b)

**PW-19.4.1** แนวเชื่อมฟิลเล็ทต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 3/8 (10 mm) และจะต้องต่อเนื่องเต็มความยาวในแต่ละด้านของส่วนที่ตัวค้ำเชื่อมต่อกับ shell ผลรวมของความยาวแนวฟิลเล็ทนี้คูณด้วยระยะ throat ของแนวฟิลเล็ทจะต้องไม่น้อยกว่า 1.25 คูณด้วยพื้นหน้าตัดที่ต้องการของ stay

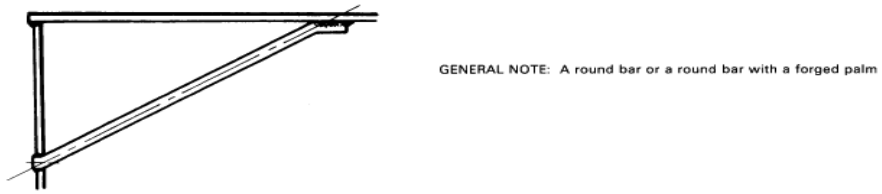



FIG. PW-19.4(a) SOME ACCEPTABLE TYPES OF DIAGONAL BRACES FOR INSTALLATION BY WELDING

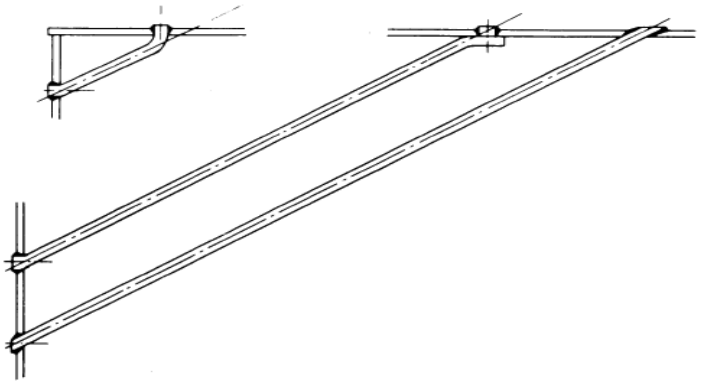


FIG. PW-19.4(b) UNACCEPTABLE TYPES OF DIAGONAL BRACES FOR INSTALLATION BY WELDING

**PW-19.4.3** เส้นศูนย์กลางตามแนวยาวของ stay จะต้องตัดกับผิวด้านในของแผ่นยึด และอาจจะยื่นออกมาด้วยถ้าจำเป็น

**PW-19.5** ระยะพิทย์ของ stay จะต้องตรงตาม PFT-27

**PW-19.6** แนวเชื่อมที่นูนเกินไปจะต้องไม่โผล่ออกผ่านแผ่นยึดที่ตรงรูท

**PW-19.7** แนวเชื่อมต้องถูกทำ Post weld โดยอ้างตาม PW-39

**PW-19.8** Telltale holes จะไม่จำเป็นต้องมีสำหรับ stay bolt ที่ใช้การเชื่อมยึด

**การประกอบ**

**PW-27 กระบวนการเชื่อม**

กระบวนการเชื่อมในบทนี้จะต้องตรงตามความต้องการในการทดสอบของ section IX และข้อกำหนด PW-27.1 ถึง PW-27.4

**PW-27.1** กระบวนการเชื่อมที่ใช้ใน section 1 ได้มี SMAW, SAW, GMAW, FCAW, GTAW, Plasma arc, atomic hydrogen arc, oxyhydrogen, oxyacetylene, laser beam electron beam, flash, induction, pressure thermit, pressure gas and inertia and continuous friction welding Resistance welding จะยอมให้ใช้ได้ภายใต้ข้อจำกัดด้านขนาดและความหนาตามข้อกำหนดของการผลิตท่อ ERW (ความหนาสูงสุด 13 มม.หรือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อสูงสุด DN600 : PG-9.5)นอกจากจะเป็นการเชื่อมต่อชนแนวรอบวง (circumferential) และการเชื่อมยึด pressure และ nonpressure-bearing จึงจะไม่จำกัด นอกจากจะตรงตามที่ระบุใน PW-27.2

**PW-27.2** arc stud welding และresistance stud welding อาจใช้เชื่อมยึดติด nonpressure bearing โดยที่ stud ต้องมีความโตสูงสุดไม่เกิน 1 นิ้ว (25 mm) สำหรับการยึดที่รับโหลดจะต้องตรงตาม PW-28.6 และ PW-39 ด้วย

**PW-27.3** การเชื่อมแบบ electroslag welding จะใช้ได้กับการเชื่อมต่อชนสำหรับ สแตน-เลสออสเทเนติก ที่ระบุใน PW-5.3 และ เหล็กเฟอริติกเท่านั้น ซึ่งการเชื่อมกับเหล็กเฟอริติกจะต้องทำการทดสอบ NDE แบบพิเศษ ( ตาราง PW-11 note (a)และ(b))และ heat treatment แบบพิเศษ ด้วย (PW-39.7)

**PW-27.4** คำจำกัดความที่ใช้ใน Section IX รวมถึงตัวแปรต่างๆ

**PW-27.5** ถ้าเชื่อม UNS NO6230 ด้วยลวดเชื่อมที่มีส่วนประกอบทางเคมีหลักเหมือนกับชิ้นงาน จะยอมให้ใช้ได้แค่ GMAW และ GTAW เท่านั้น

**PW-28** บันทึกการทดสอบงานเชื่อม

**PW-28.1** ความต้องการต่างๆสำหรับการรับรอง Procedure, welder และ welding Operator

**PW-28.1.1** Procedure, welder และ welding operator ที่ใช้เชื่อมงาน pressure part หรือ nonpressure part ที่รับแรงกระทำ เข้ากับตัว pressure past จะต้องผ่านการรับรองงานเชื่อมอ้างอิงตาม Section IX ก่อน

**PW-28.1.2** นอกจากที่ระบุใน PW-28.1.2(a) และ (b) Procedure, welder และ welding operator ที่จะใช้เชื่อมยึดติด nonpressure- bearing ที่ไม่รับโหลดอันตรายใดๆ เข้ากับ pressurepart จะต้องผ่านการรับรอง Section IX

(a) การเชื่อมแบบอัตโนมัติไม่จำเป็นต้องทำการรับรอง procedure และ welder

(b) ถ้าวัสดุที่ใช้เป็น non pressure part ต้องมีการทดสอบทางกลในการรับรอง procedure และ performance อาจจะใช้การทดสอบโครงสร้างมหภาค (macro examination) กับทั้งการเชื่อม fillet และ groove weld

(c) ชิ้นงานเชื่อม (coupon) จะต้องยาวพอที่จะทำชิ้นทดสอบ (specimen) และการทำ heat treatment ต้องพิจารณาเป็นตัวแปรที่ไม่สำคัญ (non essential variable) คุณสมบัติในการเชื่อมได้ของวัสดุจะต้องพิจารณาจากโครงสร้าง มหภาค จากหน้าตัดเดี่ยวของเนื้อเชื่อม ซึ่งจะต้องเห็นการประสานและ HAZ ที่สมบูรณ์ด้วยตาเปล่า

(d) การเชื่อมชิ้นงานทั้งหมดต้องทำโดยผู้ผลิต และการทดสอบก็เป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิต ซึ่งการรับรอง procedure, welder และ welding operator ของผู้ผลิตรายนั้นจะใช้กับของผู้ผลิตรายอื่นไม่ได้ นอกจากที่ระบุใน QW-201 และ QW-300 ใน Section IX และ PW-28.5

(e) จะไม่มีการทำการผลิตใดๆก่อนที่ procedure, welder และ welding operator ยังไม่ผ่านการรับรอง นอกจากการรับรอง performance ด้วย RT ตาม QW-304 สำหรับรับรองช่างเชื่อม และ QW -305 สำหรับการรับรอง welding operator ที่อาจจะทำภายใน 3 ft (1 m) แรกของการเชื่อม

**PW-28.4** ผู้ผลิตจะต้องรักษาบันทึกของการรับรองที่แสดงวันเวลา ผลการทดสอบ และระบุให้กับช่างช่างเหล่านั้น บันทึกนี้จะต้องถูกรับรองโดยผู้ผลิตเองด้วยลายเซ็นหรือวิธีการควบคุมคุณภาพของผู้ผลิตที่สามารถให้ผู้มีอำนาจตรวจสอบ (AI) เข้าถึงได้

**PW-28.4.1** ผู้ผลิตจะต้องทำ procedure สำหรับทุกแนวเชื่อม นอกจากที่ยอมได้ใน PW-28.4.2 และ PW-28.4.3 โดยสามารถระบุช่างเชื่อมหรือผู้ควบคุมเครื่องได้ช่างเชื่อมหรือ

ผู้คุมเครื่องอาจจะระบุรหัสของเขาลงบนหรือติดกับทุกแนวเชื่อมที่เขาเชื่อม หรือระบุบนหรือติดแนวเชื่อมที่ยาวต่อเนื่องด้วยการมาร์คเป็นช่วงโดยห่างกันไม่เกิน 3 ft (1 m) และผู้ผลิตอาจใช้การบันทึกแนวเชื่อมกับช่างเชื่อมหรือผู้คุมเครื่องเป็นการระบุแนวเชื่อมก็ได้

**PW-28.4.2** การมาร์คบนโครงสร้างที่รับโหลดหรือไม่รับโหลดที่เชื่อมติดกับชิ้นส่วนไม่รับแรงดัน ผู้ผลิตไม่จำเป็นต้องระบุช่างเชื่อมหรือผู้ควบคุมในแต่ละแนวก็ได้ โดยที่

(a) ระบบควบคุมคุณภาพของผู้ผลิต ที่ให้มีการระบุช่างเชื่อมหรือผู้ควบคุมการเชื่อมแบบนี้ก็ให้ทำต่อไป โดยที่ Inspector สามารถตรวจสอบได้ว่าช่างเชื่อมและผู้ควบคุมได้ผ่านการรับรองอย่างถูกต้อง

(b) การเชื่อมเป็นรูปแบบเดียวกันและถูกเชื่อมด้วย procedure เดียวกัน

**PW-28.4.3** ไม่จำเป็นต้องมีการระบุช่างเชื่อมหรือผู้ควบคุมที่เชื่อม Tack weld ที่จะกลายเป็นเนื้อเชื่อมในตอนสุดท้ายสำหรับ pressure part หรือ ตัวโครงสร้าง นอกจากระบบคุณภาพของผู้ผลิตรวมทั้ง Inspector สามารถตรวจสอบการรับรองช่างเชื่อมและผู้ควบคุมที่ทำการแท็กได้

**PW-28.5** การหลีกเลี่ยงความซ้ำซ้อนของการทดสอบเพื่อรับรอง แนะนำว่า procedure, welder และ welding operator ที่ได้รับรองตามที่ต้องการของด้านบนนี้จะสามารถยอมรับได้กับงานเชื่อมใดๆที่เหมือนกันนี้กับในงาน piping ด้วยโดยใช้ procedure เดียวกัน (ดู PW-1.2)

**PW-28.6** กรณีของการเชื่อม stud welding ที่ใช้เพื่อยึดติด stud เพื่อรับโหลดนั้น การทดสอบ procedure หรือบุคลากรจะต้องทำโดยแยกแผ่นหรือท่อที่ทดสอบออกจากกันก่อนเชื่อมชิ้นแรก โดยการเชื่อมจะต้องใช้ stud ห้าชิ้นและทดสอบตาม Section IX

**PW-28.7** ถ้าการเชื่อมต่อชน tube ทำโดยใช้กระบวนการ Flash welding การทดสอบจะต้องทำตาม Section IX, QW-199.1.3 ถ้าการเชื่อมใดที่ไม่ผ่านการทดสอบ จะต้องทำการปรับพารามิเตอร์ต่างๆจนกว่าแนวเชื่อม 2 ชั้น จะผ่านการทดสอบ bend test

**PW-29 การเตรียมชิ้นงาน**

**PW-29.1** การเตรียมการเชื่อมอาจรวมถึงวิธีการอำนวยความสะดวกใดๆ อย่างการ machining, thermal cutting, การสกัด หรือเจียร

**PW-29.2** เมื่อใช้การตัดด้วยความร้อน ผลกระทบทางกลและคุณสมบัติทางโลหะวิทยาของชิ้นงานจะต้องถูกพิจารณา

**PW-29.3** วิธีการเตรียมชิ้นงานจะต้องทำให้มีร่องเชื่อมที่จะทำเกิดผิวเรียบและปราศจากรอยบากลึก ช่องแคบหรือรูปร่างที่ผิดปกติใดๆ รวมทั้งต้องไม่มีฝุ่น น้ำมัน จาระบี หรือสิ่งแปลกปลอมใดๆด้วย

**PW-29.4** ผิวเหล็กหล่อที่จะเชื่อมนั้น จะต้องถูก machine, สกัด หรือทำเรียบ ถ้าหากจำเป็น ที่จะกำจัดสะเก็ดต่างๆรวมทั้งเพื่อเปิดทางให้น้ำเหล็กไหล

**PW-31 การประกอบ**

**PW-31.1** ส่วนต่างๆที่จะเชื่อมจะต้องถูกประกอบ จัดระดับ และรักษาตำแหน่งไว้ในขณะเชื่อมตามค่าพิกัดใน ตารางPW-33

**PW-31.2** Bar, jacks, clamp, tack weld หรืออะไรก็ตาม สามารถนำมาใช้ได้เพื่อรักษา alignment ของชิ้นส่วนที่จะเชื่อม

**PW-31.3** tack weld ที่ใช้เพื่อรักษา alignment จะต้องถูกกำจัดออกจนหมดอย่างถูกต้องด้วยการเจียรหรือวิธีที่เหมาะสมใดๆ ซึ่ง tackweld ไม่ว่าจะเอาออกหรือทิ้งไว้จะต้องทำตาม Procedure ที่ได้รับรองตาม Section IX เท่านั้น โดย tackweld ที่จะไม่เอาออกต้องเชื่อมโดยบุคลากรที่ผ่านการรับรองตาม Section IX และตรวจสอบด้วยสายตาว่าไม่มีสิ่งบกพร่อง ถ้ามีก็ต้องกำจัดทันที

**PW-31.4** เมื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วน 2 ชิ้นด้วยการเชื่อมแบบ friction welding ชิ้นส่วนหนึ่งจะต้องถูกฟิกตำแหน่งโดยที่อีกชิ้นถูกหมุน ผิวทั้งสองที่จะเชื่อมต่อกันต้องสมมาตรกันตามแกนหมุน

**PW-33** พิกัดเผื่อการ alignment สำหรับ shell และถัง (รวมถึง pipeหรือ tube ที่ใช้เป็น shell ด้วย)

**PW-33.1** alignment ของ หน้าตัดที่จะเชื่อมเข้าด้วยกันจะเยื่องกันได้ไม่เกินค่าใน PW-33 โดยที่ t เป็นความหนาปกติของแผ่นที่บางกว่า

**PW-33.2** การเชื่อมต่อถังทรงกลมที่อยู่ภายใน head กับแนวระหว่าง shell ทรงกระบอกกับ head กึ่งทรงกลม จะต้องตรงตามความต้องการใน PW-33.1 สูงกว่ารอยต่อแนวตั้งของ shell ทรงกระบอก

**PW-33.3** ระยะเยื้องใดๆที่อยู่ในค่าที่ยอมรับได้จะต้องถูกเท่าให้เสมอกันด้วยระยะเรียว 3 ต่อ 1 ตามความกว้างของแนวเชื่อมสำเร็จ ถ้าจำเป็นก็ให้เพิ่มเชื่อมเพิ่มออกมาเป็นขอบของแนวเชื่อมก็ได้

**PW-34** การ alignment ของ tube และ pipe

**PW-34.1** เมื่อ tube หรือ pipe ถูกเชื่อมเข้าด้วยกันจะต้องทำการ alignment ที่ผิวด้านในเพื่อให้เกิดการซึมลึกสมบูรณ์ โดยความนูนแนวเชื่อม (Weld reinforcement) ต้องตรงตามความต้องการใน PW-35

**PW-35 แนวรอยต่อสำเร็จตามแนวยาว (longitudinal) และแนวรอบวง (circumferential)**

**PW-35.1** การเชื่อมต่อชนจะต้องซึมลึกสมบูรณ์ ต้องแน่ใจว่าร่องงานเชื่อมถูกเติมเต็มอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นผิวของเนื้อเชื่อมที่จุดใดๆจะต้องไม่ยุบต่ำกว่าผิวของชิ้นงาน อาจจะมีการเพิ่มรอยนูนเนื้อเชื่อม (Weld reinforcement) โดยที่ความหนาของรอยนูนบนผิวหน้าจะต้องไม่เกินดังต่อไปนี้

TABLE PW-33
ALIGNMENT TOLERANCE OF SECTIONS TO BE BUTT WELDED

| Section Thickness, in. (mm) | Direction of Joints in Cylindrical Shells: Longitudinal in. (mm) | Direction of Joints in Cylindrical Shells: Circumferential in. (mm) |
|---|---|---|
| Up to 1/2 (13), incl. | 1/4t | 1/4t |
| Over 1/2 (13) to 3/4 (19), incl. | 1/8 (3.0) | 1/4t |
| Over 3/4 (19) to 1 1/2 (38), incl. | 1/8 (3.0) | 5/16 (5) |
| Over 1 1/2 (38) to 2 (50), incl. | 1/8 (3.0) | 1/8t |
| Over 2 (50) | Lesser of 1/16t or 5/8 (10) | Lesser of 1/8t or 3/4 (19) |

| Nominal Thickness, in. (mm) | Maximum Reinforcement, in. (mm): Circumferential Joints in Pipe and Tubing | Maximum Reinforcement, in. (mm): Other Welds |
|---|---|---|
| Up to 1/8 (3) | 3/32 (2.5) | 3/32 (2.5) |
| Over 1/8 (3) to 3/16 (5), incl. | 1/8 (3.0) | 3/32 (2.5) |
| Over 3/16 (5) to 1/2 (13), incl. | 5/32 (4.0) | 3/32 (2.5) |
| Over 1/2 (13) to 1 (25), incl. | 3/16 (5.0) | 3/32 (2.5) |
| Over 1 (25) to 2 (50), incl. | 1/4 (6.0) | 1/8 (3.0) |
| Over 2 (50) to 3 (75), incl. | [Note (1)] | 5/32 (4.0) |
| Over 3 (75) to 4 (100), incl. | [Note (1)] | 7/32 (5.5) |
| Over 4 (100) to 5 (125), incl. | [Note (1)] | 1/4 (6.0) |
| Over 5 (125) | [Note (1)] | 5/16 (8.0) |

NOTE:
(1) The greater of 1/4 in. (6 mm) or 1/8 times the width of the weld in inches (mm).

อย่างไรก็ตามผิวแนวเชื่อมจะต้องไม่หยาบ ไม่เกย เป็นสันจนเกินไป และปราศจากตัวเพิ่มความเค้น Undercut ต้องไม่เกิน 1/32 (0.8 mm) หรือ 10% ของความหนาผนัง และต้องไม่เกินความความหนาหน้าตัดที่ต้องการด้วย แนวเชื่อมสำเร็จต้องเหมาะแก่การแปลผล RT หรือ NDE อื่นที่ต้องการ ถ้าหากมีข้อข้องใจในการแปลผล RT ให้เปรียบเทียบภาพถ่ายกับชิ้นงานจริงก่อนตัดสินใจ

**PW-35.2** รอยนูนไม่จำเป็นต้องเอาออกนอกจากจำเป็นต้องให้ตรงตามความต้องการของความหนาใน PW-35.1

**PW-35.3** Backing strip ที่ใช้ในการเชื่อมแนว longitudinal จะต้องเอาออกและเตรียมการ RT ตามต้องการ ส่วน Backing ring ด้านใน อาจจะทิ้งไว้ได้ตรงแนวรอบวง ถ้าตรงตามความต้องการใน PW-41

**PW-35.4** แนวเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน 2 ชิ้น ด้วยการเชื่อม friction welding แบบ inertia และ continuous drive จะต้องซึมลึกสมบูรณ์ ต้องทำการตรวจสอบด้วยสายตาแบบ in-process checkที่แต่ละแนวเชื่อมบน flash roll โดย weld upset ต้องตรงตามปริมาณที่กำหนดซึ่งกำหนดให้พิดพลาดได้ ±10%

**PW-36 ความต้องการของงานเชื่อมเพิ่มเติมอื่น ๆ**

**PW-36.1** ก่อนทำการเชื่อมในด้านที่สองของการเชื่อม double butt weld ที่แนว root จะต้องถูกทำการเตรียมผิวด้วยวิธีที่เหมาะสมก่อน เพื่อรักษาเนื้อเชื่อมที่ฐานเอาไว้ นอกจากจะใช้กระบวนการเชื่อมที่มีการประสาน และการซึมลึกที่ถูกต้องสมบูรณ์ และตรง root ปราศจากสิ่งแปลกปลอม

**PW-36.2** การเชื่อมฟิลเล็ท การเชื่อมฟิลเล็ทนั้นจะต้องเชื่อมให้มีระยะห่างพอสมควรเพื่อรักษาการซึมลึกเข้าในชิ้นงาน โดยรอยกัดแหว่งบนขอบเขตของส่วนที่มี pressure จะต้องไม่เกินค่าน้อยสุดระหว่าง 1/32 (0.8 mm) กับ 10% ของความหนาปกติ และจะต้องไม่มากเท่ากับความหนาที่ต้องการในหน้าตัดนั้น โดยผิวเชื่อมจะต้องไม่มีคลื่นหยาบ หรือร่องใดๆ ซึ่งความเว้าที่เกิดขึ้นได้จะต้องไม่เกินค่าความหนาของแนวเชื่อมที่ต้องการ

**PW-38 การ preheat**

**PW-38.1** ความต้องการด้านอุณหภูมิการ preheat จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง ซึ่งวิธีการที่ใช้สำหรับการ preheat ได้ถูกอธิบายไว้ใน A-100 เป็นแนวทางทั่วไปสำหรับวัสดุที่ระบุตาม P-number ใน Section IX แต่ใน procedure งานเชื่อมสำหรับวัสดุนั้นๆจะต้องถูกระบุอุณหภูมิ preheat ต่ำสุดตามความต้องการของ section IX ด้วย

**PW-38.2** การ preheat สำหรับการเชื่อมหรือตัดด้วยความร้อน อาจทำโดยใช้วิธีการที่ไม่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานและเนื้อเชื่อมแต่อย่างใด

**PW-39** ความต้องการในการทำ post weld heat treatment

กฎต่างๆในย่อหน้าต่อไปนี้จะใช้กับการสร้างหม้อน้ำและชิ้นส่วนต่างๆ โดยไม่สามารถใช้ได้กับระบบ Piping ภายนอก

**PW-39.1** ก่อนประยุกต์ใช้ความต้องการในการ post weld ของย่อหน้าต่อไปนี้ procedure ที่จะใช้ต้องถูกทำขึ้นโดยอ้างกับตัวแปรสำคัญทั้งหมดของ section IX ซึ่งประกอบด้วย สถานการณ์ทำ post weld และไม่ต้องทำ รวมทั้งข้อจำกัดต่างๆตามด้านล่างนี้ จากที่ระบุใน PFT-29, PMB-9, PW-40.2, PW-40.3 และในโน๊ต ของตาราง PW-39 การเชื่อมชิ้นส่วนรับแรงดันของ power boiler ทั้งหมดจะต้องทำ post weld ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่าที่ระบุในตาราง PW-39.1 นอกจากจะระบุอย่างอื่น ซึ่งวัสดุที่ระบุในตาราง PW-39 จะอ้างอิงการจัดกลุ่มตาม P-Number

**PW-39.2** ถ้าเชื่อมวัสดุรับแรงดันที่ P-Number ต่างกันเข้าด้วยกัน จะต้องทำ post weld ตามตาราง PW-39 และ โน้ตสำหรับวัสดุที่ต้องทำ post weld ที่อุณหภูมิสูง ยกเว้นที่โน้ตใน

**PW-39.2.1** ถ้าชิ้นส่วนไม่รับแรงดันเชื่อมเข้ากับชิ้นส่วนรับแรงดันจะต้องทำการควบคุมอุณหภูมิ post weld ของชิ้นรับแรงดันรอยเชื่อมของชิ้นส่วนรับแรงดันที่ใช้ลวดเฟอริติกที่มีปริมาณโครเมียมมากกว่า 3% จะต้องทำ post weld เวลาและอุณหภูมิที่ทำ post weld จะต้องไม่น้อยกว่าที่แสดงในตาราง PW-39

**PW-39.2.2** แนวเชื่อมฟิลเล็ท แนวเชื่อมซึมลึกบางส่วน (partial) และแนวเชื่อมซึมลึกสมบูรณ์ที่เชื่อม pipe หรือ tube P-number 5 A เข้ากับเฮดเดอร์หรือวัสดุที่ P-no. ต่ำกว่า อาจใช้การทำ Post weld ตามตาราง PW-39 สำหรับวัสดุที่มี P-No. ต่ำกว่า โดยใช้กับ pipe หรือ tube ที่ครอบคลุมทุกลักษณะดังนี้

(a) ปริมาณโครเมียม สูงสุด 3%

(b) ขนาดโตสุด NPS 4 (DN 100)

(c) ความหนาสูงสุด ½ in (3 mm)

(d) ปริมาณคาร์บอนมากสุด ไม่เกิน 0.15 %

**PW-39.3** ใน procedure นั้น เพื่อให้ตรงตามความต้องการต่ำสุดของอุณหภูมิตาม “ตาราง PW-39” ปริมาณของเนื้อโลหะที่ต้องการ ให้ความร้อน (heat) ได้ถูกระบุเป็นการจุ่ม ซึ่งอย่างน้อยที่สุดการจุ่มจะต้องมีส่วนของแนวเชื่อมและชิ้นงาน ในแต่ละด้านที่จะ ให้ความร้อน รวมทั้งบริเวณ HAZ(Heat Effected Zone) โดยความกว้างในส่วนของชิ้นงาน จะต้องเท่ากับค่าน้อยสุดระหว่าง 2 inc (50 mm) กับ ความหนา Shell หรือ Vessel เนื้อเชื่อมจะต้องถูก heat อย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิที่กำหนดแล้วทิ้งไว้ตามเวลาที่ระบุจากนั้นจึงปล่อยให้เย็นอย่างช้าๆในอากาศ ไปถึงอุณหภูมิที่ไม่เกิน $800^{0}$ F ($425^{0}$ C)

**PW-39.4** แนวเชื่อมต้องถูกทำ post weld ด้วยวิธีการต่างๆต่อไปนี้

**PW-39.4.1** การ heat ทั้งชิ้นที่ประกอบเสร็จแล้ว

**PW-39.4.2** heat บางส่วนของชิ้นที่ประกอบ

**PW-39.4.3** ในกรณีที่ vessel ถูก heat บางส่วน การทำ heat treatment ของแนวสุดท้ายนั้นจะต้อง ทำตามใดๆวิธีต่อไปนี้

**PW-39.4.3.1** โดยการ heat ด้วยแถบความร้อนรอบแนวตัวถัง ตามอุณหภูมิและเวลาในตาราง PW-39

**PW-39.4.3.2** การทำ post weld สำหรับ แนวเชื่อมสุดท้ายอาจทำโดยการ heat ในเตาโดยให้มีการ overlap ของหน้าตัด vessel อย่างน้อยสุด 5 ft (1.5 m) ซึ่งหากใช้วิธีการนี้ด้านนอกของเตาจะต้องถูกหุ้มเพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อน

**PW-39.4.3.2.1** ถ้าส่วนของ vessel ที่ยื่นออกจากเตามี nozzle อยู่ จะต้องพิจารณาการควบคุมอุณหภูมิของ nozzle ด้วย โดยที่อุณหภูมิรอบๆไม่มีอันตราย

**PW-39.5** Nozzle หรือชิ้นส่วนใดๆที่เชื่อมติดอาจจะใช้การทำ post weld เป็นส่วนๆ โดยใช้วิธีการใดๆต่อไปนี้

**PW-39.5.1** โดยการ heat ด้วยแถบความร้อน ตลอดรอบตัวถังที่มีการเชื่อมต่ออยู่ตรงกึ่งกลางของแถบความร้อน ซึ่งแถบความร้อนจะต้องแผ่ขยายออกรอบตัวถังและรวมถึงแนวเชื่อมติด nozzle ด้วย นอกจากจะถูกปรับเปลี่ยนตามด้านล่างนี้

**PW-39.5.1.1** โดยการ heat ด้วยแถบความร้อน ตลอดรอบตัวถังที่มีการเชื่อมต่ออยู่ตรงกึ่งกลางของแถบความร้อน แถบความร้อนที่ต้องการของแนวเชื่อมรอบ nozzle ตามที่ระบุใน PW-39.3 เป็นการ heat ไปยังอุณหภูมิที่ต้องการและทิ้งไว้ตามเวลาที่ต้องการตามตาราง PW-39 โดยส่วนที่เหลือของแถบความร้อน อาจแปรผันตามความกว้างรอบแนวของตัวถัง

**PW-39.5.1.2** โดยการ heat ด้วยแถบความร้อน ตลอดรอบตัวถังที่มีการเชื่อมต่ออยู่ตรงกึ่งกลางของแถบความร้อน แถบความร้อนที่ต้องการของแนวเชื่อมรอบ nozzle ตามที่ระบุใน PW-39.3 เป็นการ heat ไปยังอุณหภูมิที่ต้องการและทิ้งไว้ตามเวลาที่ต้องการตามตาราง PW-39 โดยส่วนที่เหลือของแถบความร้อน ไม่จำเป็นต้องถึงอุณหภูมิที่ต้องการของ post weld

**PW-39.5.2** พื้นที่บางส่วนรอบ nozzle หรือแนวเชื่อมต่างๆที่อยู่ในหน้าตัดรัศมีใหญ่ของ double curvature head หรือ shell ทรงกลม หรือ head ต่างๆ อาจทำ post weld ด้วยการให้ความร้อนเป็นวงกลม (circular region) รอบๆ nozzle ซึ่งพื้นที่วงกลมหรือแถบความร้อนนี้จะต้องมีอยู่บน nozzle หรือแนวเชื่อมต่อต่างๆ และต้องถูกวัดจากศูนย์กลางของ nozzle หรือแนวเชื่อม โดยแถบความร้อนจะต้องเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับรัศมีของความกว้างที่กว้างที่สุดของแนวเชื่อม nozzle หรือแนวเชื่อมติดกับ shell บวกด้วยความหนาของ shell หรือเฮด หรือ 2 inc(50 mm) อย่างใดอย่างหนึ่งที่น้อยกว่ากัน โดยส่วนของตัวถังที่อยู่นอกพื้นที่วงกลมของแถบความร้อนจะต้องถูกหุ้มด้วยวัสดุที่เหมาะสมเพื่อป้องกันอุณหภูมิที่อันตราย

**PW-39.5.3** Nozzle ต่างๆที่มีแนวเชื่อใกล้รอบวงใกล้กับตัวถังหรือ shell ที่มีความร้อนตกค้างจากความใกล้นี้ จะต้องมีความยาวที่เหมาะสมระหว่างแนวเชื่อมบน nozzle กับ shell ดังนั้นการทำ post weld จึงไม่ทำให้เกิดความเค้นที่เป็นอันตรายตรงแนวเชื่อมยึด nozzle อย่างไรก็ตามแนวเชื่อมนี้อาจจะถูกทำ post weld ด้วยการใช้แถบความร้อนแนวรอบวงรอบๆ ตัวถังหรือ shell ก็ได้ โดยต้องให้ nozzle อยู่ในศูนย์กลางของแถบความร้อน

**PW-39.6** ในกรณีที่ทำ post weld บางส่วนของแนวเชื่อมใน pipe, tube หรือ header แถบความร้อนจะต้องแผ่ออกตลอดรอบ pipe, tube หรือ header

# บทที่ 3
# การออกแบบหม้อน้ำ

**หม้อน้ำ(Boiler)** หรือ ภาชนะรับแรงดันซึ่งสามารถสร้างไอน้ำ (Steam generator) ได้ด้วยตนเองถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ต้องมีการควบคุมดูแลทั้งการออกแบบ ผลิต และติดตั้ง พร้อมทั้งยังต้องมีการควบคุมเอกสารให้สามารถสอบกลับถึงต้นตอการผลิตได้ ดังนั้นในหลายต่อหลายประเทศจึงมีการออกเอกสารเป็นกฎข้อบังคับในการผลิตอุปกรณ์ชนิดนี้ ดังนั้นหนังสือเล่มนี้จึงได้ทำการเรียบเรียงเอกสารบางส่วนจาก ASME section I ปี 2004 ขึ้นมาเพื่อช่วยในการออกแบบ แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ผู้ผลิตต้องการผลิตหม้อน้ำในรูปแบบที่แตกต่างจากเนื้อหาภายในหนังสือเล่มนี้ กรมโรงงานอุตสาหกรรมขอแนะนำให้ผู้ออกแบบหรือผู้ผลิตตรวจสอบเอกสารจาก ASME section ที่เกี่ยวข้องฉบับสมบูรณ์ เนื้อหาของการออกแบบหม้อน้ำของ ASME section I จะแบ่งออกเป็นส่วนที่สำคัญหลายส่วน ยกตัวอย่างเช่น

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนการออกแบบทั่วไป (Part General: PG) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ออกแบบในการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆที่มีในหม้อน้ำแต่ละชนิด จากนั้นจึงจะแยกเป็นแต่ละส่วน

ส่วนที่ 2 คือ ส่วนข้อกำหนดหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Part Water Tube : PWT)

ส่วนที่ 3 คือ ส่วนข้อกำหนดหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Part Fire Tube : PFT)

ส่วนที่ 4 คือ ส่วนข้อกำหนดหม้อน้ำแบบไฟฟ้า (Part Electric Boiler: PEB)

## 3.1 ส่วนการออกแบบทั่วไป (Part General: PG)

**มีเนื้อหาที่สำคัญ ดังนี้**

**PG-16.3 ความหนาต่ำสุด (Minimum Thickness).**

- ความหนาต่ำสุดสำหรับหม้อน้ำภายใต้สภาวะที่มีความดันจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. ยกเว้นหม้อน้ำไฟฟ้า
- ความหนาต่ำสุดสำหรับแผ่นยึดในหม้อน้ำ (Stay plate) จะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 8 มม.
- เมื่อใช้ท่อขนาดตั้งแต่ $\phi$ 125 มม. เป็นส่วนเปลือกรับความดัน จะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มม.

**PG-16.4 พิกัดความเผื่อขั้นต่ำสุดสำหรับโลหะแผ่น (Under tolerance on plate)**

แผ่นวัสดุที่ใช้ออกแบบตามข้อกำหนดยินยอมให้มีความหนาน้อยกว่าความหนาที่ระบุตามข้อกำหนด(Specification) ไม่เกิน 0.3 มม. เช่น ข้อกำหนดเหล็กแผ่นหนา 15 มม. จะยอมให้มีความหนาไม่ต่ำกว่า 14.7 มม. เป็นต้น

**PG-21 การกำหนดค่าความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE: MAWP)**

**PG-21.1** ไม่มีหม้อน้ำตัวใด (ยกเว้น “Force flow steam generator ,ยกตัวอย่างเช่น once though boiler เป็นต้น, ที่ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด PG-67) จะถูกใช้ที่ความดันมากกว่าที่ค่าความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด ยกเว้นเมื่อ safety valve, Pressure relief valve เปิดระบายไอที่ค่าความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด ซึ่งจะต้องมีค่าไม่มากกว่า 6% เช่น ถ้า “MAWP” มีค่า 200 บาร์ ดังนั้น Safety valve ต้องเปิดโดยในขณะนั้นความดันจะต้องไม่เกินกว่า 6%ของ 200 บาร์ (เท่ากับ 212 บาร์)

**PG-25 ปัจจัยคุณภาพของเหล็กหล่อเหนียว (Quality Factor for Steel Casting)**

**PG-25.2.1.2.2**

เทคนิคสำหรับการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดย สารแทรกซึม (Liquid Penetant testing) สำหรับชิ้นงานเหล็กหล่อเหนียวตาม Article 6 ASME section V ระบุเงื่อนไขในการไม่ยอมรับ ดังนี้

ก. มีรอยร้าวทุกชนิด หรือ “Hot tear”

ข. มีกลุ่มของ “สิ่งบ่งชี้ (Indicator) ที่เป็นเส้น” ตั้งแต่จำนวน 6 รอยในพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 38 มม. X 150 มม. หรือในพื้นที่น้อยกว่านั้น หรือในพื้นที่วงกลมϕ 89 มม. หรือในพื้นที่น้อยกว่านั้น

ค. มี “สิ่งบ่งชี้ (Indicator)” ตามแนวยาวที่มีขนาดความยาว ดังนี้

- มากกว่า 6 มม. สำหรับความหนาชิ้นงาน ไม่เกิน 19 มม.
- มากกว่า 1/3 ของความหนาสำหรับความหนาชิ้นงาน ตั้งแต่ 19 มม.ถึง 57 มม.
- มากกว่า 19 มม.สำหรับความหนาชิ้นงาน มากกว่า 57 มม.

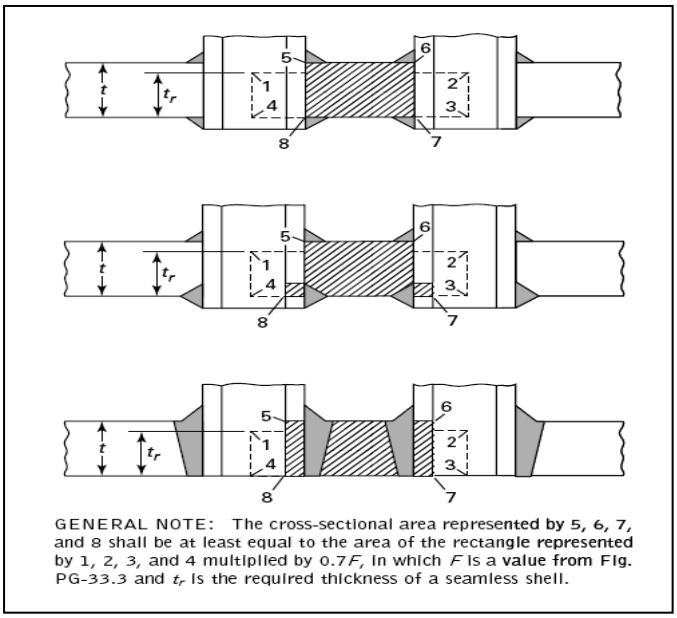
ง. มี “สิ่งบ่งชี้ (Indicator)” ทุกประเภทที่มีขนาดโตกว่า 5 มม.

**PG-25.2.2.5** ในการเชื่อมซ่อมชิ้นงานเหล็กหล่อเหนียวที่ผ่าน “Heat treatment” มาแล้ว จะต้องมีการทำ “Heat treatment” หลังเชื่อมซ่อม

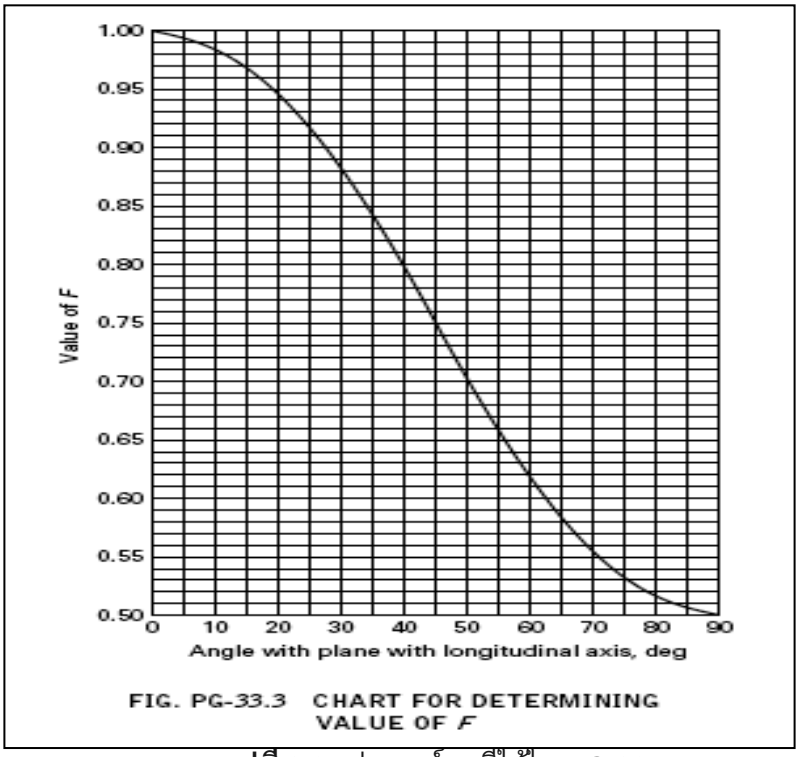
**PG-38 ค่าชดเชยช่องเปิดหลายช่อง (Compensation Multiple Openings)**

**PG-38.2** ช่องเปิดที่ใกล้กัน 2 ช่องจะต้องมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางไม่น้อยกว่า $1^{1}/_{3}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

**PG-38.4**เมื่อเปลือกหม้อน้ำมีการต่อกับช่องเปิดหรือท่อ “Nozzle” ดังรูป PG-38, “พื้นที่ภาคตัดขวางทั้งหมด”(พื้นที่ 5, 6, 7, 8) ระหว่างสองช่องเปิดนั้น ต้องมีค่าไม่เกิน 0.7 x F x “พื้นที่ภาคตัดขวางของพื้นที่ที่คำนวนจากความหนาที่ต้องการของเปลือก” (พื้นที่ 1, 2, 3, 4) โดยที่ค่า F สามารถหาได้จากตาราง “PG-33.3”




**รูปที่ 3.1** ลักษณะของ nozzle หรือช่องเปิดที่มีการติดตั้งอยู่บนเปลือกหม้อน้ำ (PG-38)




**รูปที่ 3.2** เฟคเตอร์ F ที่ใช้ใน PG-38.4

## PG-39.5 ข้อต่อเกลียว (Threaded Connection)

**PG-39.5.1** เกลียวที่ใช้ในคู่มือฉบับนี้ต้องมีค่าปริมาณเกลียวต่ำสุดตามตาราง PG-39

ตารางที่ 3.1 จำนวนเกลียวน้อยที่สุดสำหรับการเชื่อมต่อลักษณะต่างๆ

TABLE PG-39
MINIMUM NUMBER OF THREADS PER CONNECTION

| U.S. Customary Units | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pressure up to and including 300 psi | | | | | | | | |
| Size of pipe connection (NPS) | | 1 & 1¼ | 1½ & 2 | 2½ to 4 | 5 & 6 | 8 | 10 | 12 |
| Threads engaged | | 4 | 5 | 7 | 8 | 10 | 12 | 13 |
| Min. plate thickness required, in. | | 0.348 | 0.435 | 0.875 | 1.0 | 1.25 | 1.5 | 1.625 |
| Pressures above 300 psi | | | | | | | | |
| Size of pipe connection, (NPS) | ½ & ¾ | 1 to 1½ | 2 | 2½ & 3 | 4 to 6 | 8 | 10 | 12 |
| Threads engaged | 6 | 7 | 8 | 8 | 10 | 12 | 13 | 14 |
| Min. plate thickness, required, in. | 0.43 | 0.61 | 0.70 | 1.0 | 1.25 | 1.5 | 1.62 | 1.75 |
| **SI Units** | | | | | | | | |
| Pressure up to and including 2 MPa | | | | | | | | |
| Size of pipe connection (DN) | | 25 & 32 | 40 & 50 | 65 to 100 | 125 & 150 | 200 | 250 | 300 |
| Threads engaged | | 4 | 5 | 7 | 8 | 10 | 12 | 13 |
| Min. plate thickness required (mm) | | 9 | 11 | 22 | 25 | 32 | 38 | 41 |
| Pressures above 2 MPa | | | | | | | | |
| Size of pipe connection (DN) | 15 & 20 | 25 to 40 | 50 | 65 & 80 | 100 to 150 | 200 | 250 | 300 |
| Threads engaged | 6 | 7 | 8 | 8 | 10 | 12 | 13 | 14 |
| Min. plate thickness, required (mm) | 11 | 16 | 18 | 25 | 32 | 38 | 41 | 44 |

**PG-39.5.2** ข้อต่อเกลียวสำหรับยึดติดกับหม้อน้ำจากด้านนอกจะต้องมีขนาดเป็นไปตาม ตารางข้างล่าง และใช้ในอุณหภูมิไม่เกิน 495 °C

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลประกอบ PG-39.5.2

| ขนาดท่อสูงสุด | ขนาดความดันสูงสุด |
|---|---|
| NPS (DN) | Psi(MPa) |
| 3(80) | 400(3) |
| 2(50) | 600(4) |
| 1(25) | 1,200(8) |
| ≤ ¾(20) | 1,500(10) |

**PG-42.4.9** ข้อต่อเกลียวที่ผลิตจากเหล็กหล่อ(Cast iron) หรือ เหล็กหล่อมาลีเอเบิล (Malleable iron) สำหรับยึดติดหม้อน้ำ ที่ออกแบบตามมาตรฐานความดัน Class125 (PN20), Class150 (PN20), Class250 (PN50), Class300 (PN50) อาจจะถูกใช้งานได้ ยกเว้นในตำแหน่งที่ห้ามเป็นพิเศษ โดย ข้อต่อเกลียวเหล่านั้นห้ามใช้สำหรับอุณหภูมิเกิน 230 °C

**PG-43 Nozzle Neck Thickness**

**PG-43.2** ความหนาผนังท่อต่ำสุดเป็นไปตามตารางข้างล่าง อ้างอิง ASME B36.10M ตารางที่ 3.3 ความหนาผนังท่อตามระบบ ASME B36.10

**PG-44 ช่องเปิดสำหรับการตรวจสอบ**

**PG-44.1** หม้อน้ำทุกชนิดต้องมีการจัดเตรียมช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบ, ทำความสะอาด โดย

| | | |
|---|---|---|
| Elliptical manhole | มีขนาดไม่น้อยกว่า | 150 มม. x 400 มม. |
| Circular manhole | มีขนาดไม่น้อยกว่า | 380 มม. |
| Elliptical handhole | มีขนาดไม่น้อยกว่า | 70 มม. x 89 มม. |

ตารางที่ 3.3 ความหนาผนังท่อตามระบบ ASME B36.10

## Wall Thickness Schedules (ASME B36.10 B36.19)

| Nominal Pipe Size (NPS) | | Outside Diameter | | Nominal Wall Thickness | | | | | | | | | | | | | | | | | | Outside Diameter | | Nominal Pipe Size (NPS) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Sch5s | | Sch10s | | Sch40s | | Sch80s | | Sch5 | | Sch10 | | Sch20 | | Sch30 | | STD | | | | | |
| A | B | MM | IN | MM | IN | MM | IN | MM | IN | MM | IN | MM | IN | MM | IN | MM | IN | MM | IN | MM | IN | MM | IN | A | B |
| 8 | 1/4 | 13.7 | 0.540 | - | - | 1.65 | 0.065 | 2.24 | 0.088 | 3.02 | 0.119 | - | - | 1.65 | 0.065 | - | - | 1.85 | 0.073 | 2.24 | 0.088 | 13.7 | 0.540 | 8 | 1/4 |
| 10 | 3/8 | 17.1 | 0.675 | - | - | 1.65 | 0.065 | 2.31 | 0.091 | 3.20 | 0.126 | - | - | 1.65 | 0.065 | - | - | 1.85 | 0.073 | 2.31 | 0.091 | 17.1 | 0.675 | 10 | 3/8 |
| 15 | 1/2 | 21.3 | 0.840 | 1.65 | 0.065 | 2.11 | 0.083 | 2.77 | 0.109 | 3.73 | 0.147 | 1.65 | 0.065 | 2.11 | 0.083 | - | - | 2.41 | 0.095 | 2.77 | 0.109 | 21.3 | 0.840 | 15 | 1/2 |
| 20 | 3/4 | 26.7 | 1.05 | 1.65 | 0.065 | 2.11 | 0.083 | 2.87 | 0.113 | 3.91 | 0.154 | 1.65 | 0.065 | 2.11 | 0.083 | - | - | 2.41 | 0.095 | 2.87 | 0.113 | 26.7 | 1.05 | 20 | 3/4 |
| 25 | 1 | 33.4 | 1.32 | 1.65 | 0.065 | 2.77 | 0.109 | 3.38 | 0.133 | 4.55 | 0.179 | 1.65 | 0.065 | 2.77 | 0.109 | - | - | 2.90 | 0.114 | 3.38 | 0.133 | 33.4 | 1.32 | 25 | 1 |
| 32 | 1¼ | 42.2 | 1.66 | 1.65 | 0.065 | 2.77 | 0.109 | 3.56 | 0.140 | 4.85 | 0.191 | 1.65 | 0.065 | 2.77 | 0.109 | - | - | 2.97 | 0.117 | 3.56 | 0.140 | 42.2 | 1.66 | 32 | 1¼ |
| 40 | 1½ | 48.3 | 1.9 | 1.65 | 0.065 | 2.77 | 0.109 | 3.68 | 0.145 | 5.08 | 0.200 | 1.65 | 0.065 | 2.77 | 0.109 | - | - | 3.18 | 0.125 | 3.68 | 0.145 | 48.3 | 1.9 | 40 | 1½ |
| 50 | 2 | 60.3 | 2.38 | 1.65 | 0.065 | 2.77 | 0.109 | 3.91 | 0.154 | 5.54 | 0.218 | 1.65 | 0.065 | 2.77 | 0.109 | - | - | 3.18 | 0.125 | 3.91 | 0.154 | 60.3 | 2.38 | 50 | 2 |
| 65 | 2½ | 73.0 | 2.88 | 2.11 | 0.083 | 3.05 | 0.120 | 5.16 | 0.203 | 7.01 | 0.276 | 2.11 | 0.083 | 3.05 | 0.120 | - | - | 4.78 | 0.188 | 5.16 | 0.203 | 73.0 | 2.88 | 65 | 2½ |
| 80 | 3 | 88.9 | 3.5 | 2.11 | 0.083 | 3.05 | 0.120 | 5.49 | 0.216 | 7.62 | 0.300 | 2.11 | 0.083 | 3.05 | 0.120 | - | - | 4.78 | 0.188 | 5.49 | 0.216 | 88.9 | 3.5 | 80 | 3 |
| 90 | 3½ | 101.6 | 4 | 2.11 | 0.083 | 3.05 | 0.120 | 5.74 | 0.226 | 8.08 | 0.318 | 2.11 | 0.083 | 3.05 | 0.120 | - | - | 4.78 | 0.188 | 5.74 | 0.226 | 101.6 | 4 | 90 | 3½ |
| 100 | 4 | 114.3 | 4.5 | 2.11 | 0.083 | 3.05 | 0.120 | 6.02 | 0.237 | 8.56 | 0.337 | 2.11 | 0.083 | 3.05 | 0.120 | - | - | 4.78 | 0.188 | 6.02 | 0.237 | 114.3 | 4.5 | 100 | 4 |
| 125 | 5 | 141.3 | 5.56 | 2.77 | 0.109 | 3.40 | 0.134 | 6.55 | 0.258 | 9.53 | 0.375 | 2.77 | 0.109 | 3.40 | 0.134 | - | - | - | - | 6.55 | 0.258 | 141.3 | 5.56 | 125 | 5 |
| 150 | 6 | 168.3 | 6.62 | 2.77 | 0.109 | 3.40 | 0.134 | 7.11 | 0.280 | 10.97 | 0.432 | 2.77 | 0.109 | 3.40 | 0.134 | - | - | - | - | 7.11 | 0.280 | 168.3 | 6.62 | 150 | 6 |
| 200 | 8 | 219.1 | 8.62 | 2.77 | 0.109 | 3.76 | 0.148 | 8.18 | 0.322 | 12.70 | 0.500 | 2.77 | 0.109 | 3.76 | 0.148 | 6.35 | 0.250 | 7.04 | 0.277 | 8.18 | 0.322 | 219.1 | 8.62 | 200 | 8 |
| 250 | 10 | 273.0 | 10.75 | 3.40 | 0.134 | 4.19 | 0.165 | 9.27 | 0.365 | 12.70 | 0.500 | 3.40 | 0.134 | 4.19 | 0.165 | 6.35 | 0.250 | 7.80 | 0.307 | 9.27 | 0.365 | 273.0 | 10.75 | 250 | 10 |
| 300 | 12 | 323.8 | 12.75 | 3.96 | 0.156 | 4.57 | 0.180 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 3.96 | 0.156 | 4.57 | 0.180 | 6.35 | 0.250 | 8.38 | 0.330 | 9.53 | 0.375 | 323.8 | 12.75 | 300 | 12 |
| 350 | 14 | 355.6 | 14 | 3.96 | 0.156 | 4.78 | 0.188 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 3.96 | 0.156 | 6.35 | 0.250 | 7.92 | 0.312 | 9.53 | 0.375 | 9.53 | 0.375 | 355.6 | 14 | 350 | 14 |
| 400 | 16 | 406.4 | 16 | 4.19 | 0.165 | 4.78 | 0.188 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 4.19 | 0.165 | 6.35 | 0.250 | 7.92 | 0.312 | 9.53 | 0.375 | 9.53 | 0.375 | 406.4 | 16 | 400 | 16 |
| 450 | 18 | 457 | 18 | 4.19 | 0.165 | 4.78 | 0.188 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 4.19 | 0.165 | 6.35 | 0.250 | 7.92 | 0.312 | 11.13 | 0.438 | 9.53 | 0.375 | 457 | 18 | 450 | 18 |
| 500 | 20 | 508 | 20 | 4.78 | 0.188 | 5.54 | 0.218 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 4.78 | 0.188 | 6.35 | 0.250 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 9.53 | 0.375 | 508 | 20 | 500 | 20 |
| 550 | 22 | 559 | 22 | 4.78 | 0.188 | 5.54 | 0.218 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 4.78 | 0.188 | 6.35 | 0.250 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 9.53 | 0.375 | 559 | 22 | 550 | 22 |
| 600 | 24 | 610 | 24 | 5.54 | 0.218 | 6.35 | 0.250 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 5.54 | 0.218 | 6.35 | 0.250 | 9.53 | 0.375 | 14.27 | 0.562 | 9.53 | 0.375 | 610 | 24 | 600 | 24 |
| 650 | 26 | 660 | 26 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.92 | 0.312 | 12.70 | 0.500 | - | - | 9.53 | 0.375 | 660 | 26 | 650 | 26 |
| 700 | 28 | 711 | 28 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.92 | 0.312 | 12.70 | 0.500 | 15.88 | 0.625 | 9.53 | 0.375 | 711 | 28 | 700 | 28 |
| 750 | 30 | 762 | 30 | 6.35 | 0.250 | 7.92 | 0.312 | 9.53 | 0.375 | 12.70 | 0.500 | 6.35 | 0.250 | 7.92 | 0.312 | 12.70 | 0.500 | 15.88 | 0.625 | 9.53 | 0.375 | 762 | 30 | 750 | 30 |
| 800 | 32 | 813 | 32 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.92 | 0.312 | 12.70 | 0.500 | 15.88 | 0.625 | 9.53 | 0.375 | 813 | 32 | 800 | 32 |
| 850 | 34 | 864 | 34 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.92 | 0.312 | 12.70 | 0.500 | 15.88 | 0.625 | 9.53 | 0.375 | 864 | 34 | 850 | 34 |
| 900 | 36 | 914 | 36 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.92 | 0.312 | 12.70 | 0.500 | 15.88 | 0.625 | 9.53 | 0.375 | 914 | 36 | 900 | 36 |
| 950 | 38 | 965 | 38 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.53 | 0.375 | 965 | 38 | 950 | 38 |
| 1000 | 40 | 1016 | 40 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.53 | 0.375 | 1016 | 40 | 1000 | 40 |
| 1050 | 42 | 1067 | 42 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.53 | 0.375 | 1067 | 42 | 1050 | 42 |
| 1100 | 44 | 1118 | 44 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.53 | 0.375 | 1118 | 44 | 1100 | 44 |
| 1150 | 46 | 1168 | 46 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.53 | 0.375 | 1168 | 46 | 1150 | 46 |
| 1200 | 48 | 1219 | 48 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.53 | 0.375 | 1219 | 48 | 1200 | 48 |

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ความหนาผนังท่อตามระบบ ASME B36.10

| Nominal Pipe Size (NPS) | | Outside Diameter | | Nominal Wall Thickness | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Nominal Pipe Size (NPS) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Sch40 | | Sch60 | | XS | | Sch80 | | Sch100 | | Sch120 | | Sch140 | | Sch160 | | XXS | | | | | |
| A | B | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | | | | |
| 6 | 1/4 | 13.7 | 0.540 | 2.24 | 0.088 | - | - | 3.02 | 0.119 | 3.02 | 0.119 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 6 | 1/4 |
| 10 | 3/8 | 17.1 | 0.675 | 2.31 | 0.091 | - | - | 3.20 | 0.126 | 3.20 | 0.126 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 10 | 3/8 |
| 15 | 1/2 | 21.3 | 0.840 | 2.77 | 0.109 | - | - | 3.73 | 0.147 | 3.73 | 0.147 | - | - | - | - | - | - | 4.78 | 0.188 | 7.47 | 0.294 | | | 15 | 1/2 |
| 20 | 3/4 | 26.7 | 1.05 | 2.87 | 0.113 | - | - | 3.91 | 0.154 | 3.91 | 0.154 | - | - | - | - | - | - | 5.56 | 0.219 | 7.82 | 0.308 | | | 20 | 3/4 |
| 25 | 1 | 33.4 | 1.32 | 3.38 | 0.133 | - | - | 4.55 | 0.179 | 4.55 | 0.179 | - | - | - | - | - | - | 6.35 | 0.250 | 9.09 | 0.358 | | | 25 | 1 |
| 32 | 1¼ | 42.2 | 1.66 | 3.56 | 0.140 | - | - | 4.85 | 0.191 | 4.85 | 0.191 | - | - | - | - | - | - | 6.35 | 0.250 | 9.70 | 0.382 | | | 32 | 1¼ |
| 40 | 1½ | 48.3 | 1.9 | 3.68 | 0.145 | - | - | 5.08 | 0.200 | 5.08 | 0.200 | - | - | - | - | - | - | 7.14 | 0.281 | 10.15 | 0.400 | | | 40 | 1½ |
| 50 | 2 | 60.3 | 2.38 | 3.91 | 0.154 | - | - | 5.54 | 0.218 | 5.54 | 0.218 | - | - | - | - | - | - | 8.74 | 0.344 | 11.07 | 0.436 | | | 50 | 2 |
| 65 | 2½ | 73.0 | 2.88 | 5.16 | 0.203 | - | - | 7.01 | 0.276 | 7.01 | 0.276 | - | - | - | - | - | - | 9.53 | 0.375 | 14.02 | 0.552 | | | 65 | 2½ |
| 80 | 3 | 88.9 | 3.5 | 5.49 | 0.216 | - | - | 7.62 | 0.300 | 7.62 | 0.300 | - | - | - | - | - | - | 11.13 | 0.438 | 15.24 | 0.600 | | | 80 | 3 |
| 90 | 3½ | 101.6 | 4 | 5.74 | 0.226 | - | - | 8.08 | 0.318 | 8.08 | 0.318 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 90 | 3½ |
| 100 | 4 | 114.3 | 4.5 | 6.02 | 0.237 | - | - | 8.56 | 0.337 | 8.56 | 0.337 | - | - | 11.13 | 0.438 | - | - | 13.49 | 0.531 | 17.12 | 0.674 | | | 100 | 4 |
| 125 | 5 | 141.3 | 5.56 | 6.55 | 0.258 | - | - | 9.53 | 0.375 | 9.53 | 0.375 | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | 15.88 | 0.625 | 19.05 | 0.750 | | | 125 | 5 |
| 150 | 6 | 168.3 | 6.62 | 7.11 | 0.280 | - | - | 10.97 | 0.432 | 10.97 | 0.432 | - | - | 14.27 | 0.562 | - | - | 18.26 | 0.719 | 21.95 | 0.864 | | | 150 | 6 |
| 200 | 8 | 219.1 | 8.62 | 8.18 | 0.322 | 10.31 | 0.406 | 12.70 | 0.500 | 12.70 | 0.500 | 15.09 | 0.594 | 18.26 | 0.719 | 20.64 | 0.812 | 23.01 | 0.906 | 22.23 | 0.875 | | | 200 | 8 |
| 250 | 10 | 273.0 | 10.75 | 9.27 | 0.365 | 12.70 | 0.500 | 12.70 | 0.500 | 15.09 | 0.594 | 18.26 | 0.719 | 21.44 | 0.844 | 25.40 | 1.000 | 28.58 | 1.125 | 25.40 | 1.000 | | | 250 | 10 |
| 300 | 12 | 323.8 | 12.75 | 10.31 | 0.406 | 14.27 | 0.562 | 12.70 | 0.500 | 17.48 | 0.688 | 21.44 | 0.844 | 25.40 | 1.000 | 28.58 | 1.125 | 33.32 | 1.312 | 25.40 | 1.000 | | | 300 | 12 |
| 350 | 14 | 355.6 | 14 | 11.13 | 0.438 | 15.09 | 0.594 | 12.70 | 0.500 | 19.05 | 0.750 | 23.83 | 0.938 | 27.79 | 1.094 | 31.75 | 1.250 | 35.71 | 1.406 | - | - | | | 350 | 14 |
| 400 | 16 | 406.4 | 16 | 12.70 | 0.500 | 16.66 | 0.656 | 12.70 | 0.500 | 21.44 | 0.844 | 26.19 | 1.031 | 30.96 | 1.219 | 36.53 | 1.438 | 40.49 | 1.594 | - | - | | | 400 | 16 |
| 450 | 18 | 457 | 18 | 14.27 | 0.562 | 19.05 | 0.750 | 12.70 | 0.500 | 23.83 | 0.938 | 29.36 | 1.156 | 34.93 | 1.375 | 39.67 | 1.562 | 45.24 | 1.781 | - | - | | | 450 | 18 |
| 500 | 20 | 508 | 20 | 15.09 | 0.594 | 20.62 | 0.812 | 12.70 | 0.500 | 26.19 | 1.031 | 32.54 | 1.281 | 38.10 | 1.500 | 44.45 | 1.750 | 50.01 | 1.969 | - | - | | | 500 | 20 |
| 550 | 22 | 559 | 22 | - | - | 22.23 | 0.875 | 12.70 | 0.500 | 28.58 | 1.125 | 34.93 | 1.375 | 41.28 | 1.625 | 47.63 | 1.875 | 53.98 | 2.125 | - | - | | | 550 | 22 |
| 600 | 24 | 610 | 24 | 17.48 | 0.688 | 24.61 | 0.969 | 12.70 | 0.500 | 30.96 | 1.219 | 38.89 | 1.531 | 46.02 | 1.812 | 52.37 | 2.062 | 59.54 | 2.344 | - | - | | | 600 | 24 |
| 650 | 26 | 660 | 26 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 650 | 26 |
| 700 | 28 | 711 | 28 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 700 | 28 |
| 750 | 30 | 762 | 30 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 750 | 30 |
| 800 | 32 | 813 | 32 | 17.48 | 0.688 | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 800 | 32 |
| 850 | 34 | 864 | 34 | 17.48 | 0.688 | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 850 | 34 |
| 900 | 36 | 914 | 36 | 19.05 | 0.750 | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 900 | 36 |
| 950 | 38 | 965 | 38 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 950 | 38 |
| 1000 | 40 | 1016 | 40 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 1000 | 40 |
| 1050 | 42 | 1067 | 42 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 1050 | 42 |
| 1100 | 44 | 1118 | 44 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 1100 | 44 |
| 1150 | 46 | 1168 | 46 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 1150 | 46 |
| 1200 | 48 | 1219 | 48 | - | - | - | - | 12.70 | 0.500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 1200 | 48 |

# 3.2 ส่วนข้อกำหนดสำหรับหม้อน้ำชนิดท่อน้ำ :

# Part PWT

**หลักเกณฑ์ทั่วไป**

**PWT-1** กฎเกณฑ์ต่างๆ ที่ระบุไว้ใน Part PWT นี้จะต้องนำไปใช้กับหม้อน้ำชนิดท่อน้ำรวมถึงอุปกรณ์ต่างๆในหม้อน้ำชนิดนี้ โดยจะต้องใช้ร่วมกับข้อกำหนดทั่วไปที่ระบุไว้ใน Part PG รวมถึงข้อกำหนดพิเศษต่างๆ ที่อาจจะต้องมีเพิ่มเติม สำหรับชิ้นส่วนบางชิ้นในแง่ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนนั้นๆ กฎเกณฑ์ใน part PWT นี้ จะไม่นำไปบังคับใช้กับการเดินระบบท่อที่อยู่นอกเหนือจากหม้อน้ำนี้

**PWT-5 วัสดุที่ใช้**

**PWT-5.1** วัสดุที่ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนที่อยู่ภายใต้ความดันของหม้อน้ำแบบท่อน้ำนั้น จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ใน Section II และกำหนดไว้ด้วยว่าต้องเป็นวัสดุที่มีค่าของ Allowable stress ปรากฏอยู่ใน ตาราง 1A และ 1B ของ Section II, Part D (ตารางในภาคผนวก ค-1) สำหรับการสร้างใน Section I หากวัสดุไม่เป็นไปตามข้อกำหนดใน ASME section II จะต้องดำเนินการตามที่ระบุไว้ใน Part PG-10 และ Part PWT ที่เกี่ยวข้อง

**PWT-5.2** Mud drum ของหม้อน้ำจะต้องเป็นเหล็กกล้า จำพวกwrought steel หรือเหล็กหล่อดังที่ได้ระบุไว้ใน SA-216

**การออกแบบ**

**PWT-8** กฎเกณฑ์ตามที่ให้ไว้ต่อไปนี้จะใช้เฉพาะสำหรับการออกแบบหม้อน้ำชนิดท่อน้ำและชิ้นส่วนต่างๆในหม้อน้ำชนิดนี้ โดยจะต้องใช้ร่วมกับข้อกำหนดทั่วไปที่ระบุไว้ใน Part PG รวมถึงข้อกำหนดพิเศษต่างๆ ที่อาจจะต้องมี สำหรับชิ้นส่วนบางชิ้น ในแง่ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนนั้นๆ

**PWT-9 ท่อ**

**PWT-9.1** ชุดอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ (Economizer), ท่อน้ำในส่วนเดือด (boiler generator) และท่อส่วนไอดง (super heater) จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ที่ระบุไว้ใน PG-9

**PWT-9.2** ท่อเหล็กกล้าชนิดไร้ตะเข็บที่อยู่ภายใต้ NPS 1 1/2 (DN 40) ซึ่งเป็นไปตาม SA-53 หรือ SA-106 สามารถนำมาทำเกลียวเพื่อใช้เป็น tubesheet หรือ drum หรือ fitting ของหม้อน้ำชนิดท่อน้ำได้ ในกรณีที่ fitting ทำจากเหล็กกล้า ตัว fitting นั้นจะต้องห่อหุ้มเกลียวไว้ทั้งหมด

**PWT9.3** ท่อที่มีการติดตั้ง fusible plug นั้นควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 0.22 นิ้ว (5.6มม.) ณ บริเวณที่มีการติดตั้ง fusible plug นั้น เพื่อที่จะให้แน่ใจได้ว่า plug จะกินระยะเต็มจำนวนสี่ช่วงเกลียว (ดู A-20 ประกอบ)

**PWT-10** ความหนาของผนังท่อ

**PWT-10.1** ความหนาของท่อต่ำสุด ณ ความดันที่อนุญาตให้ใช้งานสูงสุด สำหรับท่อเหล็กกล้าคาร์บอน หรือท่ออัลลอยด์ รวมทั้ง nipple ต่างๆนั้น จะขึ้นอยู่กับ ความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อหรืออุปกรณ์เหล่านั้น ซึ่งหาได้ด้วยการคำนวณที่ต้องเป็นไปตาม PG-27.2.1

**PWT-10.2** ในกรณีที่เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของส่วนที่รับความดันในหม้อน้ำมีมากกว่า 5 นิ้ว (125มม.) ความหนาต่ำสุดสามารถคำนวณได้จากสูตร ใน PG-27.2.2

**PWT-10.3** สำหรับท่อที่ทำจากวัสดุตามที่ระบุไว้ เราสามารถใช้ตาราง PW-10 ที่ได้แนวทางการกำหนดขนาดมาจากสูตรคำนวณ มาใช้ในการกำหนดค่าความหนาต่ำสุดของท่อที่นำไปเบ่งเพื่อยึดใน Drum หรือ Header ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงสุดในการใช้งาน ต้องไม่เกิน 700 $^{\circ}$F (370$^{\circ}$C)

**PWT-11** การเชื่อมต่อของท่อท่อ หรือ Nipple ต่างๆ สามารถยึดติดกับ Shell, Head, Header ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้

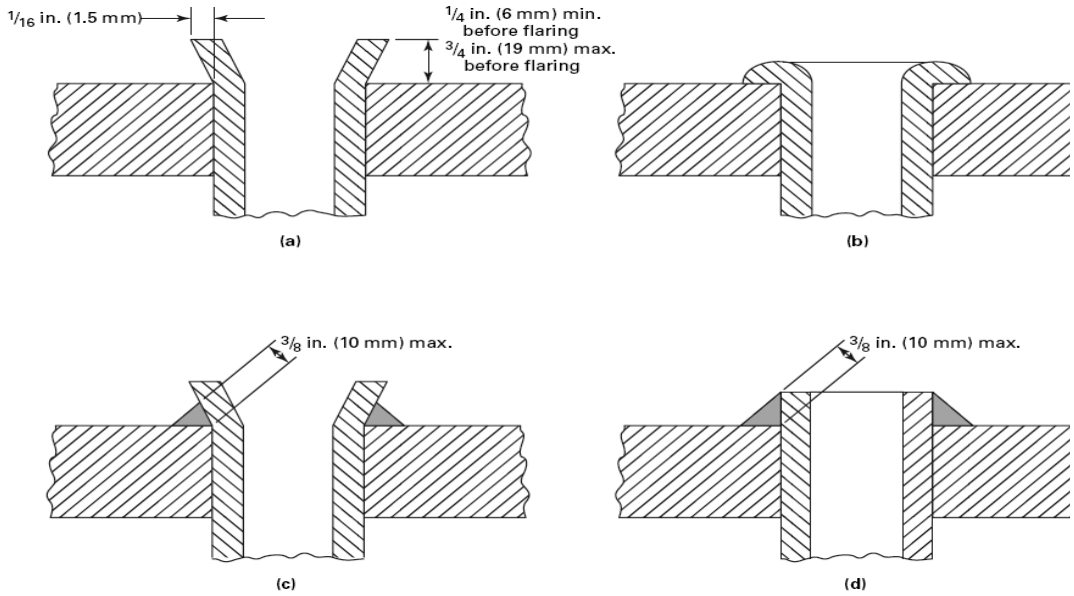
**PWT-11.1** ท่อสามารถยึดติดได้ด้วยวิธีการเบ่งให้ขยายออก ทำเป็นปากแตร (flare) หรือการเชื่อมโดยอาจมีการใช้เทคนิดดังกล่าวร่วมกัน ดังที่แสดง ในรูป PWT-11

(a) การเบ่งให้ขยายออก และการทำเป็น flare (ดังรูป 3.3(a))

(b) การแบ่ง และการย้ำที่ปลาย (ดังรูป 3.3(b)

(c) การเบ่งให้ขยายออก การทำเป็น flare และ การเชื่อมผนึก จากนั้นทำการเบ่งอีกครั้งหลังจากการเชื่อม(ดังรูป 3.3(c))

(d) การเบ่งให้ขยายออก การเชื่อมผนึก จากนั้นทำการเบ่งอีกครั้งหลังจากการเชื่อม (ดังรูป 3.3(d))




**รูปที่ 3.3** ตัวอย่างของลักษณะที่ยอมรับได้ในการยึดติดกันของท่อกับ Header ที่มา: ASME section I 2004 Edition Part PWT (PWT-11)

ตารางที่ 3.4 ตาราง PWT-10 ค่าความดันใช้งานสูงสุดที่อนุญาตสำหรับท่อเหล็กกล้าไร้รอยต่อ และท่อที่มีตะเข็บรอยเชื่อมแบบใช้ความต้านทานทางไฟฟ้า รวมถึงNipple ต่างๆ สำหรับการใช้งานในหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ที่ถูกนำมาเบ่งเพื่อยึดติดกับ Drum หรือ Header ที่เป็นไปตามข้อกำหนดใน SA-178 เกรด A, SA-192 และ SA-266

U.S. Customary Units

| Wall Thickness, In. | Nearest Bwg. No. | Tube Outside Diameter, In. | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1/3 | 3/4 | 1 | 1 1/8 | 1 1/4 | 1 1/2 | 1 3/4 | 2 | 2 1/4 | 2 1/2 | 2 3/4 | 3 | 3 1/4 | 3 1/2 | 3 3/4 | 4 | 4 1/2 | 5 |
| 0.055 | 17 – | 640 | 380 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 0.065 | 16 | 1,170 | 730 | 510 | 440 | 380 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 0.075 | 15 + | 1,730 | 1,080 | 770 | 670 | 590 | 470 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 0.085 | 14 + | ... | 1,450 | 1,040 | 900 | 800 | 640 | 525 | 442 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 0.095 | 13 | ... | ... | ... | 2,140 | 1,900 | 820 | 680 | 580 | 500 | 430 | 380 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 0.105 | 12 – | ... | ... | ... | ... | 2,130 | 1,730 | 1,450 | 1,240 | 610 | 540 | 480 | 420 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 0.120 | 11 | ... | ... | ... | ... | ... | 2,020 | 1,690 | 1,450 | 1,260 | 1,120 | 1,000 | 900 | 500 | 460 | 420 | ... | ... | ... |
| 0.135 | 10 + | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 1,930 | 1,660 | 1,450 | 1,280 | 1,150 | 1,040 | 950 | 870 | 800 | 740 | ... | ... |
| 0.150 | 9 + | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,180 | 1,870 | 1,630 | 1,450 | 1,300 | 1,170 | 1,070 | 980 | 900 | 840 | 730 | 640 |
| 0.165 | 8 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,090 | 1,820 | 1,620 | 1,450 | 1,310 | 1,190 | 1,100 | 1,010 | 940 | 820 | 720 |
| 0.180 | 7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,020 | 1,790 | 1,600 | 1,450 | 1,320 | 1,210 | 1,120 | 1,040 | 900 | 800 |
| 0.200 | 6 – | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,020 | 1,810 | 1,630 | 1,490 | 1,370 | 1,260 | 1,170 | 1,020 | 900 |
| 0.220 | 5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,020 | 1,820 | 1,660 | 1,530 | 1,410 | 1,310 | 1,140 | 1,010 |
| 0.240 | 4 + | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,020 | 1,840 | 1,690 | 1,560 | 1,450 | 1,260 | 1,120 |
| 0.260 | 3 + | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,020 | 1,850 | 1,710 | 1,590 | 1,390 | 1,230 |
| 0.280 | 2 – | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,200 | 2,020 | 1,860 | 1,730 | 1,510 | 1,340 |
| 0.300 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,180 | 2,020 | 1,870 | 1,630 | 1,450 |
| 0.320 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,170 | 2,020 | 1,760 | 1,560 |
| 0.340 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,160 | 1,890 | 1,670 |
| 0.360 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,020 | 1,790 |
| 0.380 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,140 | 1,900 |
| 0.400 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,020 |
| 0.420 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,130 |

*(continued)*

ที่มา: ASME section I 2004 Edition part PWT

| SI Units (MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wall Thickness, mm | Nearest Bwg. No. | Tube Outside Diameter, mm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 1.5 | 17 – | 6.3 | 4.8 | 3.4 | 2.5 | 2.0 | 1.6 | 1.3 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | ... | ... | ... | ... |
| 1.8 | 16 | 11.0 | 8.5 | 6.1 | 4.7 | 3.7 | 3.1 | 2.6 | 2.2 | 1.9 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | ... | ... | ... | ... |
| 2 | 15 + | 14.3 | 11.1 | 8.0 | 6.1 | 4.9 | 4.1 | 3.5 | 3.0 | 2.6 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 0.9 | 0.7 | 0.6 |
| 2.2 | 14 + | 17.7 | 13.7 | 9.8 | 7.6 | 6.2 | 5.1 | 4.4 | 3.8 | 3.3 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.2 | 1.0 | 0.9 |
| 2.5 | 13 | 43.7 | 33.0 | 23.4 | 18.0 | 14.6 | 6.7 | 5.7 | 5.0 | 4.4 | 3.9 | 3.5 | 3.2 | 2.9 | 2.6 | 2.4 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.3 |
| 2.8 | 12 – | 50.6 | 38.0 | 26.7 | 20.5 | 16.6 | 13.9 | 11.9 | 10.4 | 9.2 | 4.9 | 4.4 | 4.0 | 3.6 | 3.3 | 3.1 | 2.6 | 2.3 | 2.0 | 1.8 |
| 3 | 11 | 55.5 | 41.5 | 29.0 | 22.3 | 18.0 | 15.1 | 12.9 | 11.3 | 10.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.1 | 3.8 | 3.5 | 3.0 | 2.6 | 2.3 | 2.0 |
| 3.5 | 10 + | 68.8 | 50.6 | 35.1 | 26.7 | 21.5 | 18.0 | 15.4 | 13.5 | 11.9 | 10.7 | 9.7 | 8.8 | 8.1 | 7.5 | 6.9 | 6.0 | 5.3 | 3.1 | 2.8 |
| 4 | 9 + | 83.6 | 60.6 | 41.5 | 31.4 | 25.2 | 21.0 | 18.0 | 15.7 | 13.9 | 12.5 | 11.3 | 10.3 | 9.5 | 8.7 | 8.1 | 7.1 | 6.3 | 5.6 | 5.0 |
| 4.5 | 8 | ... | 71.6 | 48.3 | 36.3 | 29.0 | 24.2 | 20.6 | 18.0 | 15.9 | 14.3 | 12.9 | 11.8 | 10.8 | 10.0 | 9.3 | 8.1 | 7.2 | 6.4 | 5.8 |
| 5 | 7 | ... | 83.6 | 55.5 | 41.5 | 33.0 | 27.4 | 23.4 | 20.3 | 18.0 | 16.1 | 14.6 | 13.3 | 12.2 | 11.3 | 10.5 | 9.2 | 8.1 | 7.3 | 6.6 |
| 5.5 | 6 – | ... | ... | 63.3 | 46.9 | 37.2 | 30.7 | 26.2 | 22.8 | 20.1 | 18.0 | 16.3 | 14.8 | 13.6 | 12.6 | 11.7 | 10.2 | 9.0 | 8.1 | 7.3 |
| 6 | 5 | ... | ... | 71.6 | 52.6 | 41.5 | 34.2 | 29.0 | 25.2 | 22.3 | 19.9 | 18.0 | 16.4 | 15.1 | 13.9 | 12.9 | 11.3 | 10.0 | 9.0 | 8.1 |
| 7 | 4 + | ... | ... | 90.1 | 64.9 | 50.6 | 41.5 | 35.1 | 30.4 | 26.7 | 23.9 | 21.5 | 19.6 | 18.0 | 16.6 | 15.4 | 13.5 | 11.9 | 10.7 | 9.7 |
| 8 | 3 + | ... | ... | ... | 78.7 | 60.6 | 49.3 | 41.5 | 35.8 | 31.4 | 28.0 | 25.2 | 22.9 | 21.0 | 19.4 | 18.0 | 15.7 | 13.9 | 12.5 | 11.3 |
| 9 | 2 – | ... | ... | ... | ... | 71.6 | 57.7 | 48.3 | 41.5 | 36.3 | 32.3 | 29.0 | 26.4 | 24.2 | 22.3 | 20.6 | 18.0 | 15.9 | 14.3 | 12.9 |
| 10 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 83.6 | 66.8 | 55.5 | 47.5 | 41.5 | 36.8 | 33.0 | 30.0 | 27.4 | 25.2 | 23.4 | 20.3 | 18.0 | 16.1 | 14.6 |
| 12 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 45.4 | 41.5 | 37.5 | 34.2 | 31.4 | 29.0 | 25.2 | 22.3 | 19.9 | 18.0 |

GENERAL NOTES:

(a) These values have been calculated by the formula in PG-27.2.1, using allowable stress values at a temperature of 700°F (371°C), from Table 1A of Section II, Part D. Values above the solid line include an additional thickness of 0.04 in. (1.02 mm) to compensate for thinning of tube ends due to the expanding process.

(b) Where calculated allowable working pressures exceeded an even unit of 10 by more than 1, the next higher unit of 10 is given in the table.

ที่มา: ASME section I 2004 Edition part PWT

(a) ค่าในตารางนี้ได้มาจากการคำนวณด้วยสูตร ใน PG-27.2.1 โดยใช้ค่าความเค้นอนุญาตที่อุณหภูมิ 700°F (371°C)ซึ่งได้จากตาราง 1A ใน Section II, PartD. ค่าตัวเลขที่อยู่เหนือเส้นทึบได้รวมความหนาส่วนเพิ่ม 0.04 นิ้ว(1.02มม.) เพื่อชดเชยการลดความหนาอันเกิดจากการยืดออกที่ปลายท่อไว้แล้ว

(b) ในตารางของ U.S. customary unit กรณีที่ผลการคำนวณค่าความดันที่อนุญาตให้ใช้งานได้ตามสูตรมีค่าเกินหลัก 10 อยู่มากกว่า 1 ให้ปัดขึ้นเพื่อใช้ค่าของท่อที่ความดันที่หลัก 10 ที่สูงกว่าถัดไป

นอกจากนี้ ที่ปลายของท่อทุกอันที่มีการทำปาก flare ควรยื่นผ่านเข้าไปในชิ้นส่วนที่ยึดติดหรือ header ไม่น้อยกว่า 1/4 นิ้ว (6 มม.) และต้องไม่เกิน 3/4 นิ้ว (19 มม.) ก่อนที่จะทำ flare ในกรณีที่ท่อเข้ายึดติดในลักษณะทำมุมไม่เป็นมุมฉาก ระยะที่อ้างอิงสำหรับขีดจำกัดสูงสุด ซึ่งคือ 3/4 นิ้วนั้น ให้หมายถึงระยะภาพฉายตกกระทบในแนวตั้งฉากกับแนวของ tube sheet โดยวัดจากขอบปากท่อด้านต่ำสุด สำหรับท่อที่ทำการเบ่งขยายโดยปราศจากการเชื่อมผนึกนั้น ควรทำการ flare จนขอบด้านนอกของปาก flare มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูเจาะที่ผ่านท่อเข้ามาไม่น้อยกว่า 1/8 นิ้ว (3มม.) สำหรับท่อที่มีการเชื่อมผนึกด้วยนั้น ขนาดสูงสุดของเนื้อเหล็กที่เชื่อมผนึก ณ บริเวณรอยต่อ ควรมีค่าอยู่ที่ $^{3}/_{8}$ นิ้ว (10 มม.)

**PWT-11.2** ท่อในส่วนของ superheater, reheater, waterwall หรือ ท่ออุ่นอากาศ (economizer) หากจะมีการยึดติดด้วยการเชื่อมกับ manifold หรือ header หรือ drum และมีการอุดที่ปลายหรือจะมีการเชื่อมตามรอยต่อที่ใดก็ตาม หากเป็นการเชื่อมที่ปราศจากการทำ flaring ดังที่กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ ก็ให้เป็นไปตาม ข้อกำหนดใน PW-15 และ PW-16 โดยรอยเชื่อมเหล่านั้นควรมีการอบด้วยความร้อนหลังการเชื่อม ซึ่งมีการระบุไว้ใน PW-39

**PWT-11.3** ท่อที่นำมาใช้นั้น หากเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ใน PWT-9.2 ก็สามารถนำมายึดติดกันด้วยการทำเกลียวแทนที่จะใช้วิธีการข้างต้นได้ แต่ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด PG-39.5

**PWT-11.4** สำหรับท่อน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อไม่เกิน 2 นิ้ว (50 มม.) อาจทำการเชื่อมไว้กับ หัว ferrule แบบ tapered ที่มีการยึดติดกับ drum แบบ interference fit ทั้งนี้นอกจากการต่อแบบ interference fit แล้ว ตัวหัว ferrule ควรถูกยึดให้เข้าที่ไว้ด้วยตัว retainer clamp ซึ่งยึดติดไว้กับ drum อย่างแข็งแรงด้วย stud bolts การเชื่อมแบบ fillet ไม่ควรนำมาใช้ในการยึดติดท่อไว้กับหัว ferrule หากแนวการเชื่อมต่อนั้นมีการสัมผัสกับก๊าซร้อนจากเตาเผา นอกจากนี้ ตัว stud bolt ที่ถูกเชื่อมนั้น จะต้องเป็นไปตาม PW-273 และ PW-28.6

ในกรณีที่รูเจาะถูกทำเกลียวไว้สำหรับการขันเกลียวเพื่อยึด stud ตัว stud bolt จะต้องเป็นไปตาม PG-39.4 ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่น้อยที่สุดของตัว stud ในส่วนที่เหลืออยู่หรือที่ยื่นออกมา ควรถูกกำหนดโดยสมการต่อไปนี้ และไม่ควรมีขนาดน้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของ stud ที่มีขนาด 3/8 นิ้ว (10มม.)

$$A = 0.25\pi D^2 NP / S$$

เมื่อ

A= พื้นที่ของ stud ในส่วนที่เรียกว่า root area

D= เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัว ferrule ณตำแหน่งพื้นผิวด้านในของ Drum

N=จำนวนของตำแหน่งที่มีการยึดด้วย stud

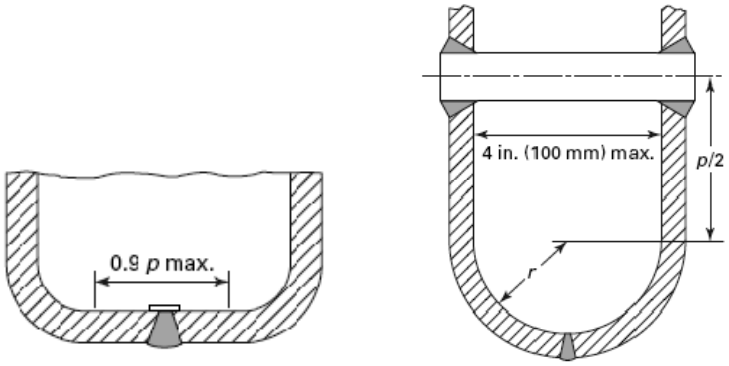
P=ความดันใช้งาน

S= ค่าของความเค้นอนุญาตของวัสดุที่ใช้ทำ stud ณ อุณหภูมิที่ใช้งาน

**PWT-12 Stay bolting Box-type headers** แผ่นเหล็กด้านหน้าและด้านหลังของ Header แบบ Box-type ที่มีการยึดโยงกันด้วย Stay bolt นั้นอาจมีเชื่อมต่อเข้าด้วยกันได้ หากเข้าเงื่อนไขต่อไปนี้

**PWT-12.1** ส่วนที่ราบเรียบของ header ดังที่แสดงไว้ในรูป PWT-12.1 มีขนาดไม่เกิน ร้อยละ 90 ของระยะ pitch ที่ อนุญาตให้ใช้ตามที่ระบุไว้ใน PG-46 โดยรอยเชื่อมต้องถูกตรวจสอบด้วยคลื่นรังสี พร้อมทั้งมีการอบด้วยความร้อนหลังการเชื่อม หรือPWT-12.2 ความกว้างด้านในของ header ในส่วนที่เรียกว่า waterleg มีค่าไม่เกิน 4 นิ้ว (100มม.) (รูป PWT-12.2) โดยที่ระยะทางจากตำแหน่งที่เชื่อมไปยังแถวที่ไกล้ที่สุดที่มีการยึดโยงด้วย stay bolt นั้นจะต้องไม่มากกว่า $\frac{p}{2}+r$ เมื่อ p คือระยะ pitch ที่อนุญาตให้ใช้ตามที่ระบุไว้ใน PG-46 และ r คือ รัศมีความโค้งของ waterleg มีหน่วยเป็นนิ้ว ทั้งนี้ ต้องมีค่าไม่เกิน 2 นิ้ว (50มม.)

นอกจากนี้ ความดันใช้งานต้องไม่เกิน 200 psi (1.5 MPa) รอยเชื่อมจะต้องไม่สัมผัสกับก๊าซไอเสีย หลังจากการเชื่อมจะต้องมีกระบวนการอบร้อน การเชื่อมในลักษณะนี้ไม่จำเป็นต้องทำการตรวจสอบด้วยคลื่นรังสี




**รูปที่ 3.4** (a) PWT-12.1การเชื่อมต่อ joint ใน header ชนิด box-type และรูป (b) PWT-12.2 การเชื่อมต่อ joint เพื่อทำเป็นส่วนที่เรียกว่า Water leg

**PWT-13 การทำ Stay ในแต่ละ segment ของ head** กฏเกณฑ์ที่ระบุไว้ใน PFT-25.2 สามารถนำมาใช้พิจารณาได้ว่าจำเป็นต้องใช้ stay หรือไม่

**PWT-14 Firing door** หม้อน้ำชนิดท่อน้ำควรมีประตู firing door แบบที่ผลักเข้าด้านใน หรือไม่เช่นนั้นประตูจะต้องมีอุปกรณ์หรือกลไกการล๊อคที่แข็งแรงเพียงพอที่จะทนแรงกระแทก

จากด้านในหากมีการระเบิดของเตาเกิดขึ้น ลักษณะของอุปกรณ์หรือกลไกนี้จะต้องเป็นแบบที่ล็อคได้ด้วยตัวเอง กลไกที่มีลักษณะของการล๊อคด้วยแรงเสียดทานหรือแบบของสกรูที่ส่งผ่านแรงในการล็อคโดยสปริงนั้นไม่ควรนำมาใช้ อย่างไรก็ดี ข้อกำหนดนี้อาจยกเว้นไว้สำหรับช่องที่ใช้ในการป้อนถ่านหินในเตาเผาแบบ downdraft หรือในเตาเผาที่มีลักษณะคล้ายกัน
สำหรับประตูในจุดอื่นๆ ที่ไม่ได้ใช้ในการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อสร้างเปลวไฟให้กับหม้อน้ำก็ควรเป็นแบบที่มีกลไกการล๊อคหรือยึดด้วยสกรูที่แข็งแรงทนแรงกระแทกจากการระเบิดได้เช่นเดียวกัน
สำหรับประตูที่ใช้ระบายความดันจากการระเบิดนั้น หากได้มีการกำหนดไว้ในแบบ และติดตั้งอยู่ที่ผนังเตาที่มีระยะห่างจากช่องป้อนเชื้อเพลิง หรือบริเวณที่ผู้ควบคุมหม้อน้ำทำงานอยู่น้อยกว่า 7 ฟุต (2.1m) ก็ควรต้องมีผนังกั้นไว้ เพื่อเบี่ยงแรงอัดจากการระเบิดไปในทางอื่น

**PWT-15** ประตูในการเข้าถึงด้านในของเตาและประตูป้อนเชื้อเพลิงขนาดของประตูที่เล็กที่สุดสำหรับเตาเผาที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 24 นิ้ว (600 มม.) ควรต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า12 นิ้วx16 นิ้ว (300มม.x410มม.) หรือ ลักษณะอื่นที่มีพื้นที่เท่าเทียมกัน ทั้งนี้ทั้งนั้น ขนาด 11 นิ้ว(280มม.) เป็นขนาดที่เล็กที่สุดไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ในกรณีที่ประตูมีลักษณะกลม เส้นผ่านศูนย์กลางของประตูควรต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 15 นิ้ว (380 มม.)
สำหรับเตาเผาที่มีขนาดเล็กว่า 24 นิ้ว (600มม.) ขนาดของช่องประตูควรเป็น 2 ¾ นิ้วx 3 ½ นิ้ว (70มม. x 89มม.) หรือมากกว่า หากเป็นไปได้ ในกรณีที่ขนาดและรูปร่างของเตาเผาเป็นตัวจำกัดขนาดของประตู อาจใช้การทำประตู 2 บาน โดยมีขนาดอย่างน้อย 1 นิ้ว (25มม.) โดยควรมีตำแหน่งตรงข้ามกัน เพื่อใช้ในการตรวจสอบต่างๆและใช้ในการทำความสะอาดเตาเผา ถ้าหัวเผาเป็นแบบที่ถอดออกได้ และช่องดังกล่าวสามารถใช้เป็นช่องในการเข้าถึงผนังด้านในของเตาเผาเพื่อการตรวจสอบและการทำความสะอาด ช่องประตูที่กล่าวถึงนี้ก็ไม่มีความจำเป็นต้องมี

# 3.3 ส่วนข้อกำหนดสำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ

**หลักเกณฑ์ทั่วไป**

**PFT-1 หลักเกณฑ์ทั่วไป** ข้อกำหนดในบทเรื่อง PFT พึงนำไปใช้กับหม้อน้ำแบบท่อไฟ และส่วนประกอบต่างๆ โดยใช้ร่วมกับข้อกำหนดทั่วไปในบท PG อีกทั้งต้องใช้ร่วมกับข้อกำหนดเฉพาะต่างๆ ที่ต้องใช้กับชิ้นส่วนที่นำมาประกอบเป็นหม้อน้ำชนิดนี้

**วัสดุ อุปกรณ์**

**PFT-5** หลักเกณฑ์ทั่วไป

**PFT-5.1** วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างส่วนที่ควบคุมความดันของหม้อน้ำแบบท่อไฟนั้น สอดคล้องกับข้อใดข้อหนึ่งของรายละเอียดในหัวข้อที่ 2 ซึ่งค่าแรงกดดันที่ใช้ได้ ระบุไว้ใน ตาราง 1A และ 1B ใน Section 2 Part D หรือไม่เช่นนั้น จะระบุไว้เป็นการเฉพาะในบท PG และ PFT

**PFT-5.2** แหวนรัด Waterleg และ Doorframe ของหม้อน้ำแบบท่อไฟแนวตั้งและของหม้อน้ำชนิดต่างๆ จะต้องทำจากเหล็กบริสุทธิ์ หรือเหล็กที่คัดเลือกมาตามหัวข้อ SA-216 ในส่วนประกอบที่เป็นรูปตัว S หรือในส่วนขอบนั้นสามารถใช้วัสดุอื่นแทนได้ตามความเหมาะสม

**การออกแบบ**

**PFT-8 หลักเกณฑ์ทั่วไป** ข้อกำหนดเฉพาะในเรื่องของการออกแบบหม้อน้ำแบบท่อไฟ และส่วนประกอบอื่นนั้น พึงใช้ร่วมกับข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการออกแบบในบท PG และต้องใช้ร่วมกับข้อกำหนดเฉพาะสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในหัวข้อของการนำไปใช้ของเรื่องนี้

**PFT-9** ข้อกำหนดเกี่ยวกับความหนา

**PFT-9.1** ความหนาของตัวหม้อน้ำและฝาหม้อน้ำ พิจารณาตามข้อกำหนดในบทเรื่อง PG แต่ควรจะไม่น้อยไปกว่าค่าที่กำหนดไว้ตามตาราง

ตารางที่ 3.5 ความหนาตัวหม้อน้ำสำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ

| **เส้นผ่าศูนย์กลางภายในตัวหม้อหรือฝา** นิ้ว (มม.) | **ความหนาที่น้อยที่สุด** นิ้ว (มม.) |
|---|---|
| 36 (900) หรือน้อยกว่า | $^1/_4$ (6) |
| มากกว่า 36 (900) ถึง 54 (1350) | $^5/_{16}$ (8) |
| มากกว่า 54 (1350) ถึง 72 (1800) | $^3/_8$ (10) |
| มากว่า 72 (1800) | $^1/_2$ (13) |

**PFT-9.2 Tubesheet**

**PFT-9.2.1** ความหนาของ tubesheet พิจาราณาตามบทเรื่อง PG และ PFT แต่ไม่ควรจะน้อยไปกว่าค่าที่กำหนดไว้ตามตาราง

ตารางที่ 3.5 ความหนาของ tubesheet สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟ

| **เส้นผ่าศูนย์กลางภายในตัวหม้อน้ำ** นิ้ว (มม.) | **ความหนาที่น้อยที่สุด.** นิ้ว (มม.) |
|---|---|
| 42 (1100) หรือน้อยกว่า | $^{3}/_{8}$ (10) |
| มากกว่า 42 (1100) ถึง 54 (1350) | $^{7}/_{16}$ (8) |
| มากกว่า 54 (1350) ถึง 72 (1800) | $^{1}/_{2}$ (10) |
| มากว่า 72 (1800) | $^{9}/_{16}$ (13) |

**PFT-9.2.2** เมื่อเชื่อมตัวหม้อของหม้อน้ำแบบท่อไฟแล้ว tubesheet ที่มีขอบตรงยาวมากกว่า 1.5 เท่านั้น ความหนาของ tubesheet จะมีขอบตรงหนาไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดใน ตาราง PFT-9.2.1 แต่ไม่ควรมีความหนาน้อยกว่า 0.75 เท่าของความหนาของตัวหม้อน้ำ

**PFT-10** ข้อต่อของตัวหม้อน้ำ ข้อต่อที่เชื่อมอยู่ในแนวยาวและในแนวเส้นรอบวงของตัวหม้อ ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในบทเรื่อง PW

**PFT-11** การยึดหน้าแปลน (Flat head) และ Tubesheet การยึดติดของหน้าแปลนและ tubesheet ของหม้อน้ำแบบท่อไฟนั้นสามาถทำได้ตามวิธีดังนี้

**PFT-11.2** เมื่อขอบถูกยึดด้วยการเชื่อมที่ไม่มีร่อง ตามบทเรื่อง PG และ PW

**PFT-11.3** เมื่อมีการยึดติดของ tubesheet ยื่นออกหรือยื่นเข้ามาที่ตัวหม้อน้ำ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

**PFT-11.3.1** Tubesheet ต้องได้รับการหนุนด้วยท่อ เหล็กยึด หรือทั้งสองอย่าง

**PFT-11.3.2** ข้อต่อที่ยึด tubesheet ที่ปลายยื่นออกไปด้านนอกนั้น ข้อต่อทั้งหมดจะต้องยึดอยู่ภายในตัวหม้อ

**PFT-11.3.3** Tubesheet ที่ปลายยื่นเข้ามาจะต้องเชื่อมทั้งด้านในและด้านนอก

**PFT-11.3.4** ในการเชื่อมนั้น จะต้องเชื่อมลึกลงไปไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.7 เท่าของความหนาของส่วนหัว

**PFT-11.3.5** ตัวหม้อที่ผ่านการเชื่อมโลหะ จะต้องไม่สัมผัสกับเตาเผาในส่วนที่มีอุณหภูมิเกิน 455°C

**PFT-11.3.6** ในการสร้างนั้นจะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องในบทนี้ทั้งหมด รวมถึงหัวข้อด้านการเชื่อมโลหะ และวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อม แต่ไม่ต้องมีการทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสี

**PFT-11.3.7** ในการสร้างหม้อน้ำนั้นไม่ควรใช้ท่อแนวนอนหัวกลับ กับทางด้านหลังของหัวของหม้อน้ำ และ tubesheet ที่มีปลายยื่นมาด้านในไม่ควรใช้ในการขยายขนาดหม้อน้ำ

**PFT-11.3.8** สำหรับ tubesheet ที่มีปลายยื่นออกมานั้น ความยาวของปลายจะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนด PW-13 และระยะห่างของจุดที่เชื่อมอยู่ด้านนอกถึงจุดสัมผัสของรัศมีของข้อต่อไม่ควรน้อยกว่า 1/4 นิ้ว (6 มม.)

**PFT-11.4** สำหรับในการเชื่อม t ubesheet ที่ไม่มีปลายยื่นนั้น ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด PFT-11.4.1 ถึง PFT-11.4.7 ต่อไปนี้

**PFT-11.4.1** Tubesheet ต้องได้รับการหนุนด้วยท่อ เหล็กยึด หรือทั้งสองอย่าง

**PFT-11.4.2** ข้อต่อที่เชื่อมนั้นจะต้องเชื่อมผ่าน tubesheet หรือ ความหนาของตัวหม้อน้ำ ซึ่งจะต้องเชื่อมอย่างน้อย 80% ของแรงดันที่มีต่อท่อ เหล็กยึด หรือทั้งสองอย่าง

**PFT-11.4.3** ในการเชื่อมนั้นจะต้องเชื่อมลึกลงไปอย่างน้อยเท่ากับความหนาของฐานโลหะที่ใช้ในแต่ละด้านหรือทั้งสองด้าน เมื่อเชื่อมลึกลงไปที่ตัวหม้อน้ำแล้ว ทางด้านนอกจะต้องเชื่อมลงไป $^1/_4$ นิ้ว (6 มม.) และต้องไม่มีการเตรียมการเชื่อมใดๆ กับ tubesheet ที่แบน ระยะห่างจากขอบที่มีการเชื่อมสมบูรณ์แล้วถึงส่วนขอบของ tubesheet จะต้องไม่น้อยกว่าความหนาของ tubesheet

**PFT-11.4.4** ตัวหม้อน้ำหรือแผ่นที่เป็นตัวห่อหุ้ม เมื่อได้รับความร้อนในบริเวณเตาเผาที่มีความร้อนมากกว่ 850°F (455°C) และไม่มีการทำให้เย็น จะต้องไม่ยืดไปมากกว่า 1/8 นิ้ว

**PFT-11.4.5** การเชื่อมติดเพื่อยึดเตาเผาหรือการยึดติด tubesheet แผ่นล่างให้ติดกับเตาเผา ของหม้อน้ำชนิดท่อไฟแบบแนวตั้ง จะต้องยึดกับแผ่นภายในเตาเผาทั้งหมด

**PFT-11.4.6** ในการสร้างนั้นจะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องในบทนี้ทั้งหมด รวมถึงหัวข้อด้านการเชื่อมโลหะ และวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อม แต่ไม่ต้องมีการทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสี

**PFT-11.4.7** วิธีการในการสร้างหม้อน้ำที่กล่าวมานั้นไม่ควรใช้กับการสร้าง แผ่น head ที่ใช้ปิดด้านหลัง ของหม้อน้ำแบบที่มีท่อไฟกลับของแก๊สในแนวราบ (horizontal-return tubular boiler)

**PFT-12 ท่อ**

**PFT-12.1** ความดันที่ใช้งานได้สูงสุด

**PFT-12.1.1** ความดันที่สามารถใช้งานได้สูงสุด ในท่อไฟของหม้อน้ำแบบท่อไฟพิจารณาได้ตามที่ระบุไว้ใน PFT-50 และ PFT-51

**PFT-12.1.2** ความดันที่สามารถใช้งานได้สูงสุด ของ ท่อทองแดงหรือข้อต่อทองแดง ทั้งความดันภายในหรือความดันภายนอกไม่ควรเกิน 150 psi (1.7 MPa) อุณหภูมิสูงสุดไม่ควรเกิน 406°F (208°C) ความดันที่สามารถใช้งานได้สูงสุด ของท่อเคลือบด้วยทองแดง ความดันภายนอก

พิจาณาได้จากสูตรในข้อ PFT-51 ซึ่งค่า t อาจจะเพิ่มขึ้นหนึ่งเท่าครึ่งของความหนาของส่วนที่เคลือบ (cladding)

**PFT-12.2 การยึดท่อ**

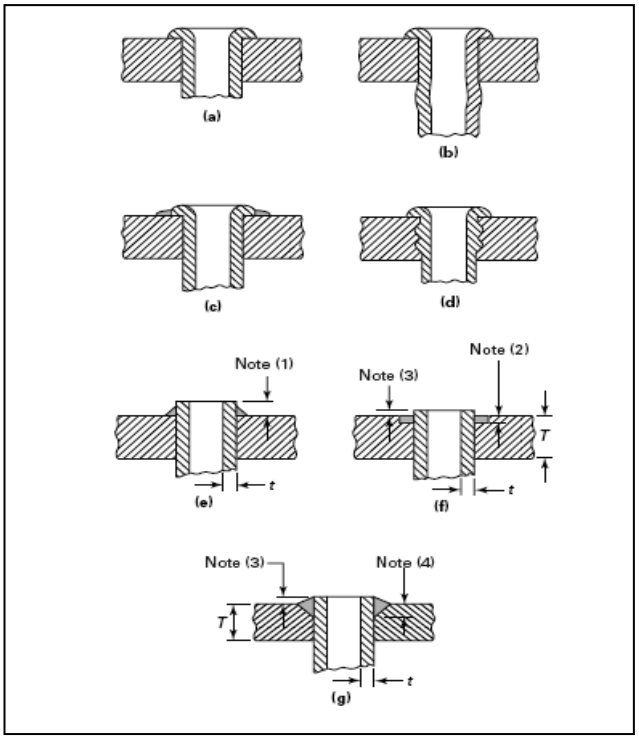
**PFT-12.2.1** ภาพ PFT-12.1 แสดงตัวอย่างวิธีการยึดท่อไฟในแบบที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งการยึดท่อทำได้โดย

(ก) วิธีการขยายท่อและทำจุดโป่งตัว ตามภาพ (a), (b) และ (d)

(ข) วิธีการขยายท่อและทำจุดโป่งตัวแล้วยึดท่อโดยการเชื่อมโดยไม่มีร่อง ตามภาพ (c)

(ค) วิธีการขยายท่อ แล้วยึดท่อโดยการเชื่อมโดยไม่มีร่อง ตามภาพ (e)

(ง) วิธีการเชื่อมโดยไม่มีร่อง ตามภาพ (f) และ (g)




**รูปที่ 3.5** ลักษณะการเชื่อมต่อท่อ ที่ยอมรับได้ตามภาพ PFT-12.1

**Note:**

(1) ไม่น้อยกว่า t หรือ 1/8 นิ้ว (3 มม.) (แล้วแต่ว่าตัวเลขใดมากกว่ากัน) หรือไม่มากไปกว่า 2t หรือ 1/4 นิ้ว (6 มม.) (แล้วแต่ว่าตัวเลขใดน้อยกว่ากัน)

(2) ไม่น้อยกว่า t หรือ 1/8 นิ้ว (3 มม.) หรือไม่มากไปกว่า 2t (แล้วแต่ว่าตัวเลขใดมากกว่ากัน) หรือ ไม่มากไปกว่า T/3 (ดู PFT-12.2.1.2)

(3) ไม่มากกว่า t

(4) ไม่น้อยกว่า t หรือ 1/8 นิ้ว (3 มม.) (แล้วแต่ว่าตัวเลขใดมากกว่ากัน) หรือไม่มากไปกว่า T/3(ดู PFT-12.2.1.2)

ปลายของท่อไฟที่ยึดติดโดยวิธีการขยายท่อและทำให้ท่อโป่งตัวต้องพิจารณาตามข้อกำหนดในหัวข้อ PFT-12.2.1.1 ถึง PFT-12.2.1.3 ต่อไปนี้

**PFT-12.2.1.1** เมื่อไม่ใช้การเอียงหรือการเว้า ระยะยื่นของท่อไฟที่ยื่นออกจาก tubesheet ต้องไม่น้อยกว่าระยะที่เท่ากับความหนาของท่อ หรือ 1/8 นิ้ว (3 มม.) ซึ่งต้องไม่มากกว่าสองเท่าของความหนาของท่อ หรือ 1/4 นิ้ว (3 มม.) หรือน้อยกว่า (ภาพ PFT-12.1 (e))

**PFT-12.2.1.2** เมื่อรูของ tubesheet มีการทำให้เอียงหรือเว้า ความลึกของการเอียงหรือเว้าจะต้องไม่น้อยกว่าความหนาของท่อ หรือ 1/8 นิ้ว (3 มม.) ซึ่งต้องไม่มากกว่าหนึ่งในสามของความหนาของ tubesheet ยกเว้นเมื่อกรณีที่ความหนาของท่อเท่ากับหรือมากกว่า 0.150 นิ้ว (4 มม.) การเอียงหรือการเว้า อาจจะเกิน T/3 ซึ่งร่องที่เอียงหรือเว้า ระยะยื่นที่ยื่นออกจาก tubesheet ต้องไม่เกินระยะที่เท่ากับความหนาของท่อ (ภาพ PFT-12.1 (f) และ (g))

**PFT-12.2.1.3** รูปแบบของการเชื่อมท่อไฟที่แสดงในภาพ PFT-12.1 (c) และ (e) ท่อจะมีการทำให้ขยายทั้งก่อนและหลังเชื่อม สำหรับภาพ (f) และ (g) ท่อมีการทำให้ขยายตัว

**PFT-12.2.2** การขยายตัวของท่อโดยวิธีโพรสเซอร์ (Prosser) จะใช้ร่วมกับวิธีการเชื่อมเม็ดบีด (bead) หรือเชื่อมปิดผนึก (ภาพ PFT-12.1 (b)

**PFT-12.2.3** หลังจากทำการเชื่อม ดังแสดงตามภาพ 12.1 (c) และ (e) ต้องมีการทดสอบ Hydrostatic ของหม้อน้ำด้วย

**PFT-12.2.4** พื้นผิวภายในของรูท่อไม่ว่าจะมีการยึดติดด้วยรูปแบบใดๆ อาจจะมีการทำให้เป็นร่องหรือเกลาด้วย

**PFT-12.2.5** รูของท่อที่มีขอบแหลมคม ควรจะเหลาออกทั้งสองด้าน ด้วยตะไบหรือเครื่องมืออื่น

**ห้องเผาไหม้**

**PFT-13** Tubesheet ของห้องเผาไหม้

**PFT-13.1** ความดันที่ใช้งานได้สูงสุดสำหรับ tubesheet ของห้องเผาไหม้ ในกรณีที่แผ่น crown sheet ไม่ได้ยึดหรืออิงไว้กับเปลือกของหม้อน้ำ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

(หน่วย U.S.)

$$P = 27{,}000\frac{t(D-d)}{WD}$$

(หน่วย S.I.)

$$P = 186\frac{t(D-d)}{WD}$$

ซึ่ง

D = ระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างกลางของท่อในแนวนอน

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ

P = ความดันที่ใช้งานได้สูงสุด

t = ความหนาของ tubesheet

W = ระยะห่างระหว่าง tubesheet กับแผ่นในห้องเผาไหม้ด้านตรงข้าม

เมื่อท่อมีการวางตัวเหลื่อมกันแบบสับหว่าง ระยะห่างระหว่างกลางท่อในแถวนั้นกับแถวถัดไปจะต้องไม่น้อยกว่า

$$1/2\sqrt{2dD + d^2}$$

**ตัวอย่าง** ต้องการความดันที่ใช้งานได้สูงสุดของ Tube sheet ซึ่งแผ่นบนสุดยึดไว้ด้วยแท่งเหล็ก โดยที่ระยะห่างในแนวนอนระหว่างจุดศูนย์กลางเป็น $4^1/_8$ นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเป็น 2.782 นิ้ว ความหนาของ tube sheet เป็น $^{11}/_{16}$ นิ้ว ระยะห่างจาก tube sheet กับด้านตรงข้ามในห้องเผาไหม้เป็น $34^1/_4$ นิ้ว ให้วัดจากด้านนอกของ tube sheet ถึงแผ่นทางด้านหลัง ซึ่งให้วัสดุอุปกรณ์เป็นเหล็ก แทนค่าและอธิบายได้ดังนี้

$$P = \frac{(4.125 - 2.782) \times 0.6875 \times 27{,}000}{34.25 \times 4.125} = 176 \text{ psi}$$

**PFT-13.2** ตัวยึดโยงที่เป็นสลิงควรใช้กับคานเหล็ก ซึ่งระบุไว้ในข้อ PFT-13.1 แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้ตัวยึดที่เป็นสลิงแล้ว จะต้องใช้คานเหล็กหรือสกรูยึดในบริเวณเดียวกันนั้นด้วย เพื่อยึดฐานของห้องเผาไหม้กับตัวหม้อน้ำให้แน่น

**PFT-13.3** เมื่อใช้ตัวยึดที่เป็นสลิงยึดคานเหล็กด้านบน และที่ฐานของห้องเผาไหม้แล้ว ในบริเวณเดียวกันนั้นก็จะต้องทำการยึดให้สอดคล้องกับข้อกำหนดสำหรับเตาเผาที่เป็นแบบไม่เคลื่อนที่เช่นกัน

**PFT-14** หลักเกณฑ์ทั่วไป

**PFT-14.1** ในการสร้างห้องเผาไหม้ จะต้องใช้ท่อที่ไม่มีรอยต่อ ตัวต้านทานไฟฟ้าต้องเชื่อมอยู่กับท่อตามข้อกำหนดในข้อ PG-9.5 หรือหลอมแผ่นเหล็กสองแผ่นแบบที่ไม่เหลื่อมกันก็ได้ ตัวอย่างชิ้นส่วนของห้องเผาไหม้ที่เกิดจากการเชื่อมโลหะที่มีการเติมโลหะผสมลงไปจะต้องมีการทดสอบความโค้งงอตามข้อกำหนด PW-53 และไม่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสีอีก

**PFT-14.2** เมื่อข้อต่อของห้องเผาไหม้ในแนวยาวจะต้องมีการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสีตามข้อกำหนด PW-51 แล้วก็ไม่จำเป็นต้องทดสอบความโค้งงอในแต่ละชิ้นส่วนอีก

**PFT-15** ห้องเผาไหม้แบบวงกลมผิวเรียบ

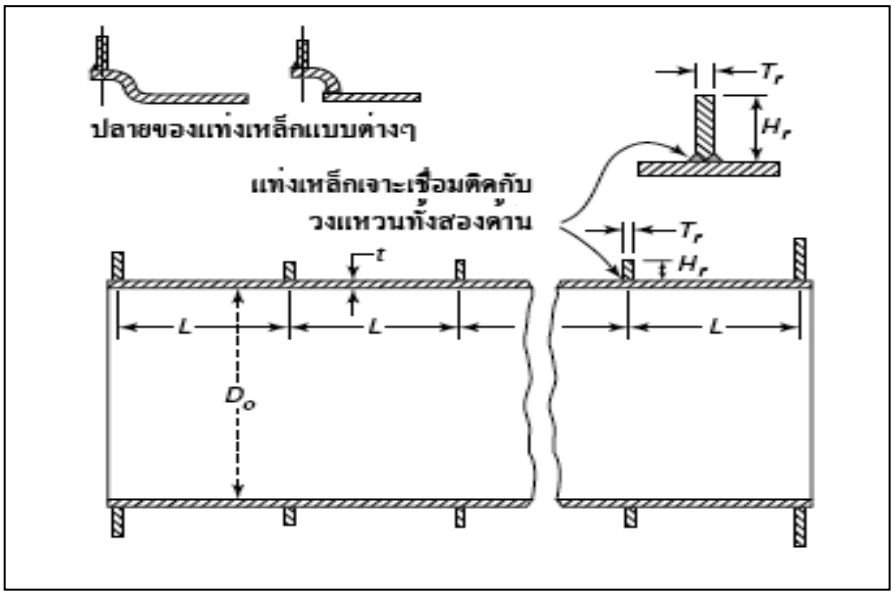
**PFT-15.1** ห้องเผาไหม้อาจจะผลิตขึ้นโดยใช้ความยาวเป็นเท่าใดก็ได้ และก็ใช้ส่วนประกอบใดได้ตามต้องการ โดยความหนาไม่ควรน้อยกว่า 5/16 นิ้ว (8 มม.)

**PFT-15.2** ความดันที่สามารถใช้งานได้สูงสุด พิจารณาตามข้อ PFT-51

**PFT-17** ห้องเผาไหม้แบบวงแหวนรัดท่อไฟห้องเผาไหม้แบบวงแหวนรัดท่อไฟหรือ ห้องเผาไหม้ (รูป PFT-17.2) อาจจะสร้างขึ้นมาจากแหวนรัดวงกลมได้ โดยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดข้อ PFT-17.1 ถึงข้อ PFT-17.11.1

**PFT-17.1** วงแหวนรัดมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก และสร้างขึ้นจากแผ่นเหล็กชิ้นเดียวหรือแท่งเหล็กโดยเจาะเชื่อมเพื่อประกอบกันแบบ Full penetration

**PFT-17.2** วงแหวนรัดที่ประกอบขึ้นมาจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 5/16 นิ้ว (8 มม.) และไม่มากกว่า 13/16 นิ้ว (21 มม.) และต้องไม่หนากว่า $1^1/_4$ เท่า ของความหนาของผนังเตาเผา




**รูปที่ 3.6** รูป PFT-17.2 เตาเผาแบบวงแหวนรัดชนิดที่สามารถยอมรับได้

**PFT-17.3** อัตราส่วนของความสูงต่อความหนาของวงแหวนรัดคือ $H_r/T_r$ ต้องไม่มากกว่า 8 และไม่น้อยกว่า 3

**PFT-17.4** วงแหวนรัดจะถูกยึดติดกับห้องเผาไหม้โดยการเชื่อมแบบ full penetration เข้ากับผนังแต่ละด้านของเตาเผา

**PFT-17.5** ความหนาของผนังของห้องเผาไหม้หรือปล่องไฟต้องไม่น้อยกว่า 5/16 นิ้ว (8 มม.)

**PFT-17.6** ระยะห่าง L ของแต่ละวงแหวนในห้องเผาไหม้ต้องไม่มากกว่า 60 t หรือ 36 นิ้ว (900 มม.)

**PFT-17.8** การออกแบบหม้อน้ำจะอนุญาตให้มีการเปลี่ยนส่วนของห้องเผาไหม้ได้ และใช้วงแหวนรูปตัว S ประกอบได้

**PFT-17.10** ความดันที่ใช้งานได้สูงสุดพิจารณาตามข้อ PFT-51

**PFT-17.11** การออกแบบวงแหวนรัดพิจารณาจากการใช้สัญลักษณ์จากข้อ PFT-51 และ

**พิจารณาจากสูตรต่อไปนี้**

**PFT-17.11.1** การหาโมเมนต์เฉื่อย (Moment of Intertia) ของวงแหวนรัดพิจารณาตามขั้นตอนต่อไปนี้

**ขั้นที่ 1:** สมมติว่าในการออกแบบเตาเผา ทราบค่า $D_0$, $L_S$ และ t และใช้วงแหวนรัดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก พิจารณาพื้นที่ $A_S$ โมเมนต์เฉื่อย (moment of intertia) I จากนั้นคำนวณ B ได้จากสูตร

$$B = \frac{PD_0}{t + (\frac{A_S}{L_S})}$$

ซึ่ง B เป็นค่าทางด้านขวาของแผนภูมิใน Section II Part D

**ขั้นที่ 2:** ใส่ค่าของ B ที่หาได้จากขั้นที่ 1 ทางด้านขวาของแผนภูมิ

**ขั้นที่ 3:** ลากเส้นตามแนวนอนไปตัดกับเส้นวัสดุ ณ อุณหภูมิที่ต้องการ

**ขั้นที่ 4:** ลากเส้นในแนวตั้งจากจุดตัด ลงมาด้านล่างของแผนภูมิ และอ่านค่า A

**ขั้นที 5:** คำนวณค่าของแรงเฉื่อยที่ต้องการจากสูตร

$$I_S = \frac{D_0{}^2 L_S[t+(A_S/L_S)]A}{14}$$

**ขั้นที่ 6:** ถ้าค่า $I_S$ ที่ต้องการมากกว่าค่า I ที่เลือกไว้ในขั้นที่ 1 ให้เลือกหน้าตัดใหม่ที่ใหญ่กว่าเดิม และหาค่า $I_S$ ใหม่

เมื่อได้ค่า $I_S$ น้อยกว่าค่า I ที่เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1นั่นหมายถึงหน้าตัดที่เลือกสามารถนำมาใช้ได้

**PFT-18 เตาเผา (ท่อไฟใหญ่) ชนิดผิวลูกคลื่นเป็นลอน (Corrugated furnace)**

**PFT-18.1** ค่าความเค้นอนุญาตสูงสุดในเตาเผาชนิดผิวคลื่นเป็นลอน อาทิเช่น เตาเผาแบบ Leeds suspension bulb, Morison, Fox, Purves หรือ แบบ Brown ที่ส่วนปลายขอบมีลักษณะเรียบและยาวไม่เกิน 9 นิ้ว (230 มม.) หากเป็นเตาใหม่และมีลักษณะกลม สามารถคำนวณโดยใช้สูตร ต่อไปนี้

$$P = \frac{C\,t}{D}$$

โดยที่

*C* = 17,300 (119) เป็นค่าคงที่ สำหรับเตาแบบ Leeds ที่มีขนาดระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของลอนไม่เกิน 8 นิ้ว (200มม.) และมีความลึกไม่น้อยกว่า$2^1/_4$ นิ้ว (57มม.)

C = 15,600 (108) เป็นค่าคงที่สำหรับเตาแบบMorison ที่มีขนาดระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของลอนไม่เกิน 8 นิ้ว (200มม.) และมีความลึกไม่น้อยกว่า $1^1/_4$ นิ้ว (32มม.) ในขณะที่รัศมีของลอน r ต้องไม่เกิน กึ่งหนึ่งของรัศมีความโค้ง R (ดูรูปPFT-18.1)

C = 14,000 (97) เป็นค่าคงที่ ของเตาแบบ Fox ที่มีระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของลอนไม่เกิน 8 นิ้ว (200มม.) และมีความลึกไม่น้อยกว่า $1^1/_2$ นิ้ว (38มม.)

C = 14,000 (97) เป็นค่าคงที่ ของเตาแบบ Purves ที่มีระยะห่างระหว่างครีบไม่เกิน 9 นิ้ว (230 มม.) และมีความลึกไม่น้อยกว่า $1^3/_8$ นิ้ว (35มม.)

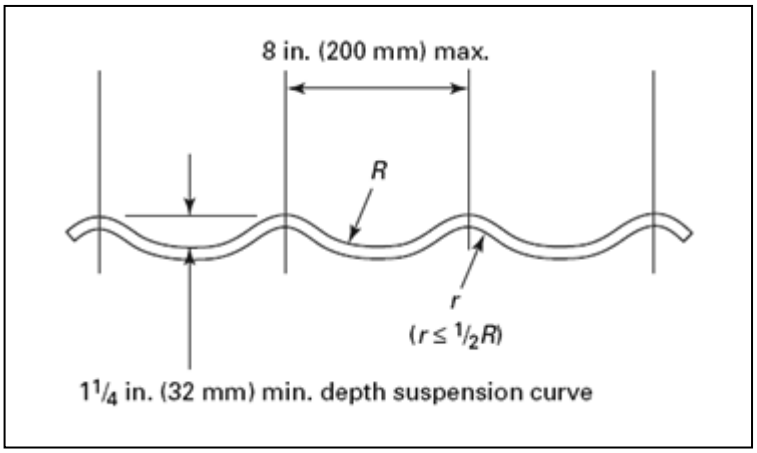
C = 14,000(97) เป็นค่าคงที่ของเตาแบบ Brown ที่มีระยะห่างระหว่างครีบไม่เกิน 9 นิ้ว (230 มม.) และมีความลึกไม่น้อยกว่า $1^5/_8$ นิ้ว (41มม.)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

P = ค่าความดันสูงสุดที่อนุญาติให้ใช้

T = ความหนา ซึ่งต้องไม่น้อยกว่า 5/16 นิ้ว (8มม.) สำหรับเตาแบบ Leed, Morison, Foxและ Brown และต้องไม่น้อยกว่า 7/16 นิ้ว (11มม.) สำหรับเตาแบบ Purves

ในการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเตา(ท่อไฟใหญ่) แบบ Morison สามารถประมาณค่าได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในขนาดเล็กที่สุด บวกด้วยระยะ 2 นิ้ว (50มม.)




**รูปที่ 3.7** ลักษณะห้องเผาไหม้แบบ Morison (PFT-18.1)

**PFT-18.2** ความหนาของเตา (ท่อไฟใหญ่) ชนิดนี้ โดยเฉพาะส่วนที่ทำการดัดลอน จะต้องมีการระบุและตรวจสอบให้ถูกต้องโดยผู้ผลิต สำหรับเตาแบบ Brown และ แบบ Purves ตำแหน่งที่ทำการวัดความหนา ควรอยู่ที่กึ่งกลางของส่วนที่ราบเรียบส่วนที่สอง แต่สำหรับเตาแบบ Morison แบบ Fox และแบบอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันให้ทำการวัดที่ช่วงลอนที่สี่นับจากท้ายของเตา (ท่อไฟใหญ่)

**PFT-19** เตาเผา (ท่อไฟใหญ่) ชนิดผสมผสานระหว่างท่อกลมและผิวลูกคลื่นเป็นลอน (Combined plain circular and Corrugated type)

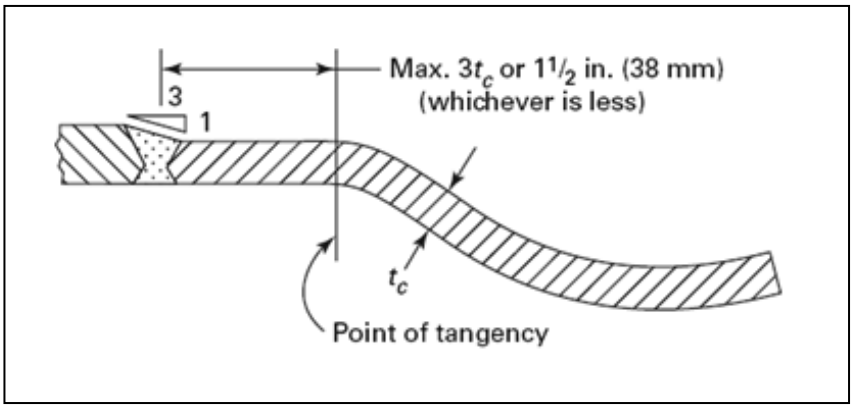
ลักษณะของเตา (ท่อไฟใหญ่) ที่รองรับความดันจากด้านนอก อาจสร้างโดยการผสมผสานระหว่างส่วนที่เป็นท่อกลมและส่วนที่มีการทำเป็นลอนได้ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

**PFT-19.1** ท่อไฟใหญ่แต่ละแบบต้องมีจุดรองรับของตัวเอง ไม่มีการถ่ายน้ำหนักไปยังท่อไฟใหญ่อื่นที่เชื่อมต่อกันอยู่

**PFT-19.2** เงื่อนไขที่ระบุไว้ใน PFT-51 และ PFT-15 ต้องนำมาใช้ในการคำนวณความดันใช้งานอนุญาตสูงสุดสำหรับสำหรับท่อเรียบ ในการเลือกใช้ค่า L ในสูตรที่ให้ไว้นั้น จะต้องมีค่าเป็นสองเท่าของความยาวที่สร้างจริง โดยที่ระยะความยาวที่แท้จริงของท่อไฟใหญ่ วัดได้จากจุดกึ่งกลางของแนวเชื่อม head จนถึง จุดกึ่งกลางของแนวเชื่อมที่เชื่อมต่อท่อไฟใหญ่ทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันนั่นเอง

**PFT-19.3** ค่าความดันสูงสุดที่อนุญาติ สำหรับส่วนที่ถูกดัดเป็นลอน หาได้จาก PFT-18

**PFT-19.4**การเชื่อมต่อระหว่างท่อไฟใหญ่ชนิดผิวเรียบและผิวดัดเป็นลอน ให้ดูในรูป PFT-19 โดยต้องเป็นการเชื่อมแบบ Full penetration




**รูปที่ 3.8** การเชื่อมต่อระหว่างเตาแบบผิวเรียบกับเตาที่ดัดลอน (PFT-19)

**PFT-20** การเชื่อมยึดเตาเผาเข้ากับหม้อน้ำ

**PFT-20.2** การเชื่อมแบบ Fillet (เชื่อมเข้ามุม) ในหม้อน้ำชนิด Scotch type ตัวเตาเผาอาจทำการยึดติดกับหน้าแปลนที่หันออกด้านนอกของส่วน tubesheet โดยการเชื่อม แบบ Fillet weld รอบเส้นรอบวงของรอยต่อได้ อีกทั้งเตาเผานี้อาจเชื่อมต่อกับส่วนของ head ที่มีการทำส่วนของหน้าแปลนยื่นออกมาก็ได้โดยการทำมุมกับพื้นผิวด้านนอกของ head อยู่ระหว่าง20 ถึง 30 องศา การเชื่อมต้องเป็นไปตาม PFT-20.2.1 จนถึง PFT-20.2.5 ดังนี้

**PFT-20.2.1** พื้นที่ของ head โดยรอบที่อยู่ติดกับท่อไฟใหญ่ต้องมีการเสริมความแข็งแรงอาจโดยท่อหรือโดยชิ้นส่วนยึดโยง ตามข้อกำหนดที่ให้ไว้ในส่วนที่เกี่ยวข้อง

**PFT-20.2.2** จุดที่เป็นรอยต่อใดๆจะต้องอยู่ภายนอกเตาเผา

**PFT-20.2.3** ขนาดของ troat รอยเชื่อม แบบ full fillet weld จะต้องไม่น้อยกว่า 0.7 เท่าของความหนาของชิ้นส่วน head

**PFT-20.2.4** เตาเผาจะต้องไม่ยื่นออกมานอก tubesheet เกินกว่าระยะความหนาของ tubesheet ยกเว้นแต่มีการห่อหุ้มไว้ด้วยฉนวนหรือปูนทนไฟ (refactory) ชิ้นส่วนที่ยื่นเกินออกมามากกว่าที่กำหนดจะต้องตัดออกก่อนทำการเชื่อม

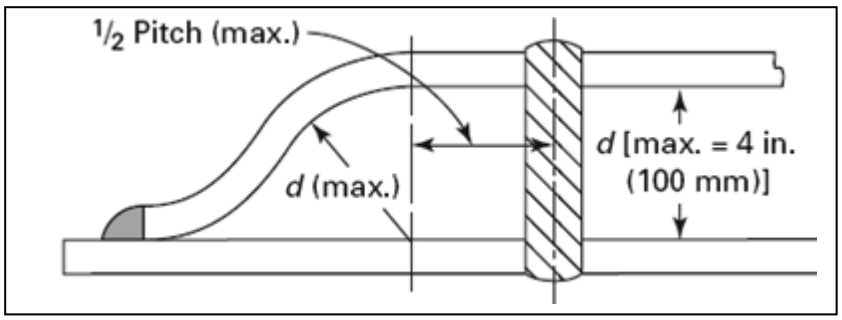
**PFT-20.2.5** การสร้างจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขเหล่านี้ทั้งหมดรวมทั้งกรรมวิธีการเชื่อมและการอบร้อนหลังการเชื่อม ยกเว้นกระบวนการตรวจสอบด้วยการฉายรังสีที่อาจละเว้นได้

**PFT-20.3** การสร้างด้วยกระบวนวิธีเชื่อมชนิด Full Penetration

ตัวห้องเผาไหม้ต้องมีการเชื่อมติดกับตัวหม้อน้ำด้วยการเชื่อมแบบ Full Penetration เต็มความหนาของแผ่น Tubesheet แต่ไม่ควรกินบริเวณที่มากเกิน toe ของแนวรอยเชื่อมนั้น และระยะของ toe ก็ไม่ควรเกินระยะ face ของฝั่ง tubesheet มากกว่า 3/8 นิ้ว (10 มม.) นอกเสียจากส่วนนั้นได้รับการปกป้องด้วยฉนวน

**PFT-20.4**

ส่วนของ Throat sheet และแผ่นปิด หน้า-หลัง เมื่อทำการติดตั้งชิ้นส่วนค้ำยัน (stay) จะต้องเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ตามข้อกำหนดใน PFT-11.4




**รูปที่ 3.9** การเชื่อมแหวน Ogee กับตัวเตา (PFT-20)

**PFT-20.5** Furnace sheet ที่เชื่อมต่อกับหม้อน้ำด้วยการเชื่อม

หม้อน้ำชนิดท่อไฟในแนวตั้งอาจสร้างด้วยการเชื่อมส่วนขา (ogee) ที่อยู่ด้านล่างของท่อไฟใหญ่กับเปลือกด้านนอกของหม้อน้ำ ดังแสดงในรูป PFT-20 ภายใต้ข้อกำหนด ใน PFT-20.5.1 จนถึง PFT-20.5.7 ดังต่อไปนี้

**PFT-20.5.1** ตัวท่อและแผ่นปิด crown sheet มีการรองรับน้ำหนักทั้งหมดด้วยท่อ หรือ Stay หรือทั้งสองอย่างประกอบกัน

**PFT-20.5.2** จุดข้อต่อต่างๆจะต้องอยู่ภายในเปลือกหม้อน้ำไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งยื่นออกมา

**PFT-20.5.3** แนวเชื่อมไม่มีการสัมผัสกับแก๊สร้อนปฐมภูมิที่มีอุณหภูมิเกิน 850°F (455°C)

**PFT-20.5.4** ขนาดความหนาของ Throat ที่เป็นส่วนของรอยเชื่อมแบบ Full fillet มีค่าไม่น้อยกว่า 0.7 เท่าของความหนาแผ่นเหล็กที่นำมาทำเป็นท่อไฟใหญ่

**PFT-20.5.5** ความลึกสูงสุด ของชิ้นส่วน Waterleg มีค่าไม่เกิน 4 นิ้ว (100 มม.) และรัศมีของขา (ogee) มีค่าไม่เกินความกว้างด้านในของ Waterleg

**PFT-20.5.6** ระยะห่างระหว่างแถวในส่วนล่างของ Staybolt เป็นไปตามข้อกำหนด PFT-27.5

**PFT-20.5.7**กระบวนการสร้างในส่วนอื่นๆ เป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมทั้งกระบวนการเชื่อม และ การทำ Heat treatment หลังการเชื่อม เว้นแต่การทำการตรวจสอบด้วยการฉายรังสีซึ่งสามารถละเว้นได้

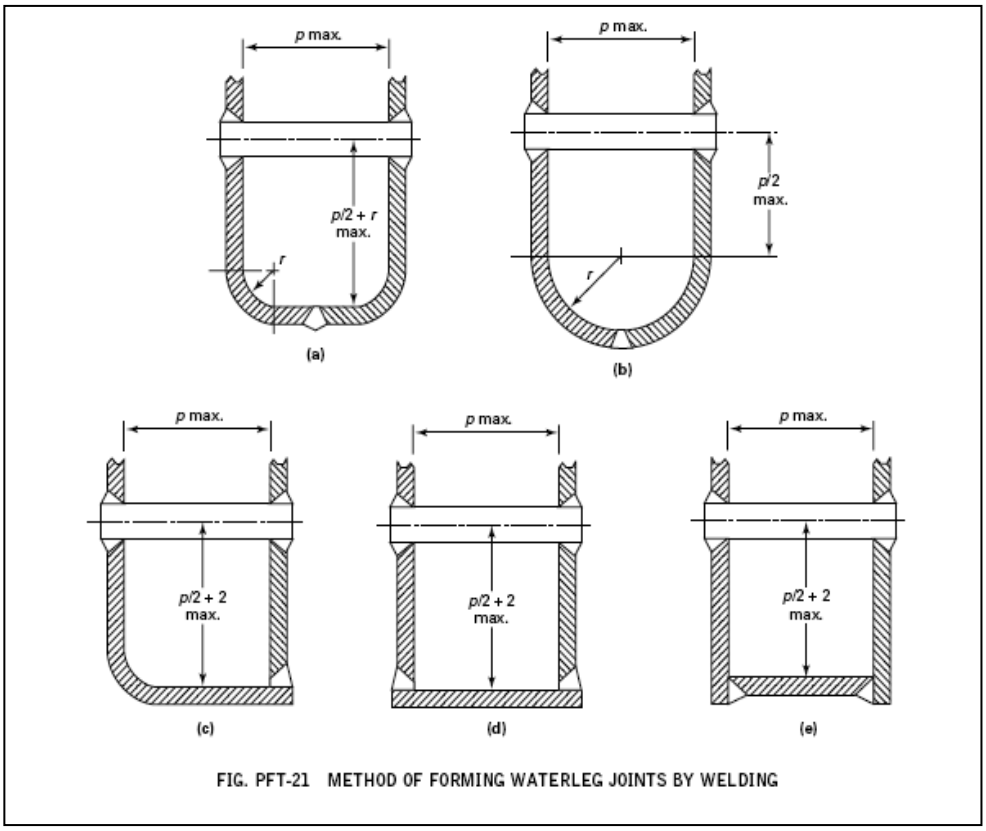



FIG. PFT-21 METHOD OF FORMING WATERLEG JOINTS BY WELDING

**รูปที่ 3.10** รูป PFT-21 การเชื่อมเพื่อสร้าง Waterleg ลักษณะต่างๆ

**PFT-21 Fireboxes and Water legs**

**PFT-21.1** ความกว้างของ Waterleg ในหม้อน้ำชนิดท่อไฟหรือ หม้อน้ำแบบ Firebox ที่มีการวางตัวในแนวตั้งนั้น จะต้องมีค่าไม่มากกว่าค่าความกว้างที่ได้คำนวณโดยใช้ สมการ Eq.(1) ใน PG-46 โดยใช้ ค่า C เท่ากับ 2.1 หรือ 2.2 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเหล็กที่นำมาใช้ ในส่วนของขอบด้านล่างของแผ่นเหล็กที่นำมาทำเป็น Waterleg นั้นอาจมีการเชื่อมต่อกันด้วยหน้าแปลน(Flange) ในลักษณะต่างๆ ดังที่แสดงไว้ใน Fig.PFT-21 รูป a), b) และ c) การตรวจสอบด้วยการฉายรังสีในกรณีนี้จะได้รับการยกเว้นเมื่อแผ่นโลหะมีการเชื่อมต่อในลักษณะเข้ามุม หรือเมื่อความกว้างของ Waterleg มีขนาดไม่เกิน 4 นิ้ว (100 มม.)

**PFT-21.2** เหล็กแผ่นที่ขึ้นรูปเป็นขอบด้านล่างของ Waterleg อาจนำมาเชื่อมต่อกันในลักษณะต่างๆตามที่ได้แสดงไว้ตามรูป PFT-21 d) และ e) ความหนาของการเชื่อมสามารถกำหนดได้ด้วย สมการที่ (1) ของ PG-46 โดย ใช้ค่า C เท่ากับ 2.1 หรือ 2.2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ ค่าของ p เท่ากับความกว้างด้านในของ Waterleg แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1/2 นิ้ว (13มม.) โดยไม่ต้องตรวจสอบด้วยการฉายรังสี

**PFT-21.3** สำหรับ Waterleg ในหม้อน้ำชนิดท่อไฟที่ยึดติดอยู่กับแผง tubesheets หรือ crownsheets นั้นจะกำหนดให้ระยะห่างของช่วงที่ปราศจากการเสริมความแข็งแรงด้วย stay ว่าต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของ PFT-25.2 โดยที่ระยะดังกล่าววัดได้จากแนวที่ยึดจุดรองรับของ tubesheets หรือ crownsheets ไปยังพื้นผิวด้านในของ waterleg นั่นเอง ดูรูป A-8 (p)

**พื้นผิวที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยชิ้นส่วน Stay (Stayed surface)**

**PFT-22 บททั่วไป**

ข้อกำหนดใน Part PG และ PW ที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงที่เรียกว่า Stay ที่เหมาะสำหรับหม้อนำแบบท่อไฟ พึงใช้ร่วมกับข้อกำหนดเพิ่มเติมต่อไปนี้

**PFT-23 ความดันใช้งานสำหรับพื้นผิวโค้งที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วย Stay**

**PFT-23.1** ค่าความดันใช้งานสูงสุดที่อนุญาต คือ ผลรวมระหว่างค่าความดันที่คำนวณได้จาก PFT-23.1.1 กับความดันที่คำนวณจาก PFT-23.1.2 หรือ PFT-23.1.3 อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเลือกค่าที่น้อยว่ามาใช้ในการคำนวณ

**PFT-23.1.1** ค่าความดันใช้งานสูงสุดที่อนุญาต เป็นการคำนวณโดยไม่คิดผลของความแข็งแรงที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งชิ้นส่วน stay หากแต่ดิดผลความอ่อนแอที่เกิดขึ้นจากการเจาะรูใดๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

**PFT-23.1.2** ค่าความดันใช้งานสูงสุดที่อนุญาต คำนวณได้จากสูตรซึ่งให้ไว้ใน PG-46 โดยใช้ค่า C เท่ากับ 1.3

**PFT-23.1.3** ค่าความดันใช้งานสูงสุดที่อนุญาต คำนวณได้จากสูตร

$$P_1 = \frac{A_1 S}{A_2}$$

เมื่อ

$A_1$ = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน Stay

$A_2$ = พื้นที่ ที่ถูกเสริมความแข็งแรงโดย Stay

$P_1$ = ความดัน ที่สัมพันธ์กับความแข็งแรงของชิ้นส่วน Stay

S = ค่าความเค้นอนุญาตของวัสดุที่ใช้ทำ Stay ตามที่ระบุไว้ ใน Table 1A ของ Section II, Part D

**PFT-23.2** ค่าความดันใช้งานสูงสุดที่อนุญาตสำหรับแผ่น wrapper sheet ที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วย Stay แบบที่ใช้ในหม้อน้ำสำหรับยานพาหนะ จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ใน PFT-23.1 หรือ โดยสูตรต่อไปนี้

$$P = \frac{StE}{R - \sum (s \times \sin a)}$$

โดยที่

E = ค่าประสิทธิภาพต่ำสุดของ wrapper sheet

P= ค่าความดันสูงสุดที่อนุญาตใช้งาน

R = รัศมีของแผ่น Wrapper sheet

S = ค่าความเค้นอนุญาตตามที่ให้ไว้ใน Table 1A ของ Section II, Part D

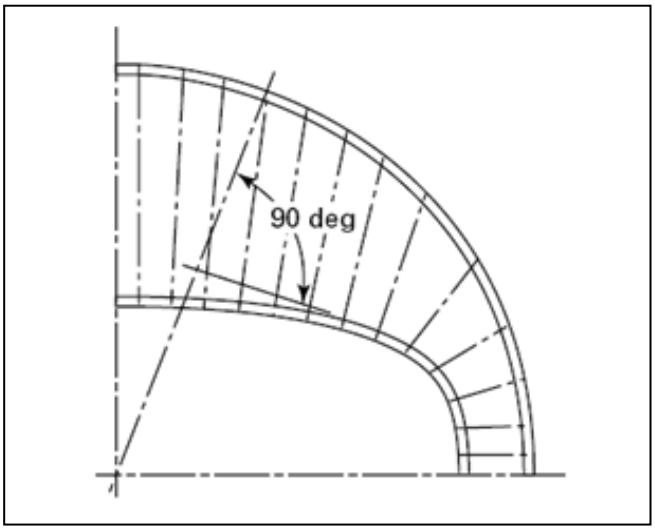
s = ระยะห่างระหว่าง crown stays ที่อยู่ใน crown sheet

t = ความหนาของ wrapper sheet

a = มุมที่ crown stays ทำกับแกนในแนวดิ่งของหม้อน้ำ

$\sum (s \times \sin a)$ = ผลรวมของระยะระหว่าง crown stays ทั้งหมด โดยพิจารณาในทิศทางขวาง (transverse direction) กับแนวของ Stay

สูตรข้างบนนี้นำไปใช้กับส่วนที่อยู่กึ่งกลาง (เมื่อวัดตามแนวยาว) ของ wrapper sheet ในกรณีที่ค่า E ของ section มีค่าลดลง ค่าความดันสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ บนพื้นฐานของความแข็งแรงใน section นั้นสามารถทำการชดเชยให้มีค่าเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากความแข็งแรงนั้น เป็นสัดส่วนตามระยะที่วัดจากแผ่น wrapper sheet ไปยังแผ่น crown sheet โดยแนวการวัดจะลากจากจุดกึ่งกลางของหน้าตัด ไปตามแนวรัศมี วิธีการวัดก็ให้ทำการลากเส้นตั้งฉากกับแนวการวัดไปสัมผัสกับแผ่น crown sheet ระยะที่วัดคือระยะจากตำแหน่งของ wrapper sheet ไปยังตำแหน่งที่เป็นจุดตัดของเส้นที่สัมผัสกับแผ่น crown sheet นั่นเอง ดูรูป PFT-23.1 ประกอบ




**รูปที่ 3.11** แผ่น Wrapper sheet ที่มีการยึดโยงเสริมความแข็งแรงในหม้อน้ำสำหรับยานพาหนะ ( PFT-23.1)

**PFT23.3 ท่อไฟใหญ่ในหม้อน้ำแนวตั้ง** ในหม้อน้ำชนิดท่อไฟที่วางตัวในแนวดิ่งนั้น ความยาวเพื่อใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงหรือเพื่อใช้ในการกำหนดระยะห่างระหว่าง Staybolts สามารถวัดได้จากพื้นผิวด้านในของแผ่น Tubesheet ที่อยู่ฝั่งของเปลวไฟ หรือ แนวที่เป็นระนาบหน้าแปลน ของ Tubesheet ไปยังฝั่งด้านในของ Mud ring ด้านล่าง

**PFT-23.3.1** ในหม้อน้ำที่ท่อไฟใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 38 นิ้ว (970มม.) ที่ต้องการการยึดโยงเพื่อเสริมความแข็งแรงด้วย Staybolts นั้น ควรจะต้องมีการรองรับน้ำหนักโดยชิ้นส่วนยึดโยง หรือ staybolts จำนวนหนึ่งแถวหรือมากกว่า โดยระยะช่วงห่างระหว่าง Staybolts ไม่ควรเกิน 5 เปอร์เซนต์ ของค่าที่คำนวณได้ จากสูตรใน PG-46

ระยะช่วงห่างตามแนวยาวระหว่าง Staybolt แต่ละตัว ไม่ควรเกิน ค่าที่ให้ไว้ในสูตรคำนวณต่อไปนี้

(U.S. Customary Units)

$$L = \left( \frac{56,320t^2}{PR} \right)^2$$

(SI Units)

$$L = \left( \frac{77.05t^2}{PR} \right)^2$$

เมื่อ

L = ระยะช่วงห่างตามแนวยาวระหว่าง staybolts

P = ค่าความดันสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้

R = รัศมีนอกของท่อไฟใหญ่

t = ความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำท่อไฟใหญ่

ในกรณีที่ผลการคำนวณข้างบนนี้ มีค่าน้อยกว่าระยะช่วงห่างของชิ้นส่วนยึดโยงในแนวเส้นรอบวง ก็ให้ใช้ค่าระยะช่วงห่างของชิ้นส่วนยึดโยงในแนวเส้นรอบวงมาเป็นระยะช่วงห่างตามแนวยาว ระหว่าง Staybolts ด้วย

**PFT-23.3.2** ในหม้อน้ำที่มีขนาดของเตาเผาหรือท่อไฟใหญ่ เกิน 38 นิ้ว (970มม.) และห้องเผาไหม้ไม่ได้มีลักษณะที่พึงหลีกเลี่ยง กล่าวคือไม่ได้เป็นลักษณะของแผ่นเปลือกโค้งเป็นหลุมที่มีความดันกดอยู่ พึงระลึกไว้ว่า ระยะห่างระหว่าง ชิ้นส่วนยึดโยง Staybolts ตามแนวเส้นรอบวง และระยะช่วงห่างตามแนวยาวระหว่าง Staybolt แต่ละตัว จะต้องไม่เกิน 5เปอร์เซนต์ของค่าที่คำนวณได้ใน PG-46

**PFT-23.4** ห้องเผาไหม้ส่วนบนของหม้อน้ำแบบ Vertical Submerged Tubular Boiler ที่สร้างในรูปแบบเป็นเหมือนชิ้นส่วนย่อยของรูปทรงกรวย โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกของส่วนปลายที่บานออกไม่เกิน 38 นิ้ว (970มม.) อาจติดตั้งโดยไม่ต้องมีชิ้นส่วนยึดโยงได้ หากมีการกำหนดขนาดที่ได้มาด้วยการคำนวณตามกฎที่ใช้สำหรับท่อไฟใหญ่ทรงกระบอกผิวเรียบ ทั้งนี้ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ข้อต่อตามแนวยาวมีลักษณะเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน PFT-14

**PFT-23.5** สำหรับเตาเผาหรือท่อไฟใหญ่ในลักษณะที่ระบุไว้ใน PFT 23.4 ในกรณีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกที่ทางออกมากกว่า 38 นิ้ว (970มม.) ส่วนที่มีขนาดใหญ่นั้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกิน 30 นิ้ว (760มม.) จึงต้องมีการรองรับด้วยชิ้นส่วนยึดโยงอย่างสมบูรณ์ และเงื่อนไขตาม PFT-23.3.2 จะต้องนำมาใช้พิจารณาในการออกแบบ ตำแหน่งของแถว stay bolt ที่ใช้ยึดโยงควรอยู่ที่จุดที่ Cone top มีรัศมีไม่เกิน 30 นิ้ว (760มม.)

ในการคำนวณความดันอนุญาติใช้งานที่เกิดขึ้นสำหรับชิ้นส่วนรูปกรวยที่ไม่ได้ทำการเสริมความแข็งแรงด้วยชิ้นส่วนยึดโยงนั้น ก็ให้ใช้สูตร ที่กำหนดไว้ใน PFT-51 โดยใช้ค่าความยาว L เป็นระยะที่วัดในแนวดิ่งของระนาบแนวนอนสองระนาบ ระนาบหนึ่งลากผ่านจุดสูงสุดของชิ้นส่วนรูปกรวย อีกระนาบหนึ่งตัดผ่านตลอดแนวกึ่งกลางของแถว stay bolt แถวบนสุด ส่วนค่า $D_0$ ที่ใช้ในการคำนวณ ก็คือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ stay bolt แถวบนสุดเช่นกัน

**PFT-24 การยึดโยงท่อไฟกลับที่วางตัวในแนวระดับ** ในกรณีที่ต้องใช้ชิ้นส่วนยึดโยงกับท่อไฟกลับส่วนที่เป็น Head ของท่อทั้งสองด้านจะต้องมีการเชื่อมติดเข้าด้วยกันกับ Stay โดยตลอดตามข้อกำหนด PW-19 หรืออาจใช้น๊อตยึดทั้งด้านในและด้านนอกแนวการยึด เพื่อทำการยึดติดกับ Front head การยึดติดนี้ควรมีการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้น ที่ Rear head ทั้งนี้ ระยะที่เป็นช่องว่างระหว่างตัวชิ้นส่วนยึดโยง ตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ไม่ควรมีขนาดน้อยกว่า 10 นิ้ว (250มม.) ไม่ว่าจะเป็นที่จุดใดก็ตาม

**PFT-25 การยึดโยงส่วนต่าง ๆ ของ Heads**

**PFT-25.1** ส่วนต่าง ๆของ Head ควรจะมีการเสริมความแข็งแรงด้วยชิ้นส่วนยึดโยงที่ยึดโยงตั้งแต่ Head ด้านหนึ่ง ไปยัง Head อีกด้านนึ่ง หรือยึดด้วย Stay ตามแนวเส้นทแยงมุม (Diagonal stay)

**PFT-25.2** ควรมีการใช้ชิ้นยึดโยง หรือ Stay สำหรับยึด Tubesheet ถ้าหากระยะห่างระหว่างขอบของรูเจาะที่ร้อยท่อไฟเล็ก มีขนาดมากกว่าระยะ pitch สูงสุด ของ staybolts ที่ระบุไว้สำหรับความหนาของแผ่นหล็กที่ใช้ ณ ความดันใช้งาน ตามที่ได้กำหนดไว้ใน PG-46 สำหรับส่วนของ tubesheet ที่อยู่ระหว่างท่อไฟเล็ก ท่อไฟใหญ่ หรือช่องเปลือกนอกที่มีน้ำหล่อเย็น (Water-cooled turnaround chamber) อาจไม่ต้องมีการเสริมด้วยชิ้นยึดโยง (stay) ก็ได้ หากระยะที่วัดระหว่างขอบในของเปลือกหม้อน้ำ (เมื่อวัดตามแนวรัศมีจากกึ่งกลางหม้อน้ำ) กับจุดกึ่งกลางของแนวปากรูเจาะ (โดยรูเจาะเหล่านี้จะมีการยึดโยงด้วยท่อไฟเล็กและท่อไฟใหญ่อยู่แล้ว) มีค่าไม่เกิน 1.5 เท่าของค่า p ที่ได้จากสูตรที่ให้ไว้ใน PG-46 เมื่อ C มีค่าเท่ากับ 1.8 หรือ 1.9 (ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเหล็ก) ดูรูป PFT-25 ทั้งนี้ แนวปากรูเจาะดังกล่าว เกิดจากการลากเส้นสัมผัสกับขอบของปากรูเจาะนั่นเอง ระยะระหว่างรูเจาะ 2 รูใด ๆ ที่นำมาใช้ในการวัดระยะอ้างอิงนี้ จะต้องมีค่าไม่เกินระยะ pitch สูงสุดที่มีการอ้างถึงในการคำนวณ

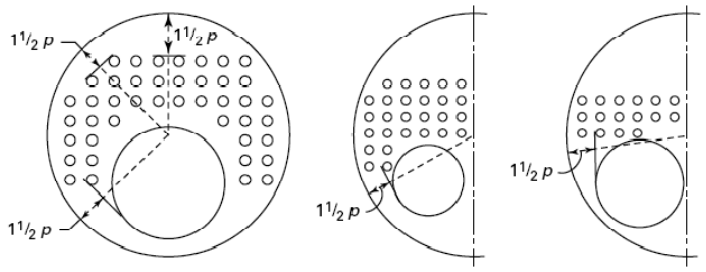



FIG. PFT-25 EXAMPLE OF STAYING OF HEADS ADJACENT TO CYLINDRICAL FURNACES

**รูปที่ 3.12** ตัวอย่างของการ เสริมความแข็งแรงในส่วนของ head ที่อยู่ไกล้กับเตาเผารูปทรงกระบอก (PFT-25)

**PFT-26 พื้นที่ที่มีการรองรับด้วยสิ้นส่วนยึดโยง (Stay)**

**PFT-26.1** มิติของระยะ pitch ที่ทำการติดตั้ง stay จะต้องมีการคำนึงถึงพื้นที่ที่ stay แต่ละตัวทำหน้าที่รองรับอยู่ด้วย ซึ่งสามารถหาแรงรวมได้จากการคูณพื้นที่ทั้งหมดด้วยความดันสูงสุดที่อนุญาตให้มีการใช้งาน

**PFT-26.2** สำหรับ stay ที่อยู่ไกล้กับขอบนอกของพื้นผิวที่จะทำการเสริมความแข็งแรง และมีการเผื่อค่าระยะ pitch ด้วยเงื่อนไขพิเศษอื่นใดก็ตาม ค่าของภาระกรรม หรือ แรงที่ stay รับไว้จะต้องคำนวณโดยไม่คิดพื้นที่ที่มีการเพิ่มเข้ามาโดยเงื่อนไขพิเศษเหล่านั้น

**ตัวอย่าง** ถ้าค่า ระยะ pitch สูงสุด ตาม PG-46 ทำให้ได้ค่าที่มีการยึดด้วย staybolt เท่ากับ 6 นิ้ว (150 มม.) จากขอบของแผ่น plate แต่ด้วยเงื่อนไขพิเศษบางประการที่อนุญาตให้มีการยึดด้วย staybolt ที่ตำแหน่ง 7 นิ้ว (180 มม.) จากขอบ ก็ให้ใช้ระยะ 6 นิ้ว (150 มม.) ในการคำนวณหาภาระกรรมที่เกิดขึ้นกับ stay ตัวนั้น

**PFT-27 ระยะห่างสูงสุด Maximum spacing**

**PFT-27.1** ระยะห่างสูงสุดระหว่างขอบของรูเจาะสำหรับติดตั้งท่อไฟและจุดกึ่งกลางของ stay คือ ค่า p ตามที่ได้จาก PG-46 โดยใช้ค่า C ที่สอดคล้องกับความหนาของแผ่นเหล็กและชนิดของ stay ที่ใช้

**PFT-27.2** สำหรับ head ที่มีหน้าแปลนเชื่อมอยู่กับเปลือกนอกนั้น ค่าระยะสูงสุดระหว่างผิวด้านในของหน้าแปลนที่รองรับ วัดมาจนถึงแนวเส้นที่ขนานอยู่กับพื้นผิวของเปลือก (ลากผ่านกึ่งกลางของ stay) ควรมีค่าเท่ากับ p ตามที่คำนวณได้ใน PG-46 บวกด้วยรัศมีในของหน้าแปลนที่ทำหนาที่รองรับนั้น

**PFT-27.3** สำหรับ head ที่ไม่มีหน้าแปลน ค่าระยะสูงสุดระหว่างผิวด้านในของเปลือกกับกึ่งกลางของ stay ไม่ควรมีค่าเกินครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดของค่า pitch ที่อนุญาตให้ใช้ตามที่คำนวณได้จาก PG-46 (ใช้ค่า C เท่ากับ 2.5 บวกเพิ่มอีก 2 นิ้ว (50 มม.) ดูรูป A-8 (k) )

**PFT-27.4** ระยะ pitch ของ diagonal stay ที่ยึดติดด้วยการเชื่อมระหว่างเปลือกและ แผ่น tubesheet ในหม้อน้ำ แบบ Tubular ที่วางตัวในแนวนอน หรือ หม้อน้ำแบบ Scotch รวมทั้งระยะ pitch ของ stay ในลักษณะอื่นๆ ที่แผ่นรองรับไม่ได้สัมผัสกับรังสีความร้อนโดยตรง ตามที่ได้คำนวณจาก PG-46 อาจมีค่ามากกว่า $8^{1}/_{2}$ นิ้ว (216 มม.) แต่ต้องไม่มากกว่า 15 เท่าของ ขนาดของ stay

**PFT-27.5** ระยะ pitch ของ staybolt แถวล่าง ซึ่งต้องกำหนดให้มีการเสริมความแข็งแรงตามกฎที่ให้ไว้นี้ (โดยมีการเชื่อมติดตั้ง กับ ogee ที่ด้านล่างของท่อไฟใหญ่ด้านนอก) จะต้องมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของ ค่า pitch ที่อนุญาตให้ใช้ได้สูงสุด ซึ่งได้คำนวณตาม PG-46 ระยะดังกล่าวนี้วัดได้จากกึ่งกลางของ staybolt ไปยัง แนวเส้นที่สัมผัสกับ ogee ดูรูป PFT-20

**PFT-27.6** ระยะห่างระหว่าง Staybolts โดยรอบช่องที่เจาะไว้เพื่อเป็นประตูหรือ door hole ที่มีการติดตั้งด้วยการเชื่อมแบบเต็มใส้ (full penetration) กับ sheet ที่มีหน้าแปลน 2 ด้าน (ซึ่งตาม

ข้อกำหนดจะต้องมีการเสริมความแข็งแรงด้วย stay) จะต้องมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่า pitch ที่อนุญาตให้ใช้ได้ตามที่ได้จาก PG-46 ระยะดังกล่าวนี้วัดได้จากกึ่งกลางของ staybolt ไปยังแนวเส้นที่สัมผัสกับหน้าแปลน (ดูรูป PWT-12.2)

**PFT-27.7** ถ้าส่วนของเหล็กที่นำมาทำเป็นท่อไฟใหญ่ถูกกำหนดให้มีการเสริมความแข็งแรงด้วย stay ระยะห่างระหว่าง staybolts โดยรอบช่องประตู และระยะระหว่าง staybolt แถวแรกกับแถวที่สองจากด้านล่างของ mud ring ที่ขึ้นรูปด้วยการเชื่อมหลอมละลาย แบบ full penetration (ไม่ว่าแผ่นเหล็กทั้งสองชิ้นจะมีการทำหน้าแปลนไว้ด้านเดียวหรือทั้งสองด้านก็ตาม) จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของระยะ pitch ที่คำนวณได้จาก PG-46 บวกเพิ่มอีก 2 นิ้ว (50 มม.) โดยวัดจาก กึ่งกลางของ staybolt ไปยัง root ของแนวเชื่อม

**PFT-27.8** ระยะที่ยอมให้สูงสุดระหว่างตำแหน่ง stay แถวแรก ไปยังแนวเชื่อมแบบเต็มไส้ที่เชื่อม Tubesheet จะต้องไม่มากกว่าระยะ pitch ที่คำนวณได้โดย PG-46 (การเชื่อมลักษณะนี้ เป็นการเชื่อมชิ้นงานภายใต้การอัด กระทำที่ด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านของแผ่น tubesheet เป็นการยึดติดแผ่น crown sheet ของท่อไฟใหญ่ หรือเรียกอีกอย่างว่าเป็นส่วนของห้องเผาไหม้เข้าไว้ด้วยกันกับ head ที่ถูกยึดโยงเสริมความแข็งแรงไว้แล้ว) ระยะดังกล่าวนี้วัดได้จากกึ่งกลางของ staybolt ไปยังฝั่งห้องเผาไหม้ด้านใน ดูรูป A-8 (o) และ (p) ประกอบ

**PFT-27.9** ในกรณีที่ช่องเปิด manhole ที่มีหน้าแปลนหันเข้าด้านใน มีความลึกหน้าแปลนน้อยกว่า 3 เท่าของระยะความหนา disk head ที่กำหนดไว้ หรือ กรณีที่ช่องเปิดเป็นชนิดไม่มีหน้าแปลนที่เป็นไปตามข้อกำหนด PG-32 ตลอดจนถึง PG-39 ดังที่ให้ไว้ในรูป A-8 (q) และ (r) จะต้องออกแบบให้มีชิ้นส่วนยึดโยงเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับพื้นที่ของ manway เพื่อรองรับภาระกรรมที่เกิดขึ้นไว้ด้วย ในกรณีที่ส่วนของ manway อยู่ใกล้กับเปลือกนอก ชิ้นส่วนเปลือกนอกจะช่วยแบ่งรับภาระกรรมที่เกิดขึ้นได้ กรณีเช่นนี้สามารถลดค่าพื้นที่ที่รองรับด้วย stay ลงไปได้ จำนวน 100 ตร.นิ้ว (64,500 มม.$^2$) ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด PFT-27.9.1 และ PFT-27.9.2

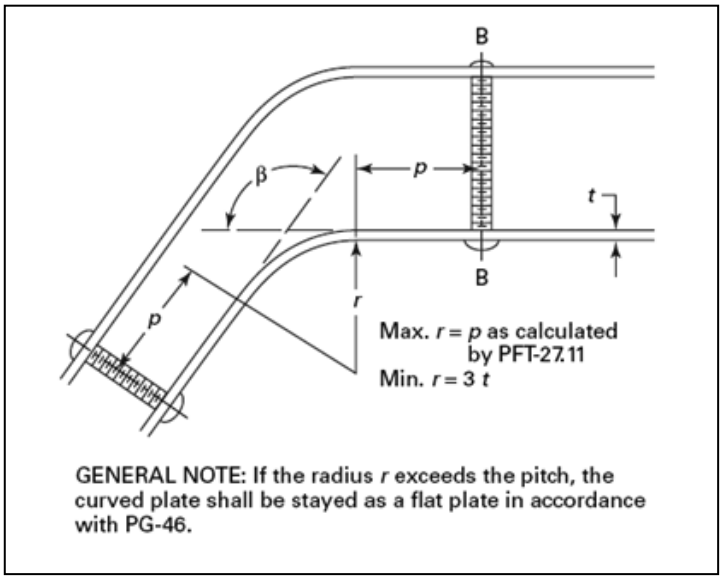
**PFT-27.9.1** ระยะระหว่างช่องเปิด manhole กับด้านในของเปลือก shell ต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของของระยะ pitch ที่ยอมได้สำหรับช่อง manhole แบบที่ไม่มีหน้าแปลน ในกรณีสำหรับ manhole ที่มีหน้าแปลนหันเข้าด้านใน (flanged-in manhole) ระยะที่ยอมได้คือครึ่งหนึ่งของระยะ pitch บวกกับรัศมีของ head flange

**PFT-27.9.2** ระยะระหว่างกึ่งกลางของ Stay แถวแรก หรือ จากขอบของ tube hole ไปยังช่องเปิด manhole จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของระยะ pitch ที่ยอมให้มีได้ตามที่คำนวณโดย PG-46

**PFT-27.10** ในการใช้กฎเหล่านี้ และส่วนข้อกำหนดของ PG-46 กับชิ้นส่วน head หรือแผ่น plate ที่มีช่องเปิด manhole ที่มีการเสริมความแข็งแรงไว้แล้วนั้น จะเป็นการใช้กับการกำหนดลักษณะของแผ่น plate โดยรอบช่องเปิดเท่านั้น ไม่ใช้คร่อมช่องเปิด

**PFT-27.11** สำหรับ stay ที่มุมบนของ firebox นั้น ระยะ pitch ระหว่าง staybolt ที่อยู่ถัดจากมุมไปยังแนวเส้นสัมผัสกับส่วนโค้งของมุม จะต้อง เป็นดังนี้ (ดูรูป PFT-27)

$$p = \left[ \frac{90}{\text{Angularity of tangent line}(\beta)} \right] \sqrt{C \frac{t^2 S}{P}}$$




**รูปที่ 3.13** ระยะห่างของ staybolt ที่อยู่ถัดจากมุมด้านบนของ firebox (PFT-27)

โดยที่

C= เฟกเตอร์สำหรับความหนาของแผ่น plate และ ชนิดของ stay ที่ใช้ ตามข้อกำหนด PG-46

P = ค่าความดันสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้

S= ค่าความเค้นสูงสุดที่อนุญาตตามที่ให้ไว้ในตาราง 1A ของ Section II, Part D

t =ความหนาของแผ่น Plate

$\beta$=มุมเป็นองศา

**PFT-28 Staybolts and Stays**

**PFT-28.1** ขนาดของพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุดของ staybolt และ stay ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดใน PG-49 ค่าความเค้นอนุญาติสูงสุดที่ยอมได้ซึ่งเป็นค่าต่อตารางนิ้ว ณ ตำแหน่งที่พื้นที่หน้าตัดของ Staybolt ที่มีค่าน้อยสุด จะต้องเป็นไปตามที่ไว้ใน Table 1A ใน Section II, Part D ในกรณีที่ Staybolt มีการเจาะรูหรือมีลักษณะกลวง ค่าพื้นที่หน้าตัดจะต้องถูกทอนลงด้วย

**PFT-28.2** ค่าความยาวของ stay ระหว่างจุดยึดจะต้องทำการวัดจากผิวหน้าด้านในของแผ่น plate ที่ยึดอยู่ด้วย stay นั้น ความเค้นจะมีลักษณะเป็นความเค้นดึงเท่านั้น ในการคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นใน diagonal stay หาได้จาก PFT-32

**PFT-28.3** ในกรณีที่มีการยึด stay rod กับแผ่นเหล็กด้วยการเจาะทะลุแล้วร้อยด้วยสกรูและมีการย้ำหัว rivet ด้วยนั้น ระยะยึดของ stay ดังกล่าวไม่ควรห่างกันเกิน 6 ฟุต (1.8 m) ในกรณีที่ stay rod มีความยาวเกิน 6 ฟุต (1.8 มม.) ก็สามารถทำได้ถ้ามีการยึดด้วยน็อตและแหวนรองหรือมีการยึดด้วยวิธีการเชื่อม ตาม PW-19 ทั้งนี้ พื้นที่หน้าตัดต่ำสุดของ stay rod ต้องมีค่าไม่เกินพื้นที่ของหน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว (25 มม.) และต้องเป็นไปตามข้อกำหนด PG-46.8 ด้วย

**PFT-29 Flexible staybolts**ตัวยึดโยงที่มีลักษณะยืดหยุ่นที่มีฝาปิดหัวท้ายเชื่อมต่อเข้ากับแผ่น outer sheet ตามเงื่อนไข PW-15 สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างหม้อน้ำสำหรับยานพาหนะได้ ถ้าตัว bolt ที่นำมาใช้ เป็นแบบเจาะกลวง (hollow-drilled type) จากปลายด้านที่ทำเกลียวมายังหัวของมัน (ball head) เพื่อที่จะทำให้สามารถตรวจสอบได้ภายหลัง และกรณีหากเกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นส่วนนี้ก็จะตรวจพบได้ในลักษณะของการรั่วที่ปลายด้านใน รอยเชื่อมเหล่านี้ไม่มีความจำเป็นต้องทำการอบหลังการเชื่อม และ ไม่จำเป็นต้องทำ radiograph

**PFT-30 แท่ง Crown bars และ คาน Girder stays**

**PFT-30.1** แท่ง crown bars และ คาน girder stays ที่ส่วนบนสุดของห้องเผาไหม้ และ ที่จุดต่อด้านหลัง หรือที่ใดๆก็ตามที่มีการใช้แท่งนี้ จะต้องเป็นไปตามสูตรข้างล่าง

$$P = \frac{Cd^2t}{(W-p)D_1W}$$

เมื่อ

C = 7,000 (48) เมื่อ Girder ถูกยึดไว้ด้วย Bolt ตัวเดียว

C= 10,000 (69) เมื่อ Girder ถูกยึดไว้ด้วย Bolt 2 ถึง 3 ตัว

C = 11,000 (76) เมื่อ Girder ถูกยึดไว้ด้วย Bolt 4 ถึง 5 ตัว

C= 11,500 (79) เมื่อ Girder ถูกยึดไว้ด้วย Bolt 6 ถึง 7 ตัว

C= 12,000 (83) เมื่อ Girder ถูกยึดไว้ด้วย Bolt 8 ถึง 9 ตัว

$D_1$=ระยะห่างระหว่างคาน (Girder) แต่ละตัว จากกึ่งกลางคาน

d = ระยะ dept ของ girder

P = ค่าความดันสูงสุดที่ยอมได้

p = ระยะ pitch ระหว่าง bolt แต่ละตัว ที่นำมายึด

t = ค่า thickness ของ girder

W = ระยะห่างที่สุดระหว่างจุดยึด กรณีของ Scotch boiler คือระยะจากด้านไฟของ tubesheet ไปจนถึงด้านที่สัมผัสแก๊สร้อนของ back connection plate

**ตัวอย่าง** กำหนด W = 34 นิ้ว p = 7.5 นิ้ว $D_1$ = 7.75 นิ้ว d = 7.5 นิ้ว t= 2 นิ้ว และให้มี stay จำนวน 3 ตัว ต่อ girder 1 ตัว C = 10,000 ดังนั้น

$$P = \frac{10,000 \times 7.5^2 \times 2}{(34 - 7.5) \times 7.75 \times 34} = 161.1 \text{ psi}$$

สำหรับ stay แบบลวดสลิง หากมีการใช้ยึดระหว่าง crown bars กับเปลือกหม้อน้ำหรือแผ่น wrapper sheet จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับภาระกรรมทั้งหมดที่เกิดขึ้นให้ได้ โดยไม่คิดความแข็งแรงของ crown bars

**PFT-30.2** ในการเสริมความแข็งแรงของแผ่น crown sheet (ที่ซึ่งตำแหน่งสูงสุดของ firebox มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม และส่วนวงกลมนั้นกางทำมุมไม่เกิน 120 องศา) ด้วยชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรง crown bar รูป arch ตลอดแนวส่วนโค้งจนถึง staybolt แถวแรก (ติดตั้งอยู่ที่ด้านข้างของเตาเผาหรือท่อไฟใหญ่ ซึ่งอยู่ด้านใต้ของแผ่น crown sheet รูปครึ่งวงกลมนั้น) เราสามารถหาความดันสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ โดยเป็นการบวกเพิ่มจากค่าความดันที่คำนวณได้สำหรับเตาเผาแบบเรียบที่มีความหนา ขนาด และความยาวของท่อไฟใหญ่เดียวกัน ตามที่คำนวณได้ใน สูตร PFT-51 ทั้งนี้ ค่าของความดัน $P_1$ คำนวณได้จาก สูตรที่มีการปรับปรุงจาก PFT-23

(US customary Units)

$$P_1 = 10,000,000 \frac{bd^3}{D_1 D^3}$$

(SI Units)

$$P_1 = 69\,000 \frac{bd^3}{D_1 D^3}$$

โดยที่

$b$ = ความกว้างสุทธิของ crown bar

$D$ = สองเท่าของรัศมี crown sheet

$D_1$ = ระยะในแนวตามยาวของชิ้นส่วน crown bar ซึ่งระยะดังกล่าวต้องไม่มากไปกว่าสองเท่าของระยะ pitch ของ staybolt สูงสุดที่ยอมได้

d = ความลึกของแท่ง crown bar

ทั้งนี้ ค่าความดันใช้งานสูงสุดที่ยอมได้ต้องไม่เกินค่าที่คำนวณได้จากสูตรที่ใช้คำนวณสำหรับท่อไฟใหญ่ชนิดแหวนรัด ใน PFT-51 โดยค่า L คือ ค่า $D_1$ นอกจากนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะสำหรับร้อย staybolts ในชิ้นส่วน crown bar จะต้องไม่เกิน $^1/_3$ b

และขนาดพื้นที่หน้าตัดของ crown bar จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4 ตร.นิ้ว (2580 มม.$^2$) ระยะห่างระหว่าง staybolts แต่ละตัว หรือระยะห่างระหว่าง staybolts กับ bolt ที่ยึดติดอยู่กับ sheet หรือ bars ใดๆ จะต้องเป็นไปตาม PG-46 โดยที่ขนาดของ bolt และ staybolt ต้องเป็นไปตามPFT-28

ในการสร้างหม้อน้ำลักษณะที่มีแผ่น crown sheet ไม่เป็นวงกลม จะต้องมีการทดสอบตามที่ระบุไว้ใน PG -100 เพื่อระบุค่าความดันใช้งาน

**PFT-30.3** ไม่อนุญาตให้ใช้เหล็กหล่อในการทำชิ้นส่วนรองรับ ขาตั้ง หรือส่วนปลายฝาปิดต่างๆ

**PFT-31 Stay Tubes**

**PFT-31.1** ในกรณีที่มีการใช้ stay tubes เป็นชิ้นส่วนยึดโยงเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับ Tubesheet ในหม้อน้ำแบบ multi-tubular ขนาดหน้าตัดของท่อเหล่านั้นจะต้องคำนวณตามที่ระบุไว้ใน PG-49

**PFT-31.2** ความหนาของ tubesheet และระยะ pitch ระหว่าง stay tube แต่ละตัวสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$t = \sqrt{\frac{P}{CS}\left(p^2 - \frac{\pi d^2}{4}\right)}$$

$$p = \sqrt{\frac{CSt^2}{P} + \frac{\pi d^2}{4}}$$

C = 2.1 สำหรับ Tubesheet ที่มีขนาดความหนาไม่เกิน 7/16 นิ้ว (11มม.)

C = 2.2 สำหรับ Tubesheet ที่มีขนาดความหนาเกิน 7/16 นิ้ว (11มม.)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกของท่อ

P = ความดันที่ออกแบบ

p = ระยะ pitch สูงสุดที่วัดจากกึ่งกลางของท่อ ที่อยู่ต่างแถวที่ติดกัน ซึ่งอาจเป็นทิศทางในแนวระดับ แนวดิ่ง หรือแนวเฉียง

S = ค่าความเค้นสูงสุดที่อนุญาตสำหรับ วัสดุที่นำมาทำ tubesheet ตามที่ให้ไว้ใน Table 1A ใน Section II Part D

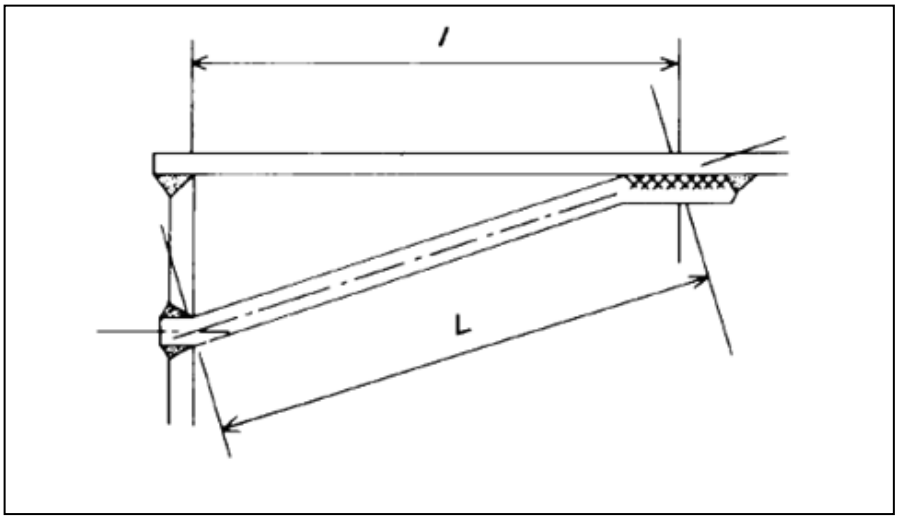
t = ความหนาของ Tubesheet ที่ต้องการ

**PFT-31.3** ในกรณีที่มีการยึด stay tube ในบริเวณพื้นที่มีการเชื่อมต่อท่อไฟเล็กเข้ากับ tubesheet โดยระยะห่างระหว่างท่อไฟเล็กมีค่าน้อยกว่า 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยท่อไฟเล็กเหล่านั้น ก็ไม่จำเป็นต้องมีการคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อ stay tube ดังกล่าวตามเกณฑ์ที่ให้ไว้

**PFT-31.4** ท่อ stay tubes ที่มีการยึดติดกับโครงสร้างหม้อน้ำในลักษณะต่าง ๆดังที่ให้ไว้ใน PFT-12.1

**PFT-32 ความเค้นที่เกิดขึ้นใน Diagonal stays**

**PFT-32.1** ในการคำนวณพื้นที่ของ diagonal stays ให้ทำการคูณพื้นที่ของ direct stay ที่ต้องใช้ในการรองรับพื้นที่ ด้วยความยาว slant หรือความยาวในแนว diagonal ของ stay นั้น จากนั้นทำการหารผลคูณที่ได้ ด้วยความยาวของเส้นที่ลากทำมุมราบจากพื้นผิวที่ได้รับการเสริมความแข็งแรงนั้นไปยังจุดกึ่งกลางของฐาน diagonal stay ตามรูป PFT-32




**รูปที่ 3.14** ภาพแสดงลักษณะของ DIAGONAL STAYS (PFT-32)

$$A = aL / l$$

โดย

A = พื้นที่หน้าตัดของ diagonal stay

a = พื้นที่หน้าตัดของ direct stay

L = ความยาวของ diagonal stay ตามรูป PFT-32

*l* = ความยาวของเส้นที่ลากทำมุมราบจาก boiler head หรือพื้นผิวที่ถูกค้ำยันไปยังกึ่งกลางฐานของ diagonal stay ตามที่ระบุไว้ในรูป PFT-32

**ตัวอย่าง** ให้ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นส่วนค้ำยันแบบ direct stay = 1 นิ้ว a = 0.7854 ตร.นิ้ว L = 60 นิ้ว l = 48 นิ้ว

$A = (0.7854 \times 60) / 48 = 0.98 \text{ in}^2$ ซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่หน้าตัดของ diagonal stay

ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของ Diagonal stay มีค่าเท่ากับ 1.11 นิ้ว หรือ $1^1/_8$ นิ้ว นั่นเอง

**PFT-51 การคำนวณหาค่าความดันสูงสุดที่อนุญาต**

**PFT-51.1**

ความดันสูงสุดที่อนุญาตของชิ้นส่วนสำคัญต่างๆ สามารถคำนวณได้ในเนื่อหาต่อจากนี้ ในส่วนของการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับความดันจากภายนอก ให้ไว้ใน Section II, Part D, Subpart 3

**หมายเหตุ** ผู้ออกแบบจะต้องระมัดระวัง ค่าของอุณหภูมิที่แท้จริงของวัสดุที่นำมาใช้ทำหม้อน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากค่าดังกล่าว สัมพันธ์โดยตรงกับค่าอัตราการเผาไหม้ในเตาเผา ชนิดของเชื้อเพลิง และความดันที่ออกแบบ อุณหภูมิ 700°F (370°C) จะไม่เหมาะใช้ในกรณีที่ต้องการออกแบบที่ความดันสูงขึ้น เนื่องจากตัวห้องเผาไหม้จะมีความหนาเพิ่มขึ้น และต้องถ่ายเทความร้อนในปริมาณมากขึ้นด้วย

**PFT-51.1** สัญลักษณ์ต่างๆ

A = ค่าเฟกเตอร์สำหรับ Fig.G ใชช้กับทรงกระบอกที่มีค่า $D_0 / t$ น้อยกว่า 10 ดู PFT-51.1.2(b)

$A_S$ = พื้นที่หน้าตัดของแหวนรัดท่อไฟใหญ่

B = ค่าเฟกเตอร์ที่ได้จาก ตารางวัสดุ ใน Section II, Part D สำหรับ อุณหภูมิของวัสดุที่ออกแบบ

$D_0$= Modulas of Electicity ของวัสดุที่อุณหภูมิออกแบบ

$I_S$ = ค่า Moment of Inertia ที่ต้องการของ stiffening ring รอบแกน nutral อ้างอิงตามแนวของท่อไฟใหญ่

L= ความยาวสุทธิ ของเตาเผา เลือกเอาค่าที่มากที่สุดระหว่าง

(a) ระยะระหว่างกึ่งกลางของ stiffening ring ที่อยู่ติดกัน

(b) ระยะระหว่างกึ่งกลางของ stiffening ring ตัวแรก กับ tubesheet

(c) ระยะระหว่างกึ่งกลางของ stiffening ring ตัวแรก ไปยังแนวเส้นรอบวงของ head ที่ระยะหนึ่งในสามของความลึกเมื่อวัดจากเส้นสัมผัส head

$L_s$ = กึ่งหนึ่งของระยะจากกึ่งกลางของ stiffening ring ไปยังแนวรองรับด้านหนึ่ง บวกด้วยกึ่งหนึ่งของระยะที่วัดจากแนวกึ่งกลางของเตาไปยังแนวจุดรองรับอีกด้านหนึ่ง ทั้งนี้แนวจุดรองรับหมายถึง

(a) แนวที่มีแหวนรองรับที่เป็นไปตามข้อกำหนด PFT-17.11

(b) แนวจุดเชื่อมต่อตลอดเส้นรอบวงของท่อไฟใหญ่กับ tubesheet หรือ jacket ของเปลือกหม้อน้ำ

(c) แนวเส้นรอบวงของ head ที่ระยะหนึ่งในสามของความลึกเมื่อวัดจากเส้นสัมผัส head

P = ความดันภายนอกที่ออกแบบ

$P_a$ = ค่าความดันที่คำนวณได้ สำหรับ ความหนา t ที่สมมุติขึ้น

S = ค่าความเค้นอนุญาตที่อุณหภูมิออกแบบ

t = ค่าความหนาที่น้อยที่สุดของท่อไฟใหญ่หรือท่อ

$t_S$ = ความหนาบ่งชี้ของท่อไฟใหญ่หรือท่อ

**PFT-51.1.2 ห้องเผาไหม้ชนิดทรงกระบอก และท่อต่าง ๆ**

**(a)** กรณี $D_0/t$ มากกว่าหรือเท่ากับ 10

**ขั้นที่ 1** กำหนดค่า $L/D_0$ และ $D_0/t$

**ขั้นที่ 2** เปิดตาราง Fig. G ใน Section II Part D ระบุตำแหน่งค่า $L/D_0$ และ $D_0/t$ ที่กำหนดจาก ขั้นที่ 1 บนกราฟ

**ขั้นที่ 3** จากจุดที่ได้ ลากเส้นแนวดิ่งมาหาค่า A

**ขั้นที่ 4** เปิดตาราง Section II Part D พิจารณาวัสดุที่เลือกใช้ กับค่า A ที่ได้ ณ อุณหภูมิที่ออกแบบ ระบุตำแหน่งในกราฟ กรณีที่ค่า A ตกอยู่ในตำแหน่งด้านซ้ายมือของเส้นอุณภูมิของวัสดุที่พิจารณา ให้ข้ามไปขั้นตอนที่ 7

**ขั้นที่ 5** จากจุดที่ได้ ลากเส้นแนวนอนมาหาค่า B

**ขั้นที่ 6** คำนวณหาค่าความดัน จากสูตร

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$$

**ขั้นที่ 7** กรณีที่ค่า A ตกอยู่ในตำแหน่งด้านซ้ายมือของเส้นอุณหภูมิของวัสดุที่พิจารณา

$$P_a = \frac{2AE}{3(D_o/t)}$$

**ขั้นที่ 8** เปรียบเทียบผลระหว่าง P กับ $P_a$ หาก P มีค่ามากกว่า ให้เพิ่มความหนาวัสดุ จน Pa มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ P

**(b)** กรณี $D_0/t$ น้อยกว่า 10

**ขั้นที่ 1** ทำเช่นเดียวกับกรณีแรก เพื่อหาค่า B ในกรณีที่ $D_0/t$ น้อยกว่า 4 ค่า A หาได้ดังนี้

$$A = \frac{1.1}{(D_o/t)^2}$$

หากค่าที่คำนวณได้น้อยกว่า 0.10 ให้ใช้ 0.10

**ขั้นที่ 2** ค่า B ที่ได้นำมาใช้คำนวณหาค่า $P_{a1}$

$$P_{a1} = \left[\frac{2.167}{D_o/t} - 0.0833\right] B$$

**ขั้นที่ 3** คำนวณหาค่า $P_{a2}$

$$P_{a2} = \frac{2S_B}{D_o/t}\left[1 - \frac{1}{D_o/t}\right]$$

$S_B$ คือ ค่าใดค่าหนึ่งที่เป็นค่าที่น้อยกว่า ระหว่าง:

- 2 เท่าของค่าความเค้นอนุญาตสูงสุด ที่ได้จาก Table 1A และ 1B ของ Section II, Part D หรือ
- 1.8 เท่าของ ความเค้นจำนน ของวัสดุ ณ อุณหภูมิที่ออกแบบ จาก ตาราง Table Y-1 ของ Section II, Part D

**ขั้นที่ 4** ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $P_{a1}$ กับ $P_{a2}$ คือค่าที่นำมาเปรียบเทียบกับกับค่าของ $P_a$ หาก P มีค่ามากกว่า ให้เพิ่มความหนาวัสดุ จน Pa มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ P

# 3.4 ส่วนข้อกำหนดสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้า : Part Electrical Boiler (PEB)

**ข้อกำหนดทั่วไป**

**PEB-1** ข้อกำหนดในบทเรื่อง PEB พึงนำไปใช้กับหม้อน้ำไฟฟ้า และส่วนประกอบต่างๆ โดยใช้ร่วมกับข้อกำหนดทั่วไปในบท PG อีกทั้งต้องใช้ร่วมกับข้อกำหนดเฉพาะต่างๆ ที่ต้องใช้กับชิ้นส่วนที่นำมาประกอบเป็นหม้อน้ำชนิดนี้

**ขอบเขต**

**PEB-2** ส่วนนี้มีข้อพิเศษสำหรับการก่อสร้างของหม้อน้ำไฟฟ้าทั้งแบบขั้วไฟฟ้าและแบบความต้านทานที่จุ่มอยู่ในน้ำ ข้อกำหนดในส่วนนี้จะไม่รวมถึงหม้อน้ำหรือภาชนะความดันที่มีการใช้ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอก ไม่ว่าจะเป็นลวดความต้านทานไฟฟ้าขดลวดเหนี่ยวนำหรือลักษณะอื่นๆ

**PEB 2.2** หม้อน้ำไฟฟ้าและชิ้นส่วนดังกล่าวที่ไม่เกิน ขนาด ปริมาณ หรือความดัน ตามที่กำหนดไว้ใน PMB-2 อาจถูกสร้างด้วยการใช้ข้อบังคับของส่วน PMB ร่วมกับส่วน PEB นี้

**PEB 2.3** หม้อน้ำชนิดขั้วไฟฟ้าจะหมายถึง หม้อต้มน้ำไฟฟ้าที่ความร้อนถูกสร้างขึ้นโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในน้ำ โดยให้น้ำเป็นตัวนำไฟฟ้า

**PEB 2.4** หม้อน้ำชนิดความต้านทานไฟฟ้าความต้านทาน หมายถึงห ม้อต้มน้ำไฟฟ้าที่ความ-ร้อนถูกสร้างขึ้นโดยการผ่านของกระแสไฟฟ้าเข้าไปในลวดความต้านทานไฟฟ้าซึ่งแช่อยู่ในน้ำ

**PEB-3 ข้อกำหนดที่ที่สามารถเลือกใช้ สำหรับภาชนะรับความดันหม้อน้ำ**

ภาชนะรับความดันหม้อน้ำที่อาจจะสร้างให้เป็นไปตาม ASME Pressure Vessel Code Section VIII, Division 1, ที่ว่าด้วยกฎระเบียบสำหรับหม้อน้ำที่ไม่ใช้เชื้อเพลิง (UW-2 (c)) ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้ใน PEB-3.1 ถึง 3.4

**PEB 3.1** ผู้ผลิตผู้ซึ่งให้การรับรองและทำการประทับตราหม้อน้ำที่เสร็จสมบูรณ์จะต้องเป็นผู้ได้รับตรา "U" stamp โดยสามารถทำตามข้อกำหนดเพิ่มเติมในส่วนของ PEB ได้ นอกเหนือจากความในหมวด VIII, Division 1 และต้องทำให้มั่นใจว่าได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดเหล่านี้

**PEB 3.2** เหล่านี้เป็นข้อกำหนดเพิ่มเติม

**PEB-3.2.1** วัสดุในการก่อสร้างให้เป็นไปตามความต้องการของ PEB-5.1 PEB-5.3

**PEB 3.2.2** การเปิดการตรวจสอบจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของ PEB–10

**PEB 3.3** ภาชนะรับความดันหม้อน้ำที่จะต้องประทับด้วยรหัสสัญลักษณ์ "U" stamp และตัวอักษร "UB" และต้องมีการบันทึกในเอกสารตามแบบ ASME U -1 หรือ U -1A เพื่อรายงานผลข้อมูล

**PEB 3.4** เอกสารหลักของแบบรายงานข้อมูล P - 2A สำหรับหม้อน้ำไฟฟ้าดังกล่าวต้องระบุว่า "ภาชนะรับความดันไอน้ำสร้างขึ้นตาม Section VIII, Division 1 ตามที่ “PEB” กำหนดไว้

## อุปกรณ์เครื่องมือ

### PEB-5 บททั่วไป

**PEB 5.1** วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างชิ้นส่วนความดันสำหรับหม้อน้ำแรงดันชนิดหม้อน้ำไฟฟ้าให้เป็นไปตาม เงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งของข้อกำหนดใน Section II เว้นแต่จะได้รับอนุญาตเป็นการเฉพาะจากมาตรฐานอื่นๆ ทั้งนี้ จะต้องเป็นไปตาม PG-6, PG-7, PG-8 และ PG-9 ที่ค่าความเค้นอนุญาตเป็นไปตามในตาราง 1A และ 1B ของ Section II, Part D ส่วนเบ็ดเตล็ดของชิ้นส่วนรับความดัน ก็ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ PG - 11

**PEB-5.2** เปลือกที่ไม่มีรอยต่อ จาน หรือหัวของหม้อน้ำไฟฟ้า จ ะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 3/16 นิ้ว (5 มม. )

**PEB-5.3** หม้อน้ำไฟฟ้าชนิด ลวดความต้านทานจุ่มอยู่ในน้ำ อาจสร้างจากเหล็กสแตนเลส austenitic 304, 304L, 316, 316L และ 347 ที่แสดงไว้ใน PG และ PG-6 และ PG-9 โดยมีข้อควรระวังที่ระบุว่า หม้อน้ำจะต้องใช้เพียงน้ำกลั่นปราศจากไอออน ซึ่งอนุญาตให้มีสื่อกระแสไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 1 microSiemen ต่อ ซม. (1$\mu$S/cm) (ความต้านทานจำเพาะต่ำสุดไม่ต่ำกว่า 1 megohm ต่อ ซม. (1 M$\Omega$) ซม. )) และมีการทำเครื่องหมายอย่างชัดเจนในหม้อน้ำในตำแหน่งที่มองเห็นได้

## การออกแบบ

### PEB-8 บททั่วไป

**PEB 8.1** กฎระเบียบต่อไปนี้ใช้เฉพาะในการออกแบบของหม้อน้ำไฟฟ้าและชิ้นส่วนดังกล่าว โดยจะถูกนำไปใช้ร่วมกับข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการออกแบบใน Part PG นอกจากนี้ส่วนของข้อกำหนดที่ต้องการใช้เป็นการเฉพาะในส่วนของ PMB สำหรับหม้อน้ำขนาดเล็กควรถูกนำมาใช้ด้วยตามความเหมาะสม

**PEB8.2** ความรับผิดชอบต่อการออกแบบของหม้อน้ำไฟฟ้าที่ทำเครื่องหมายด้วยสัญลักษณ์ “E” จะเป็นของผู้ถือแสตมป์ “E”

**PEB-9 การเชื่อม**หม้อน้ำไฟฟ้าอาจจะสร้างโดยการเชื่อมหลอมละลายตามทุกความต้องการของหมวดนี้ ยกเว้นว่าการอบด้วยความร้อนในตำแหน่งที่ทำการเชื่อม การถ่ายภาพรังสีของข้อต่อเชื่อมและการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ได้อธิบายไว้ใน PG - 93.1 ไม่ต้องจำเป็นต้องนำมาใช้หากไม่มีการละเมิดเงื่อนไขใน PMB - 2.1

**PEB-10 ช่องเปิดสำหรับการตรวจสอบ**

**PEB-10.1** การออกแบบที่ถอดฝาครอบของหม้อน้ำไฟฟ้าหรือถอดออกได้ภายในองค์ประกอบที่ให้ความร้อนไฟฟ้าที่จะอนุญาตให้เข้าใช้งานสำหรับการตรวจสอบและการทำความสะอาดและมีปริมาณภายใน (ไม่รวมท่อและฉนวนกันความร้อน) ไม่เกิน 5 $ft^3$ (0.14m3) ไม่จำเป็นต้องได้รับการติดตั้งกับช่องเปิดของความล้มเหลวสินเชิงหรือการตรวจสอบ

**PEB 10.2** หม้อน้ำไฟฟ้าที่มีขนาดมากกว่า 5$ft^3$ (0.14m3) ไม่ได้จัดให้ใช้แบบที่มีฝาปิด ควรจะต้องมีการเปิดการตรวจสอบ หรือท่อพักสายที่ตั้งอยู่ในส่วนล่างของเปลือก หรือหัว การเปิดการตรวจสอบจะต้องไม่เล็กกว่า NPS 3 (DN 80) นอกจากนี้หม้อน้ำไฟฟ้าของความต้านทานความร้อนชนิดองค์ประกอบการออกแบบมาสำหรับบริการอบไอน้ำให้มีการเปิดการตรวจสอบหรือท่อพักสายที่ปกติหรือใกล้เส้นปกติของน้ำ

**PEB-11 การจัดหาสำหรับการป้อนน้ำ**

**PEB-11.1** แหล่งน้ำสำหรับการป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำไฟฟ้าจะต้องสามารถสนองความต้องการใช้ของ PG - 61 การป้อนเข้าจะต้องเชื่อมต่อไปยังหม้อน้ำไฟฟ้าไม่ให้มีขนาดเล็กกว่า NPS ½ (DN 15), ยกเว้นที่อนุญาตตาม PMB - 11

**PEB-11.2** หม้อไฟฟ้าที่ไม่เกินขนาดปริมาณหรือจำกัดความดันของ PMB- 2, อาจมีการป้อนเข้าส่งผ่านพัดปิด-เปิดได้ตามต้องการ

**PEB-12 การระเบิดออก, แรงดัน**

**PEB 12.1**แรงดันท่อแต่ละภาชนะรับความดันหม้อต้มน้ำไฟฟ้าที่มีปริมาณน้ำปกติไม่เกิน100 สาว (380 L) จะต้องขยายเวลาผ่านเพียงหนึ่งวาล์ว

**PEB-12.2** ขนาดขั้นต่ำของการระเบิดออกท่อและข้อต่อจะเป็น NPS 1 (DN 25) เว้นแต่สำหรับหม้อน้ำ 200 กิโลวัตต์หรือน้อยกว่าขนาดต่ำสุดของท่อและข้อต่ออาจจะเป็น NPS ¾ (DN 20)

หม้อน้ำไฟฟ้าที่ไม่เกินขนาดปริมาณหรือจำกัดความดันของ PMB - 2 อาจมีการระเบิดปิดการเชื่อมต่อตาม PMB – 12

**PEB-13 ตัวชี้วัดระดับน้ำ**

**PEB 13.1** ขั้วไฟฟ้าของหม้อน้ำไฟฟ้าชนิดนี้จะต้องมีกระจกวัดระดับอย่างน้อยที่สุด กระจกวัดระดับน้ำควรจะตั้งอยู่ เพื่อบ่งชี้ถึงระดับน้ำทั้งในการเริ่มต้นและภายใต้สภาวะที่โหลดไอน้ำสูงสุดที่จัดตั้งขึ้นโดยผู้ผลิต

**PEB-13.2** หม้อน้ำไฟฟ้าชนิดองค์ประกอบของความต้านทานจะต้องมีกระจกอย่างน้อยในช่วงที่แสดงระดับน้ำต่ำสุดที่มองเห็นในกระจกให้เป็นประกันจะต้องไม่น้อยกว่า 1 ใน (25มม.) เหนือระดับน้ำต่ำสุดที่อนุญาตตามที่กำหนดโดยผู้ผลิตหม้อต้มน้ำไฟฟ้าแต่ละประเภทนี้จะต้องได้รับการติดตั้งเครื่องตัดน้ำต่ำอัตโนมัติในแต่ละภาชนะรับความดันหม้อน้ำที่ตั้งอยู่เพื่อให้โดยอัตโนมัติตัดไฟเพื่อให้ความร้อนก่อนองค์ประกอบของพื้นผิวของน้ำลดลงต่ำกว่าระดับที่มองเห็นได้ในช่วงกว้างรางรถไฟ กระจก

**PEB-13.3** ท่อกระจกวัดระดับในหม้อน้ำไฟฟ้าจะต้องติดตั้งแท่งหรือโล่ป้องกัน

**PEB-14 มาตรวัดความดัน** มาตรวัดความดันให้ตรงกับความต้องการของ PG - 60.6

**PEB-15 วาล์วใช้ในการลดความดันเกินในของเหลว**

**PEB-15.1** หม้อน้ำไฟฟ้าแต่ละตัวจะต้องมีวาล์ววาล์วใช้ในการลดความดันเกินในของเหลวหรือวาล์วใช้ในการควบคุมหรือจำกัดแรงดันในระบบ หม้อน้ำไฟฟ้ากับพลังงานที่ส่งเข้าไปมากกว่า

1,100 กิโลวัตต์จะต้องมีการใช้ในการลดความดันเกินในของเหลวจำนวน 2 วาล์ว หรือมากกว่า 2 วาล์ว หรือวาล์วใช้ในการควบคุมหรือจำกัดแรงดันในระบบ

**PEB-15.2** วาล์วใช้ในการลดความดันเกินในของเหลวหรือวาล์วใช้ในการควบคุม สำหรับหม้อน้ำไฟฟ้าจะต้องเติมเข้าไป 3 ½ lb / hr / kW (1.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อกิโลวัตต์) การตั้งค่าความดันจะต้องประทับตราไม่สูงกว่า MAWP ในหม้อน้ำให้เสร็จสมบูรณ์ (ดู PEB - 18.3.2)

**PEB-16 อุปกรณ์อัตโนมัติ** หม้อน้ำไฟฟ้าต้องจัดให้มีแรงดันและ / หรือตัวควบคุมอุณหภูมิและตัดเชื้อเพลิงอัตโนมัติน้ำต่ำ ตัดน้ำไม่ต่ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับหม้อน้ำชนิดไฟฟ้า

**PEB-17 การทดสอบเครื่องกำเนิดพลังงาน**

**PEB-17.1** หม้อน้ำไฟฟ้าแต่ละตัวที่มีความดันไฟฟ้าจะมีการทดสอบจากเครื่องกำเนิดพลังงานให้เสร็จสิ้น ซึ่งจะต้องทำให้สอดคล้องตาม PG - 99 หรือ PMB - 21, ตามความเหมาะสม

**PEB-17.2** นอกเหนือจากข้างต้น หลังจากการประกอบภาชนะได้รับความดันที่ประกอบทางกลและตัดท่อภายนอกหม้อน้ำไฟฟ้าที่สมบูรณ์จะต้องได้รับการทดสอบจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขั้นสุดท้ายที่ความดันไม่น้อยกว่า 1 ½ ครั้ง MAWP ของภาชนะรับความดัน หม้อน้ำไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีการตัดแต่งเพื่อทำงานที่น้อยกว่า MAWP ของภาชนะรับความดันจะได้รับการทดสอบจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความดันไม่น้อยกว่าวาล์วที่ใช้ในการลดความดันเกินในของเหลว

**PEB-17.3** เมื่อหม้อน้ำไฟฟ้าที่จะทำเครื่องหมายด้วยสัญลักษณ์ “E” ซึ่งเป็นสัญลักษณ์จะถูกนำมาใช้หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบของเครื่องกำเนิดพลังงาน ใน PEB - 17.2

**PEB-18 การตรวจสอบและปั๊มขึ้นรูปของหม้อน้ำ**

การตรวจสอบของหม้อน้ำไฟฟ้าให้เป็นไปตามความต้องการของ PG และ PG - 90.1 - 90.3 การรู้เห็นโดยให้สิทธิ์ตรวจสอบการทดสอบพลังน้ำที่จำเป็นใน PEB - 17.2 สำหรับหม้อน้ำที่เสร็จสิ้นอาจจะละเว้นสำหรับหม้อน้ำไฟฟ้าที่ตอบสนองทุกข้อจำกัดดังต่อไปนี้

(a) จำนวนสูงสุด 800 กิโลวัตต์ต่อภาชนะใส่ของเหลว

(b) จำนวนสูงสุด 600 V

(c) กลประกอบหม้อน้ำจากท่อชั้นนอก (BEP) เท่านั้น

เมื่อผู้ตรวจสอบให้สิทธิในการตรวจไม่ทำการตรวจสอบขั้นสุดท้ายของหม้อน้ำให้เสร็จสิ้น, ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบจะทำให้การตรวจสอบเทียบเท่า สอบเทียบให้เป็นไปตามที่มีการประชุมขั้นตอนการควบคุมคุณภาพความต้องการของ PEB - 18.2 และ PEB - 18.5

**PEB-18.1.1** หม้อน้ำไฟฟ้าที่มีขนาดเกินข้อจำกัดที่ระบุไว้ใน PEB - 18.1, และมีเพียงท่อภายนอกประกอบทางกล (BEP) และตัดแต่ง จะต้องมีการตรวจสอบขั้นสุดท้ายโดยให้สิทธิ์ผู้ตรวจสอบ ผู้ซึ่งจะเป็นผู้รู้เห็นการทดสอบเครื่องกำเนิดพลังงาน ที่เรียกกันใน PEB - 17.2

**PEB-18.1.2** สำหรับหม้อน้ำไฟฟ้ามีการเชื่อมหรือประสานท่อภายนอกของหม้อน้ำ (BEP) หรือการตัดแต่ง, การตรวจสอบความต้องการของ PG - 90.1 และความต้องการทดสอบ hydrostatic ของ PG - 99 ที่มีผลบังคับใช้

**PEB-18.2** ผู้ผลิตต้องยอมปฏิบัติตามความต้องการเพื่อที่จะนำไปใช้ได้ของ PG-104 และ PG-105.

**PEB 18.2.1** หม้อน้ำไฟฟ้าของผู้ผลิตหรือผู้ประกอบสามารถสมัครหรือต่ออายุของแสตมป์ “E” ต้องมีสิ่งอำนวยความสะดวกและองค์กรของตนอาจมีการตรวจสอบร่วมกันโดยมีอำนาจตรวจสอบของหน่วยงานและเขตอำนาจตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง (ดูย่อหน้าสุดท้ายของ PG - 105.4)

**PEB-18.2.2** ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบถือครองแสตมป์ “E”และหน่วยผู้ประกอบที่ตรวจสอบร้านสุดท้ายคือไม่จำเป็นต้องทำตาม (ดู PEB - 18.1) จะอยู่ภายใต้การตรวจสอบเป็นระยะ ๆ โดยมีอำนาจตรวจสอบของสำนักงาน การตรวจสอบจะต้องดำเนินการทำเป็นประจำทุกไตรมาสหรือ

หากเห็นว่าจำเป็น โดยตัวแทนของผู้มีอำนาจตรวจสอบ ความถี่ในการตรวจสอบนี้อาจจะลดลงไปตามข้อตกลงที่เขียนระหว่างการผลิตหรือประกอบและหน่วยงานตรวจสอบและอนุมัติเป็นลายลักษณ์อักษรของเขตอำนาจตามกฎหมายที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามในกรณีที่ไม่มีการตรวจสอบจะต้องมีการตรวจสอบหนึ่งครั้งอย่างน้อยทุกๆ 6 เดือน

**PEB-18.3** การประทับตราของหม้อน้ำไฟฟ้าต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ PG - 106 หม้อน้ำไฟฟ้าที่เสร็จสมบูรณ์จะต้องมีการทำเครื่องหมายด้วย "S" หรือสัญลักษณ์ "M" โดยผู้ผลิตภาชนะที่รับความดันของหม้อน้ำยกเว้นเมื่อภาชนะรับความดันของหม้อน้ำที่ถูกสร้างขึ้นภายใต้ เงื่อนไขของ PEB - 3 (ดู PEB - 18.4) เมื่อตัดแต่งและติดตั้งให้เหมาะสม (เช่นวาล์ว), ท่อเกลียวภายนอกของหม้อน้ำ และ ส่วนเสริมที่เชื่อมต่อกับหม้อต้มน้ำไฟฟ้าโดยผู้ผลิตหรือผู้ประกอบจะไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้การประทับตรา "S" หรือ "M" หม้อน้ำที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ให้ใช้ประทับตราบังคับด้วย "E" ผู้ถือตราแสตมป์นี้จะถูกจำกัดให้ใช้ในวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อหรือประสานกัน

**PEB-18.3.1** การประทับตราของภาชนะรับความดันไอน้ำจะมีที่ตั้งอยู่ที่กล่าวใน PG - 111.8 และไม่จำเป็นต้องระบุกิโลวัตต์ในการวางหรือสูงสุดที่ออกแบบความจุ

**PEB-18.3.2** การประทับตราหม้อน้ำไฟฟ้าที่สมบูรณ์จะต้องอยู่บนแผ่นโลหะที่แยกจากกันและให้เป็นไปตาม PG - 106.4 MAWP ให้เป็นที่จัดตั้งขึ้นโดยผู้ประกอบหม้อน้ำที่สมบูรณ์ ที่เป็นผู้ถือ “S" "M" หรือ" แสตมป์ E" แต่ในกรณีที่สูงกว่า MAWP ไม่มีการประทับตราบนเปลือกหม้อน้ำ MAWP จะต้องรายงานข้อมูลทุกประเภทของหม้อน้ำไฟฟ้า โลหะนี้ต้องได้รับการจัดตั้งการประกอบเพื่อให้สามารถมองเห็นได้และพร้อมปฏิบัติการ

**PEB-18.3.3** การต้องการประทับตรา PEB - 18.3.2 ไม่จำเป็นต้องให้ผู้ตรวจสอบหม้อน้ำไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการตรวจสอบขั้นสุดท้าย เป็นผู้มีอำนาจตรวจสอบ (ดู PEB - 18.1)

**PEB-18.4** สำหรับภาชนะรับความดันของหม้อน้ำที่สร้างขึ้นภายใต้บทบัญญัติของ PEB - 3. การตรวจสอบและความต้องการที่ประทับตราของหมวด VIII, บทที่ 1, UG - 116 (c) สำหรับการบริการพิเศษของภาชนะรับความดัน (UB), ให้เป็นไปตามนี้

**PEB-18.5** บรรดาผู้ผลิตและผู้ประกอบการที่ทำการจัดเตรียมทดสอบขั้นสุดท้ายของหม้อน้ำไฟฟ้าที่สมบูรณ์ เมื่อผู้ตรวจสอบไม่มีผู้ยืนยันร่วมด้วย (ดู PEB - 18.1) ต้องจัดให้มีการรับรู้มากกว่าโดยได้รับการรับรองจากบุคคล (CI)

**PEB-18.5.1** บุคคลที่ได้รับการรับรอง (CI) ต้องเป็นพนักงานของผู้ผลิตหรือผู้ประกอบและจะต้องมีคุณสมบัติบวกกับได้รับการรับรองโดยผู้ผลิตหรือผู้ประกอบ ซึ่งอย่างน้อยจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(ก) ความรู้เกี่ยวกับความต้องการของมาตรานี้สำหรับการประยุกต์ใช้สัญลักษณ์รหัสความรู้

(ข) ความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมที่มีคุณภาพของผู้ผลิต

(ค) การฝึกอบรมที่สอดคล้องกับขอบเขตความซับซ้อนหรือลักษณะพิเศษของกิจกรรมที่มีกาณกำกับดูแลที่จัดเตรียมให้

ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบจะต้องเก็บข้อมูลที่มีหลักฐานตามวัตถุประสงค์ของผู้ที่มีคุณสมบัติที่ผ่านการรับรองของแต่ละบุคคล, การฝึกอบรมและใบผ่านการรับรอง

**PEB-18.5.2** หน้าที่ของบุคคลที่ผ่านการรับรอง (CI) ให้เป็นไปเพื่อให้มั่นใจว่าการใช้สัญลักษณ์ของแต่ละรหัสจะได้รับอนุญาตใน PEB - 18.3.3 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของหมวดนี้และมีเอกสารที่รับรองสอดคล้องกับรูปแบบ P - 2A , รายงานข้อมูลผู้ผลิตของหม้อน้ำไฟฟ้าทุกประเภทยิ่งกว่านั้น CI จะต้อง

(ก) สิ่งที่เป็นจริงของหม้อน้ำไฟฟ้าแต่ละตัวที่มีการใช้สัญลักษณ์รหัสเป็นไปตามข้อกำหนดที่ใช้บังคับทั้งหมดของมาตรานี้

(ข) ลงนามในหนังสือรับรองการสอดคล้อง, P - 2A แบบฟอร์มก่อนที่จะปล่อยการควบคุมหม้อน้ำ

## PEB-19 การรายงานข้อมูลของผู้ผลิตหม้อน้ำไฟฟ้า

**PEB-19.1** แบบฟอร์มนี้ประกอบด้วยสองส่วน ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ว่าจะแล้วเสร็จโดยผู้ผลิตภาชนะรับความดันของหม้อน้ำ ผู้ซึ่งเป็นผู้ถือ “S" หรือประทับตรา “M"และหน่วยงานตรวจสอบของเขา ส่วนที่ 2 เป็นว่าจะแล้วเสร็จโดยผู้ผลิตหรือผู้ประกอบรับผิดชอบในหม้อต้มน้ำไฟฟ้าแล้วเสร็จผู้ซึ่งมีอำนาจที่จะใช้ใด ๆ ของประทับตรา "S","M" หรือ"E"

**PEB-19.2** เมื่อภาชนะรับความดันหม้อน้ำถูกสร้างโดยผู้ถือตราประทับ"U" และได้รับการรับรองรายงานข้อมูลใน U - 1 หรือ U - 1A ข้อมูลรายงานส่วนที่ 1 จะต้องแล้วเสร็จโดยผู้ถือประทับตรา "S","M"หรือ "E"ซึ่งในขอบเขตจะระบุไว้ในคู่มือ – A-351.1

# 3.5 ตัวอย่างการออกแบบชิ้นส่วนหม้อน้ำ

### 3.5.1 ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ท่อรวมไอ (Header)

$$t = \frac{PD}{(2S + P)} + 0.005D + e \qquad \text{PG-27.2.1}$$

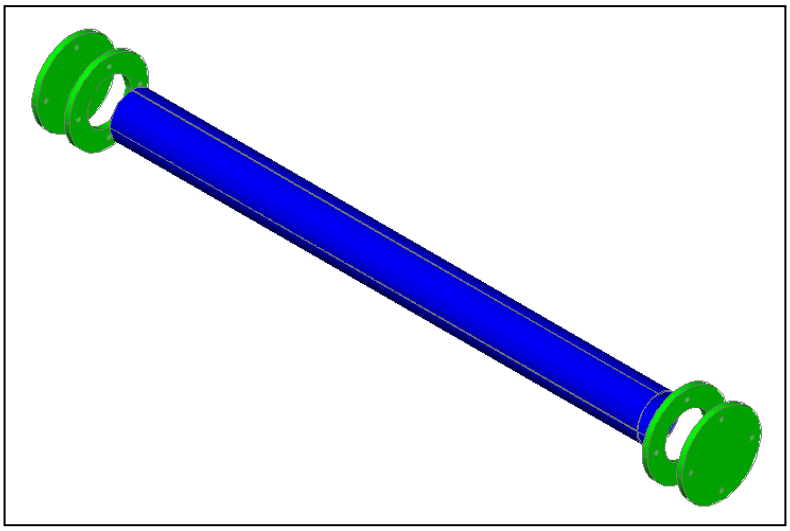
โดยที่ D $\leq$ 125 มม.

$D$ = outside diameter of cylinder

$e$ = thickness factor for expanded tube ends

$P$ = maximum allowable working pressure

$S$ = maximum allowable stress value at the design temperature of the metal, as listed in the tables specified in Table 1A ASME section II D



| | | |
|---|---|---|
| ท่อรวมไอ เส้นผ่านศูนย์กลาง | 125 | มม. |
| ความหนาท่อ ($t_{pipe}$) | 5 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 1.6 | MPa (16 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 200 | C |
| Design Temperature for Superheat | - | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |
| Design Stress Intensity, MPa | 138 | N/มม.2 |

สำหรับท่อ $\phi \leq$ 125 มม. ใช่

PG-27.2.1 $t = PD / (2S + P) + 0.005D + e$ มม.

$D$ =1300 มม.

$t_{pipe}$= 9 มม.

$e$ = 0 สำหรับท่อที่เชื่อม

**หมายเหตุ :** ( e คือ ค่าสำหรับท่อเบ่ง)

P = 1.6 MPa ( **Mpa = N/มม.$^2$**)

S = 138 N/มม.$^2$

= (1.6 x 125) / [(2x138) + 1.6]

T = 0.725+ 0.625+0 มม.

= 1.35 มม.

$t_{pipe} > t_{cal}$: ดังนั้น ความหนา **ท่อรวมไอ** 5 มม.จึงสามารถใช้งานได้

### 3.5.2 ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : เปลือกหม้อน้ำ (SHELL)

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{หรือ} \quad t = \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C \qquad \text{PG-27.2.2}$$

โดยที่ D $\geq$ 125 มม.

*C* = minimum allowance for threading and structural stability

*E* = Joint efficiency

*D* = outside diameter of cylinder

*e* = thickness factor for expanded tube ends

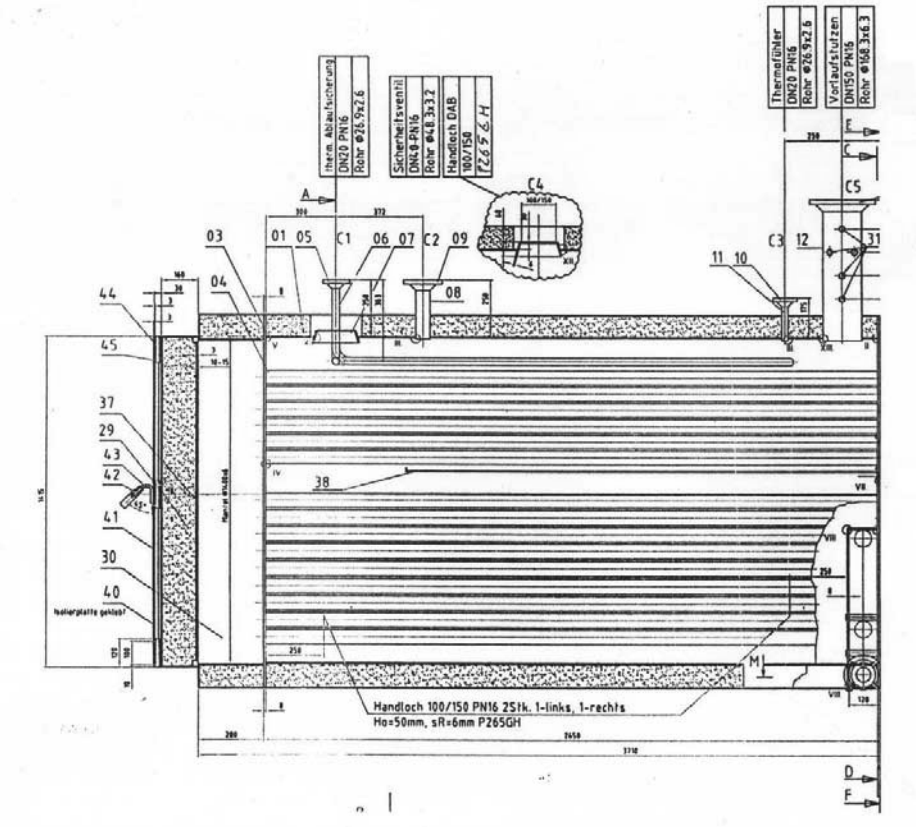
*P* = maximum allowable working pressure

*R* = inside radius of cylinder

*S* = maximum allowable stress value at the design temperature of the metal, as listed in the tables specified in Table 1A ASME section II D

*t* = minimum required thickness

*y* = temperature coefficient



| | | |
|---|---|---|
| เปลือกหม้อน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลาง | 1400 | มม. |
| ความหนาท่อ ($t_{pipe}$) | 6 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 0.6 | MPa (6 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 157 | C |
| Design Temperature for Superheat | - | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |
| Maximum allowance stress | 138 | N/มม.2 |

สำหรับท่อ $\phi \leq$ 125 มม. ไม่ใช่

PG-27.2.2 $t = PD / (2SE + 2yP) + C$ หรือ $PR /[SE - (1 - y)P] + C$ มม.

D = 1400 มม.

$t_{pipe}$ = 6 มม.

E = 0.8

*e* = 0 สำหรับท่อที่เชื่อม หมายเหตุ : ( e คือ ค่าสำหรับท่อเบ่ง)

P = 0.6 MPa ( Mpa = $N/มม.^2$)

S = 138 $N/มม.^2$

y = 0.4 หมายเหตุ : สำหรับ Feritic steel

C = 1 มม.

t = PD / (2SE + 2yP) + C มม.

= {(0.6 x 1400) / [(2x138x0.8) + (2x 0.4x0.6)]} + 1 มม.

= {840 / [220.8 + 0.48]} + 1มม.

= {840 / 221.28} +1 มม.

= 3.79 + 1มม.

= 4.79มม.

**PFT-9.1**

| เส้นผ่าศูนย์กลางภายในตัวหม้อหรือฝา นิ้ว (มิลลิเมตร) | ความหนาที่น้อยที่สุด นิ้ว (มิลลิเมตร) |
|---|---|
| 36 (900) หรือน้อยกว่า | $^1/_4$ (6) |
| มากกว่า 36 (900) ถึง 54 (1350) | $^5/_{16}$ (8) |
| มากกว่า 54 (1350) ถึง 72 (1800) | $^3/_8$ (10) |
| มากกว่า 72 (1800) | $^1/_2$ (13) |

การเปรียบเทียบ $t_{cal} < t_{pipe}$ แต่ไม่สอดคล้องตาม PFT-9.1 ดังนั้น ความหนาเปลือกหม้อน้ำต้องมีขนาด 10 มม.

**3.5.3 ชิ้นส่วนที่ออกแบบ :**

**ฝาส่วนหัวของส่วนรูปครึ่งวงกลม (SEGMENT OF A SPHERE DISHED HEADS)**

ความหนาของฝาปิดหัวที่ไม่ได้ถูกยึดด้วยสเตย์ โดยที่สภาวะความดันจากส่วนเว้าของฝาที่เป็นส่วนหนึ่งรูปครึ่งทรงกลม จะถูกคำนวนความหนาจากสูตร

$$t = 5PL / 4.8S \qquad \textbf{(PG-29.1)}$$

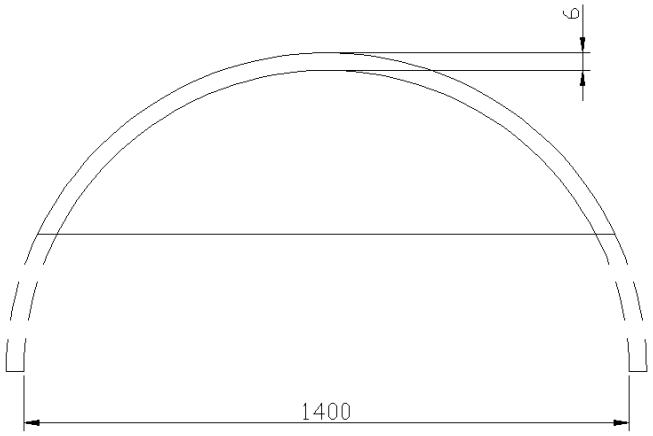
*ที่ซึ่ง*

*L* = radius to which the head is dished, measured on the concave side of the head

*P* = maximum allowable working pressure (hydrostatic head loading need not be included)

*S* = maximum allowable working stress, using values given in Table 1A of Section II, Part D

*t* = minimum thickness of head




| | |
|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลาง | 1400 มม. |
| ความหนา (t) | 6 มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม |
| Design pressure | 1.3 MPa (13 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 191.6 C |
| Design Temperature for Superheat | - C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 C |
| Maximum allowance stress | 138 N/มม.$^2$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *t* | = | 5*PL* / 4.8*S* | มม. |
| P | = | 1.3 | N/มม.$^2$ |
| L | = | 706 | มม. |
| S | = | 138 | N/มม.$^2$ |

$$t = 5PL / 4.8S$$

$$= (5x1.3x706) / (4.8x138)$$

$$= 4589 / 662.4$$

$$= 6.93 \text{ มม.}$$

$t_{cal} < t_{dish}$ ดังนั้น ความหนา**ฝาปิดหัว** 6 มม.ไม่สามารถใช้งานได้ตามสภาวะที่คำนวน

### 3.5.4 ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : Elliptical Head

t = (PDK)/(2SE-0.2P) + Corr

P = maximum allowable working pressure (hydrostatic head loading need not be included)

S = maximum allowable working stress, using values given in Table 1A of Section II, Part D

t = minimum thickness of head

K= จากตาราง 1-4.1

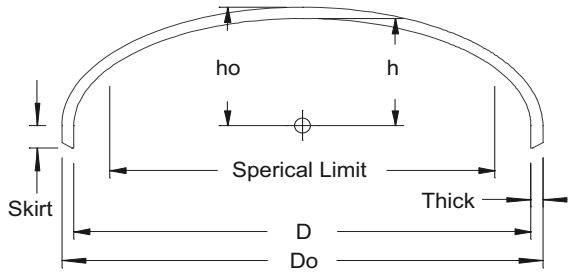
TABLE 1-4.1
VALUES OF FACTOR *K*
(Use Nearest Value of *D*/2*h*; Interpolation Unnecessary)

| *D*/2*h* | 3.0 | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *K* | 1.83 | 1.73 | 1.64 | 1.55 | 1.46 | 1.37 | 1.29 | 1.21 | 1.14 | 1.07 | 1.00 |
| *D*/2*h* | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | . . . |
| *K* | 0.93 | 0.87 | 0.81 | 0.76 | 0.71 | 0.66 | 0.61 | 0.57 | 0.53 | 0.50 | . . . |

$D_0$ = outside diameter

h = Height of Crown

Skirt = ระยะตรงจากขอบ Dish head




| | | |
|---|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลาง ($D_0$) | 1400 | มม. |
| ความหนา (t) | 12 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 1.3 | MPa (13 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 191.6 | C |
| Design Temperature for Superheat | - | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |

Maximum allowance stress 138 $N/มม.^2$

t = (PDK)/(2SE-0.2P) + Corr มม.

P = 1.3 $N/มม.^2$

L = 706 มม.

S = 138 $N/มม.^2$

H = 250 มม.

Skirt = 1.50 มม.

D/2h = 1400/(2x250)

K = 1.64

t = (1.3x1400x1.64)/((2x138x1)-(0.2x1.3))

= 2984.8/275.74

= 10.82 มม.

การเปรียบเทียบ $t_{dish} > t_{cal}$ ดังนั้น ความหนา**ฝาปิดหัว** 12 มม.สามารถใช้งานได้ตามสภาวะที่คำนวน

### 3.5.5 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : เปลือกหม้อน้ำ (SHELL)**

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{หรือ} \quad t = \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C \qquad \text{PG-27.2.2}$$

โดยที่ D $\geq$ 125 มม.

$C$ = minimum allowance for threading and structural stability

$E$ = Joint efficiency

$D$ = outside diameter of cylinder

$e$ = thickness factor for expanded tube ends

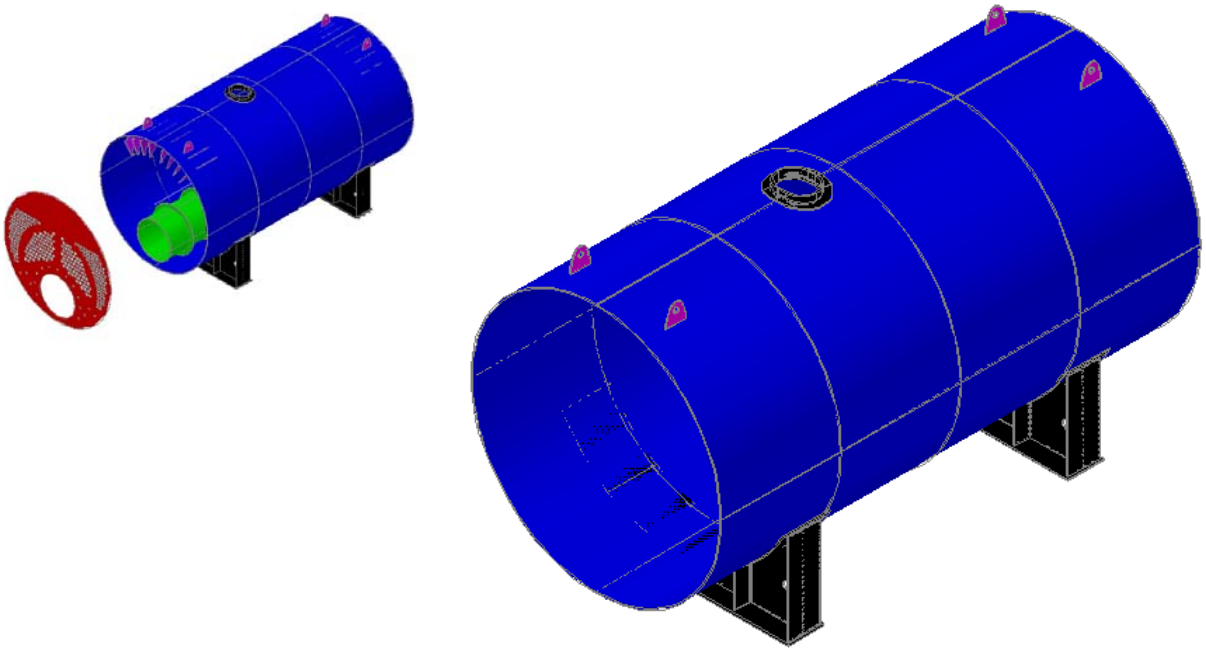
$P$ = maximum allowable working pressure

$R$ = inside radius of cylinder

$S$ = maximum allowable stress value at the design temperature of the metal, as listed in the tables specified in Table 1A ASME section II D

$t$ = minimum required thickness

$y$ = temperature coefficient



| | | |
|---|---|---|
| เปลือกหม้อน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลาง | 1400 | มม. |
| ความหนาท่อ (t) | 12 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 1.3 | MPa (13 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 157 | C |
| Design Temperature for Superheat | - | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |
| Maximum allowance stress | 138 | $N/มม.^2$ |

**สำหรับท่อ $\phi \leq$ 125 มม.** ไม่ใช่

PG-27.2.2 $t = PD / (2SE + 2yP) + C$ หรือ $PR /[SE - (1 - y)P] + C$ มม.

D = 1400 มม.

t = 12 มม.

E = 0.8

P = 1.3 MPa ( **Mpa = $N/มม.^2$**)

S = 138 **$N/มม.^2$**

y = 0.4 หมายเหตุ : สำหรับ Feritic steel

C = 1 มม.

t = PD / (2SE + 2yP) + C มม.

= {(1.3 x 1400) / [(2x138x0.8) + (2x 0.4x1.3)]} + 1 มม.

= {1820 / [220.8 + 1.04]} + 1 มม.

= {1820 / 221.28} +1 มม.

= 8.2 + 1 มม.

= 9.2 มม.

**PFT-9.1**

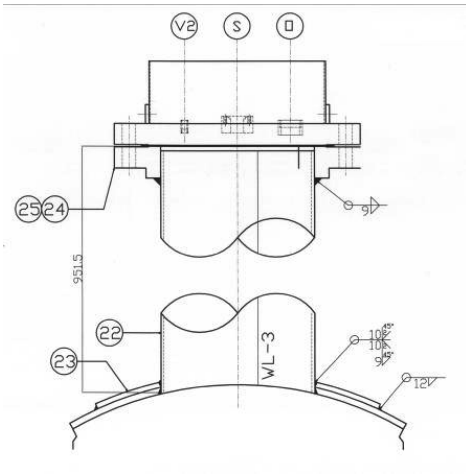
| เส้นผ่าศูนย์กลางภายในตัวหม้อหรือฝา นิ้ว (มิลลิเมตร) | ความหนาที่น้อยที่สุด นิ้ว (มิลลิเมตร) |
|---|---|
| 36 (900) หรือน้อยกว่า | $^1/_4$ (6) |
| มากกว่า 36 (900) ถึง 54 (1350) | $^5/_{16}$ (8) |
| มากกว่า 54 (1350) ถึง 72 (1800) | $^3/_8$ (10) |
| มากกว่า 72 (1800) | $^1/_2$ (13) |

การเปรียบเทียบ $t_{shell}$ (12 มม.) > $t_{cal}$ สอดคล้องตาม PFT-9.1

ดังนั้น ความหนา**เปลือกหม้อน้ำ** ขนาด 12 มม. สามารถใช้งานได้

### 3.5.6 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ช่องเปิด (Opening)**




| | | | |
|---|---|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลางเปลือก (D) | 1745.00 | | มม. |
| เส้นผ่านศูนย์กลางนอซเซิล (dn) | 390.40 | | มม. |
| เส้นผ่านศูนย์กลางแพด (dp) | 750.00 | | มม. |
| CORROSION ALLOWANCE (C) | 1 | | มม. |
| ความหนาเปลือก (t) | 14.00 | | มม. |
| ความหนาเปลือกไม่รวมค่าชดเชย (tr) | 12.00 | | มม. |
| ความหนานอซเซิล (tn) | 8.00 | | มม. |
| ความหนาเนอซเซิล ไม่รวมค่าชดเชย (trn) | 6 | | มม. |
| ความหนาแพดเสริมแรง (te) | 8.00 | | มม. |
| INWARD OF OPENING NECK IN VESSEL (h) | 10.00 | | มม. |
| ประสิทธิภาพการต่อ (Jointing Efficiency) | 1 | | |
| Design pressure | 1.8 | MPa (18 บาร์) | |
| Design Temperature for Saturated | 191.6 | C | |
| Design Temperature for Superheat | - | C | |
| วัสดุ SHELL SA-516 G70 ที่ 200 C (Sv) | 138 | $N/มม.^2$ | |
| วัสดุ Nozzle SA 53 Gr. A ที่ 200 C (Sn) | 80.7 | $N/มม.^2$ | |
| วัสดุ PAD SA-516 G70 ที่ 200 C (Sp) | 138 | $N/มม.^2$ | |
| REQUIRED THICKNESS OF OPENING NECK | | P(Rn+C)/(SnE-0.6P) | มม. |

F1 จาก Chart PG-33.3

Fr1 (Sn/Sv) = 0.58

Fr2 = (ค่าที่น้อยที่สุดของSn หรือ Sp/Sv) 0.58

Fr3 (Sp/Sv) = 1

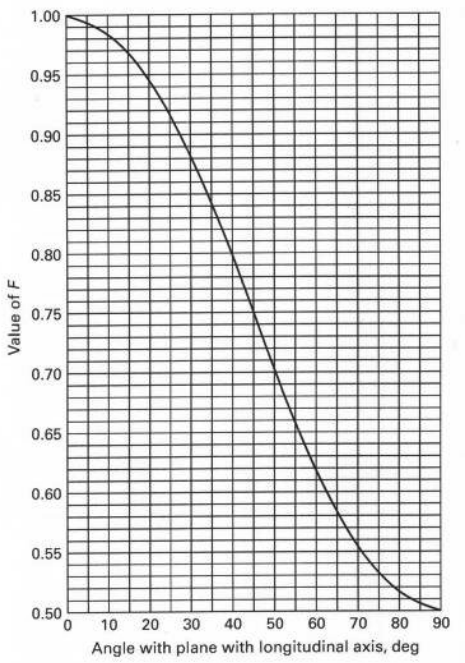



FIG. PG-33.3 CHART FOR DETERMINING VALUE OF *F*

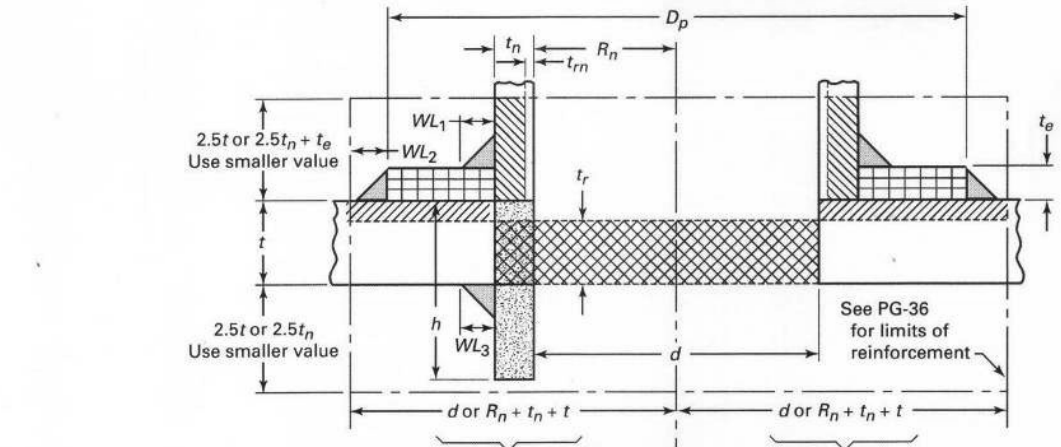
| | | |
|---|---|---|
| A | (dn+2tn)trF | |
| | (390.4+2x8)x(12x1) | Sq.มม. |
| | 4876.8 | Sq.มม. |
| A1 | (dn +2tn)(t-Ftr) | |
| | (390.4+2x8)x[14-(12x1)] | Sq.มม. |
| | 812.8 | Sq.มม. |
| หรือ A1 | 2t(t-Ftr) | |
| | (2x14)x[14-(1x12)] | Sq.มม. |
| | 56 | Sq.มม. |
| A2 | 2(tn-trn)(2.5tFr1) | |
| | 2x(8-6)x(2.5x14x0.58) | Sq.มม. |
| | 81.2 | Sq.มม. |
| หรือ A2 | 2(tn-trn)(2.5tn + te)Fr1 | |
| | 2x(8-6)x(2.5*14+8)x0.58 | Sq.มม. |
| | 99.76 | Sq.มม. |

| | | |
|---|---|---|
| A3 | 2tnFr1h | |
| | 2x8x0.58x10 | Sq.มม. |
| | 92.8 | Sq.มม. |
| AREA AVAILABLE IN OUTWARD | | |
| NOZZLE WELD (A41) | $(LEG)^2$*Fr2 | |
| | $8^2$x 0.58 | Sq.มม. |
| | 37.12 | Sq.มม. |
| AREA AVAILABLE IN OUTTER | | |
| ELEMENT WELD(A42) | $(LEG)^2$*Fr3 | |
| | $8^2$x 1.00 | Sq.มม. |
| | 64.00 | Sq.มม. |
| AREA AVAILABLE IN INWARD NOZZLE | | |
| WELD(A43) | $(LEG)^2$*Fr1 | |
| | $8^2$x 0.58 | Sq.มม. |
| | 37.12 | Sq.มม. |
| A4 (A41+A42+A43) | 138.24 | Sq.มม. |
| Area available in element (A5) | (Dp – d -2tn).te.Fr3 | |
| | (750.0 - 390.4-2x8) x 8 x 1 | Sq.มม. |
| | 2748.8 | Sq.มม. |

ตรวจสอบสถานะ $\sum$ A = 3117.04 Sq.มม. < A (4876.8 Sq.มม.)

การเปรียบเทียบ

ดังนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดมีขนาดมากเกินไป หรือ แผ่นแพดมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยไป




For nozzle wall inserted through the vessel wall — For nozzle wall abutting the vessel wall

Notes for set through nozzles, A extends to the nozzle O.D.

| | For nozzle wall inserted through the vessel wall | For nozzle wall abutting the vessel wall |
|---|---|---|
| Area required | $A = (d + 2t_n)t_r F$ | $A = dt_r F$ |
| Area available in shell: use larger value | $A_1 = (d - 2t_n)(t - Ft_r)$ or $2t(t - Ft_r)$ | $A_1 = d(t - Ft_r)$ or $2(t + t_n)(t - Ft_r)$ |
| Area available in nozzle projecting outward; use smaller value | $A_2 = 2(t_n - t_{rn})(2\frac{1}{2}tf_{r1})$ or $2(t_n - t_{rn})(2\frac{1}{2}t_n + t_e)f_{r1}$ | $A_2 = 2(t_n - t_{rn})(2\frac{1}{2}tf_{r1})$ or $2(t_n - t_{rn})(2\frac{1}{2}t_n + t_e)f_{r1}$ |
| Area available in nozzle projecting inward | $A_3 = 2t_n f_{r1} h$ | $A_3 = 0$ |
| Area available in outward nozzle weld | $A_{41} = (WL_1)^2 f_{r2}$ | $A_{41} = (WL_1)^2 f_{r2}$ |
| Area available in inward nozzle weld | $A_{43} = (WL_3)^2 f_{r1}$ | $A_{43} = 0$ |

If $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} > A$ — Opening is adequately reinforced

If $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} < A$ — Opening is not adequately reinforced so reinforcing elements must be added and /or thickness must be increased

With reinforcing element added:

| | | |
|---|---|---|
| Area available in outer element weld | $A_{42} = (WL_2)^2 f_{r3}$ | $A_{42} = (WL_2)^2 f_{r3}$ |
| Area available in element [Note (1)] | $A_5 = (D_p - d - 2t_n)t_e f_{r3}$ | $A_5 = (D_p - d - 2t_n)t_e f_{r3}$ |

If $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + A_5 > A$ — Opening is adequately reinforced

GENERAL NOTES:

(a) This figure illustrates common nozzle configurations and is not intended to prohibit other configurations permitted by the Code.

(b) See PG-33.3 and PG-36 for definitions of nomenclature.

NOTE:

(1) This formula is applicable for a rectangular cross-sectional element that falls within the limits of reinforcement.

FIG. PG-33.1 NOMENCLATURE AND FORMULAS FOR REINFORCED OPENINGS

### 3.5.7 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ผนังเรียบ (Flat plate), ฝาหน้า-หลัง (Front-Rear plate)**

$$t = d\sqrt{CP/S}$$

C = ค่าปัจจัยการติดตั้ง Dish head ดังค่าใน PG-31.4

**ดังเช่น** ค่า C= 0.667 นั้นจะส่งผลให้เพิ่มค่า allowable stress เพิ่มเป็น1.5S.

D = long span of noncircular heads or covers measured perpendicular to short span

d = เส้นผ่านศูนย์กลาง หรือ ระยะสแปนที่สั้นที่สุดที่ถูกวัดดังในรูปที่ PG-31

$h_g$ = ระยะก่อให้เกิดโมเมนต์เนื่องจากปะเก็น

L = เส้นรอบวงของที่วัดรอบ “noncircular bolted head” ที่ศูนย์กลางของ “รู-bolt”

l = ความยาวของ knuckle, ดังรูป (a), (c)

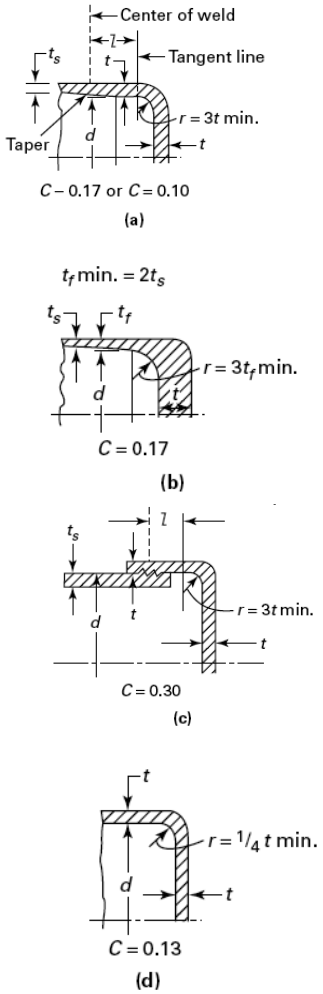
t = ความหนาต่ำสุดของฝาปิด หรือผนังแบบเรียบ

$t_r$ = ความหนาที่ต้องการของเปลือกหม้อน้ำ

$t_s$ = ความหนาต่ำสุดของเปลือกหม้อน้ำ

*W* = sum of bolt load to resist pressure load

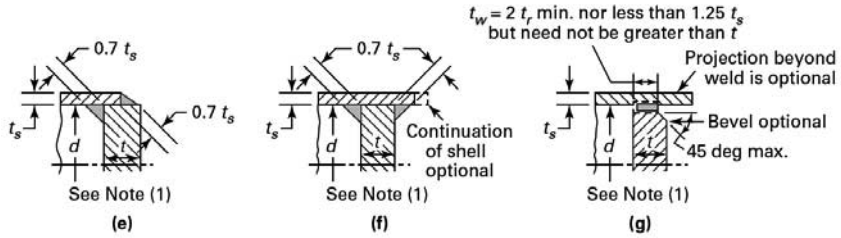
*Z* = ค่าคงที่สำหรับ “ noncircular heads” และ ฝาหรือแผ่นปิดที่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความยาวของระยะห่าง (span) ดังรูป PG-31.3.3




$$t = d\sqrt{ZCP/S}$$

โดยที่

$$Z = 3.4 - \frac{2.4d}{D}$$ และ Z $\leq$ 2 ½




**NOTES:**

(1) For illustrations (e), (f), and (g) circular covers, c = 0.33 m, $c_{min.}$ = 0.20; noncircular covers, c = 0.33.

การออกแบบสำหรับ “Circular dish head”

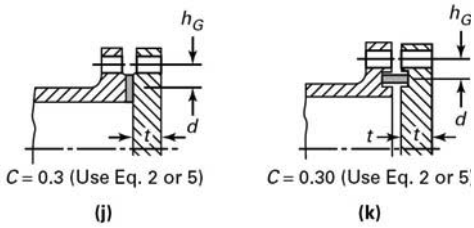
$$t = d\sqrt{(CP/S) + (1.9Wh_g/Sd^3)}$$

โดยที่

P = Maximum Allowance Working Pressure

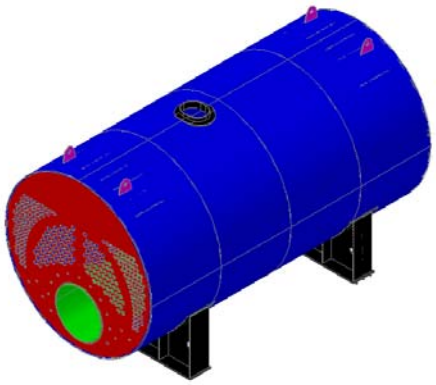
S = Strength at design temperature

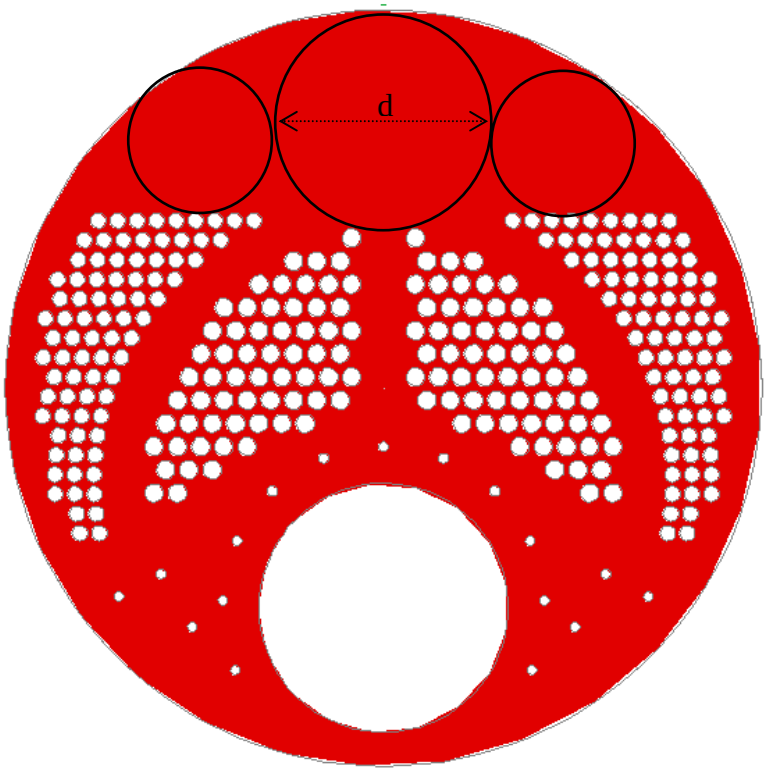
W = sum of bolt load to resist pressure load




การออกแบบสำหรับ “Non-Circular dish head”

$$t = d\sqrt{(ZCP/S) + (6Wh_g/SLd^2)}$$

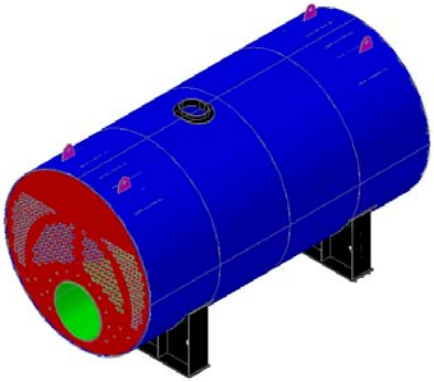


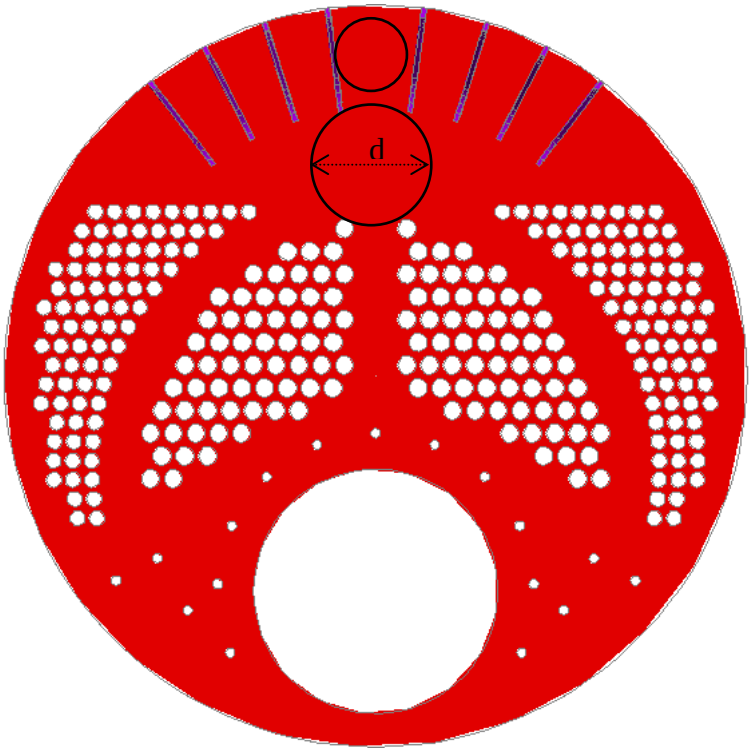



| | | |
|---|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลาง (D) | 1400 | มม. |
| เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่เล็ก (d) | | |
| หรือ ระยะสแปนที่สั้น | 350 | มม. |
| ความหนา (t) | 12 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 1.3 | MPa(13 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 191.6 | C |
| Design Temperature for Superheat | - | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |
| Maximum allowance stress | 138 | N/มม.$^2$ |
| PG-31.3.2 (EQ.1) | $t = d\sqrt{CP/S}$ | มม. |
| P= | 1.3 | N/มม.$^2$. |
| C= | 0.17 | ดูรูปที่ (a) |
| S= | 138 | N/มม.$^2$. |
| d= | 350 | มม. |
| t= | 14 | มม. |

**การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler)**

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ผนังเรียบ (Flat plate), ฝาหน้า-หลัง (Front-Rear plate),ต่อ**






| | | |
|---|---|---|
| **เส้นผ่านศูนย์กลาง (D)** | 1400 | มม. |
| **เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่เล็ก (d)** | | |
| **หรือ ระยะสแปนที่สั้น** | 175 | มม. |
| **ความหนา (t)** | 12 | มม. |
| **การยึดติด (Jointing)** | การเชื่อม | |
| **Design pressure** | 1.3 | MPa (13 บาร์) |
| **Design Temperature for Saturated** | 191.6 | C |
| **Design Temperature for Superheat** | - | C |
| **วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70** | 200 | **C** |
| **Maximum allowance stress** | **138** | **N/มม.$^2$** |
| **PG-31.3.2 (EQ.1)** | $t = d\sqrt{CP/S}$ | **มม.** |
| **P=** | **1.3** | **N/มม.$^2$.** |
| **C=** | **0.17** | **ดูรูปที่ (a)** |
| **S=** | **138** | **N/มม.$^2$.** |
| **d=** | **175** | **มม.** |
| **t=** | **7** | **มม.** |

การเปรียบเทียบ $t_{actual} > t_{cal}$ ดังนั้น ความหนาผนัง 12 มม.สามารถใช้งานได้ตามสภาวะที่คำนวน

### 3.5.8 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler)

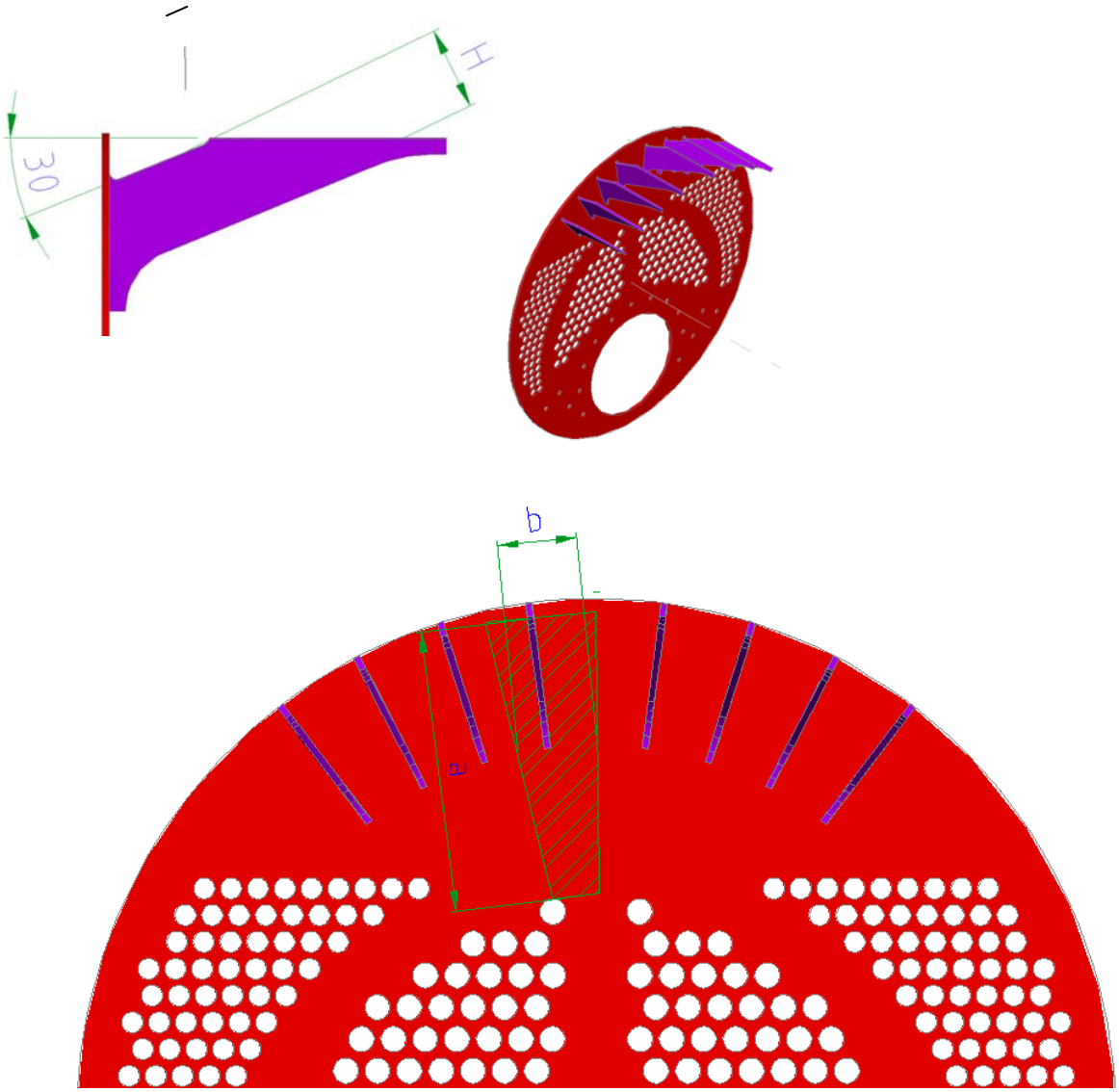
**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ACC. To TRD 305 สเตย์ยึด (Gusset stay)**

สำหรับ “GUSSET STAY”

$$A_{\sigma req} = \frac{A_{PR}.P.f_G}{\sigma_{zul} COS\alpha} \le A_{actual}$$

โดยที่ :

- Ar คือ พื้นที่หน้าตัดของ “Gusset stay” (คำนวณจาก H.S)
- $A_{PR}$ คือ พื้นที่สร้างแรงจากผนัง (คำนวณจาก a.b)
- $f_G$ คือ “1” สำหรับท่อไฟใหญ่ชนิดท่อตรง
  “1.2” สำหรับท่อไฟใหญ่ชนิดท่อลอน(corrugated tube)
- $\sigma_{zul}$ คือ ความแข็งแรงที่อุณหภูมิออกแบบ
- $\alpha$ คือ องศาของ “Gusset stay” สำหรับ TRD ยินยอมให้มีค่าได้เพียง 30 องศา



| | | | |
|---|---|---|---|
| **เส้นผ่านศูนย์กลาง** | | 1400 | มม. |
| **ความหนา (t)** | | 12 | มม. |
| **การยึดติด (Jointing)** | | การเชื่อม | |
| **Design pressure** | | 1.3 | MPa (13 บาร์) |
| **Design Temperature for Saturated** | | 191.6 | C |
| **Design Temperature for Superheat** | | - | C |
| **วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70** | | 200 | **C** |
| **Maximum allowance stress** | | **138** | **N/มม.$^2$** |
| | a = | 350 | **มม.** |
| | b = | 150 | **มม.** |
| | $A_{PR}$ = | 350 x 150 | **มม.$^2$** |
| | | 52,500 | **มม.$^2$** |
| | Gusset stay หนา ($S_{tay}$) | 15 | **มม.** |
| | Gusset stay สูง (H) | 175 | **มม.** |
| | | $A_{\sigma req} = \frac{A_{PR}.P.f_G}{\sigma_{zul} COS\alpha}$ | |
| | $A_{req}$ | (52,500 x 1.3 x 1) / (138 x 0.866) | **มม.$^2$** |
| | | 571 | **มม.$^2$** |
| | $A_{req}$ = | H x S | |
| ดังนั้น ความหนาของ “Gusset stay” เท่ากับ | | 571 / 150 | **มม.** |
| | | 3.8 | **มม.** |

การเปรียบเทียบ $t_{actual} > t_{cal}$ ความหนา”Gusset stay” เท่ากับ 15 มม.มีค่ามากกว่า ค่า 3.8 มม.ที่คำนวณได้ “Gusset stay” นี้จึงสามารถใช้งานได้ตามสภาวะที่คำนวน

### 3.5.9 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ท่อไฟใหญ่ (Main fire tube)**

**ต้านทานความดันจากภายนอก (Against external pressure)**

PFT-51.1.1 ค่าในการออกแบบ

A = Fig.G สำหรับ กรณีที่ Do/t > 10 ดู PFT-51.1.2 (a)

≤ 10 ดู PFT-51.1.2(b)

As = พื้นที่หน้าตัดของ Stiffening Ring

B = ค่าคงที่จากการใช้วัสดุใน Section II part D สำหรับค่าอุณหภูมิออกแบบสูงสุด

Do = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก

E = Modulus of Elastic ที่อุณหภูมิออกแบบ

Is = Moment of inertia ของ Stiffening Ring

L = ความยาวของห้องเผาไหม้

(a) ระยะห่างสูงสุดของจุดศูนย์กลาง ถึง จุดศูนย์กลาง ของ Stiffening Ring ที่อยู่ใกล้กัน

(b) ระยะห่างระหว่าง ผนังหน้า-หลัง ถึง จุดศูนย์กลาง ของ Stiffening Ring

(c) ระยะห่างจากศูนย์กลางของ Stiffening Ring วงแรก ถึง เส้นรอบวงของ “หัวขึ้นรูป” ที่หนึ่งในสามของเส้น “Tangent line”

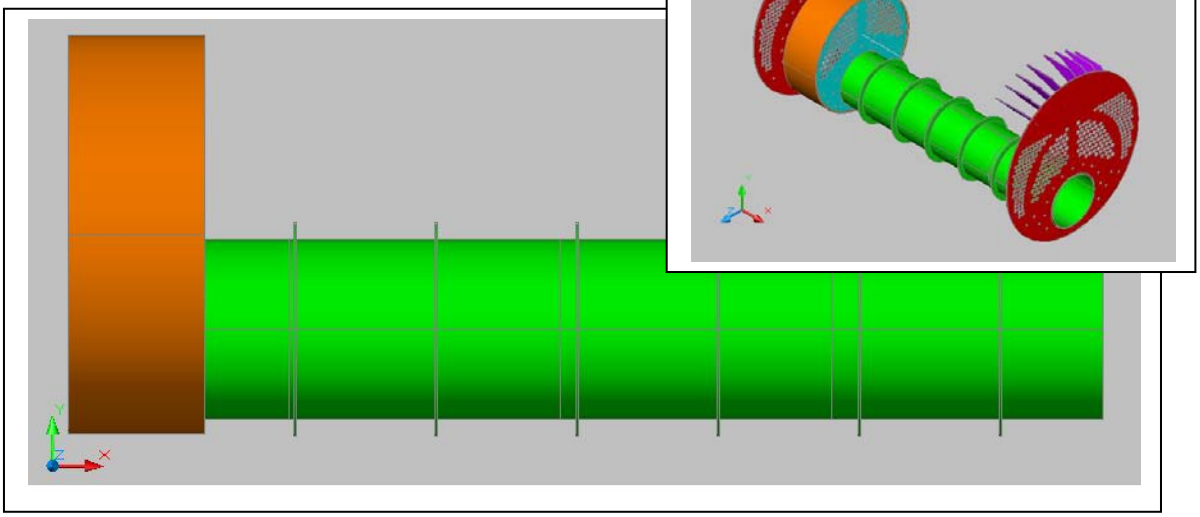
P = ความดันจากภายนอก (External pressure)

Pa = ความดันอนุญาตจากความดันภายนอก สำหรับการสมมติค่า “t”

S = ค่าความเค้นอนุญาตสูงสุดที่อุณหภูมิออกแบบ

t = ค่าความหนาต่ำสุดที่ต้องการ

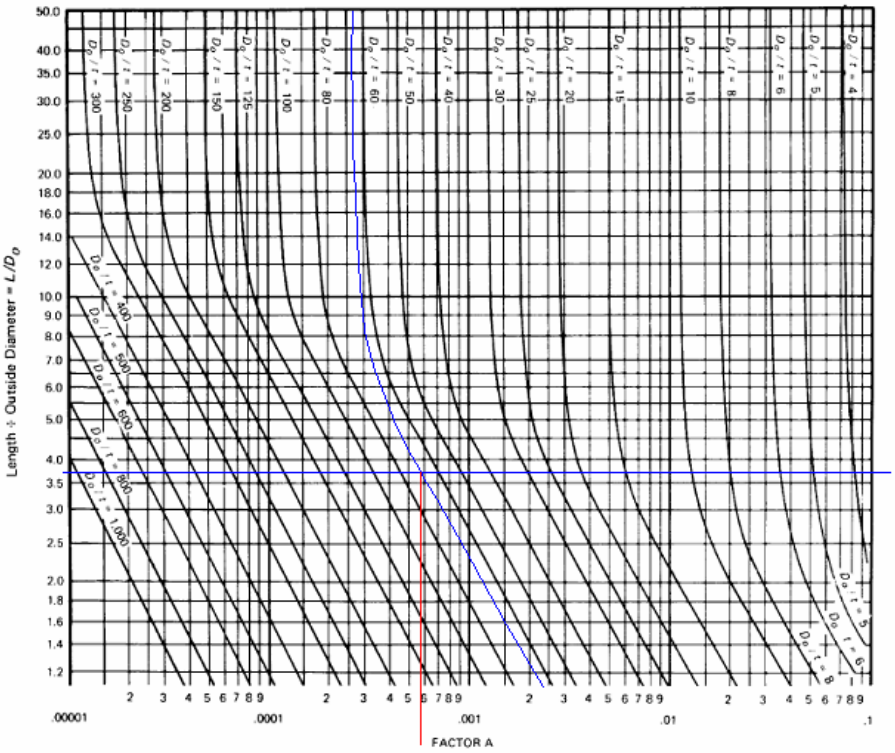
ts = ค่าความหนาทั่วไป



| | | |
|---|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลางนอก | 800 | มม. |
| ท่อไฟใหญ่ยาว | 3000 | มม. |
| ความหนา (t) | 12 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 1.3 | MPa (13 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 191.6 | C |
| Design Temperature for Superheat | - | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |
| Maximum allowance stress | 138 | N/มม.$^2$ |

**PFT-51.1.2 (a)** ห้องเผาไหม้ทรงกระบอก **"Do/t> 10"**

**ขั้นตอนที่ 1** : สมมติค่า "t" และ "L" แล้วหาอัตราส่วน "$L/D_0$" และ "$D_0/t$"




ข้อมูล "$D_0$" เท่ากับ 800 มม. และ "L" เท่ากับ 3000 มม.

สมมติ "t" เท่ากับ 12 มม.

ดังนั้น

"$L/D_0$" = 3000 / 800 = 3.75

"$D_0/t$" = 800 / 12 = 66.66

**ขั้นตอนที่ 2** : สมมติค่า “t” และ “L” แล้วหาอัตราส่วน “$L/D_0$” และ “$D_0/t$”

เติมค่าต่างใน FIG “G”

ในกรณีที่ “$L/D_0$” > 50 ให้ใช้ค่า “50” และ “$L/D_0$” < 0.05 ให้ใช้ค่า “0.05”

**ขั้นตอนที่ 3** : พลอตกราฟในรูปด้านบนจะได้ค่า FACTOR “A” เท่ากับ “5.8”

**ขั้นตอนที่ 4** : ใส่ค่า “FACTOR A” ที่หาได้ลงในกราฟ “FIG-CS xx” ใน ASME section II part D แล้วลากเส้นขึ้นตัดกับค่า Modulus of Elastic หรือ อุณหภูมิที่ใช้งานแล้วลากจากจุดตัดไปด้านขวา เพื่อหาค่า “FACTOR B”

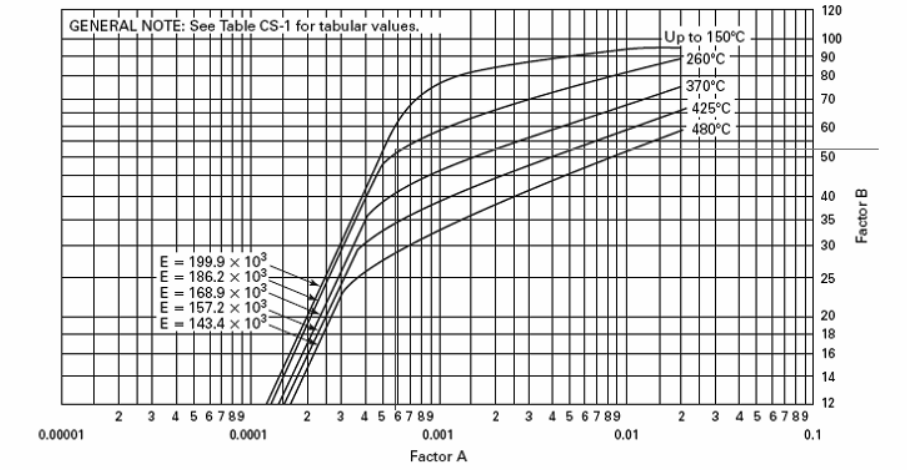



FIG. CS-1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (Specified Minimum Yield Strength 165 MPa to, but Not Including, 205 MPa) [Note (1)]

**ขั้นตอนที่ 5** : จะได้ค่า “FACTOR B” เท่ากับ “52.5”

**ขั้นตอนที่ 6** : เติมค่า “FACTOR B” ลงใน สมการ $P_a = \frac{4B}{3(D_0/t)}$ เพื่อหาค่าความดันอนุญาตจากความดันภายนอก สำหรับการสมมติค่า “t” ได้ค่า

$P_a$ = (4X52.5) / (3x800/12)

= 1.05 N/มม.$^2$(MPa) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.3 N/มม.$^2$(MPa)

ดังนั้นความหนา 12 มม.จึงไม่สามารถใช้งานได้

**ขั้นตอนที่ 7** : เติมค่า “FACTOR A”ลงใน สมการ $P_a = \frac{2AE}{3(D_0/t)}$ เพื่อหาค่าความดันอนุญาตจากความดันภายนอก สำหรับการสมมติค่า “t” ได้ค่า

$P_a$ = (2x0.00058x186.2e3) / (3x800/12) = 1.07 N/มม.$^2$(MPa)

ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.3 N/มม.$^2$(MPa) ดังนั้นความหนา 12 มม.จึงไม่สามารถใช้งานได้

**ขั้นตอนที่ 8 :** เพิ่มความหนาของผนังท่อขึ้นแล้วทำการคำนวณซ้ำอีกครั้ง

**PFT-51.1.2 (b)** ห้องเผาไหม้ทรงกระบอก **"Do/t<10"**

**ขั้นตอนที่ 1** : ทำเหมือน "ขั้นตอนที่หาค่า B" จาก **PFT-51.1.2 (a)**

**สำหรับค่า $D_0/t < 4$** จะต้องใช้ค่าสมการ $A = \frac{1.1}{(D_0/t)^2}$

สำหรับค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0.10 ให้ใช้ค่า 0.10

**ขั้นตอนที่ 2** : ใช้ค่า "B" ที่ได้จากกราฟ FIG-CS คำนวณหาค่า "$P_{a1}$"

จากสมการ $P_{a1} = [\frac{2.167}{D_0/t} - 0.0833]B$

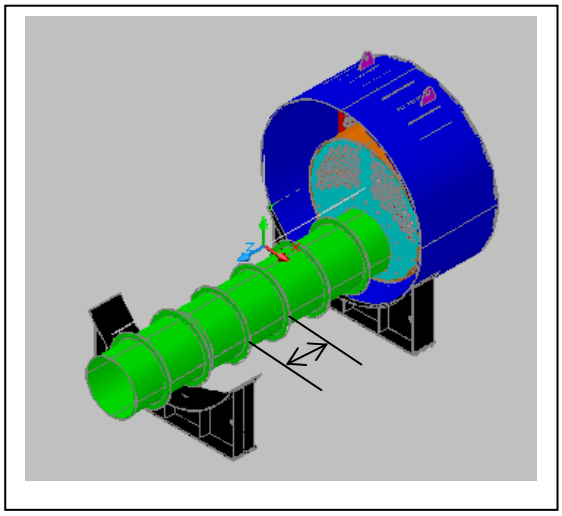
**ขั้นตอนที่ 3** : คำนวณค่า "$P_{a2}$" โดยใช้สมการ $P_{a2} = \frac{2S_B}{D_0/t}[1 - \frac{1}{D_0/t}]$

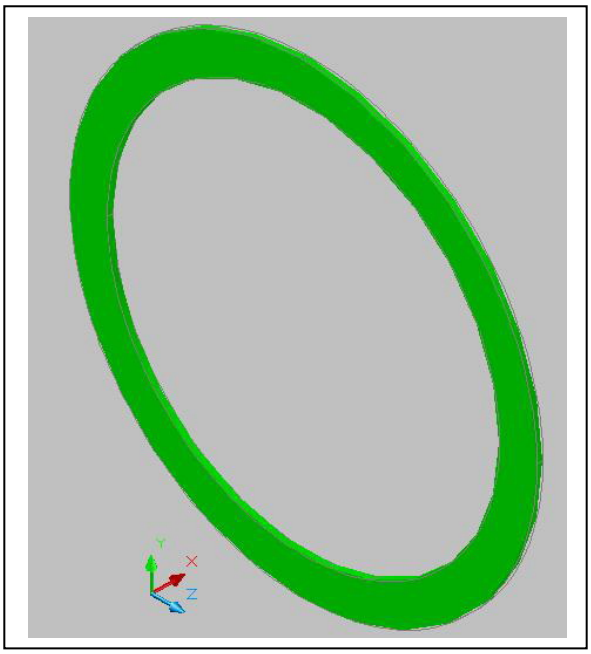
ที่ซึ่ง $S_B$ มีค่าน้อยกว่า 2 เท่าของค่า "Maximum allowable stress"ที่ค่าอุณหภูมิออกแบบ หรือ 1.8 เท่าของ Yield strength ที่อุณหภูมิออกแบบวัสดุ จากตาราง Y-1 section II Part D

**ขั้นตอนที่ 4** : ค่า "$P_{a1}$" ที่ถูกคำนวณใน **ขั้นตอนที่ 2** หรือ "$P_{a2}$"ที่ถูกคำนวณใน **ขั้นตอนที่ 3** จะถูกใช้สำหรับ "Maximum Allowable External Pressure" ถ้า "$P_a$" มีค่าน้อยกว่า"P" ให้เลือกค่าที่มากกว่า สำหรับค่า "t" และทำซ้ำใน"$P_a$"จนกระทั่งค่า "$P_a$" มีค่ามากกว่า "P"

### 3.5.10 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : แหวนรัดเสริมแรง (Stiffener ring)**





**PFT-17.2**

วงแหวนรัดที่ประกอบขึ้นมาจะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 5/16 นิ้ว (8 มม.)
และไม่มากกว่า 13/16 นิ้ว (21 มม.) และต้องไม่หนากว่า 11/4 เท่า ของความหนาของผนังเตาเผา

**PFT-17.3**

อัตราส่วนของความสูงต่อความหนาของวงแหวนรัดคือ $H_r/T_r$ ต้องไม่มากกว่า 8 และไม่น้อยกว่า 3

**PFT-17.5**

ความหนาของผนังของห้องเผาไหม้หรือปล่องไฟต้องไม่น้อยกว่า 5/16 นิ้ว (8 มม.)

**PFT-17.6**

ระยะห่าง L ของแต่ละวงแหวนในห้องเผาไหม้ต้องไม่มากกว่า 60t หรือ 36 นิ้ว (900 มม.)

ขั้นตอนที่ 1 : ข้อมูล "$D_0$" เท่ากับ 800 มม, "Ls" เท่ากับ 3000 มม. และ "t" เท่ากับ 12 มม.
เลือกรูปทรงที่จะใช้เป็น Stiffening ring และหาค่า "$A_s$" และ "I : Moment of inertia"

i) คำนวณ "B" จาก $B = \frac{PD_0}{t + (\frac{As}{Ls})}$

As= พื้นที่หน้าตัดของ Stiffening Ring

Ls= ครึ่งหนึ่งของระยะจากศูนย์กลางของ stiffening ring ถึงจุดถัดไปบนอีกข้างหนึ่ง
(ผลบวกครึ่งหนึ่งของ "center line distance" กับเส้นถัดไปที่รองรับอีกข้างหนึ่งของ stiffening ring)

โดยการวัดทั้งคู่จะวัดขนานกับแกนทรงกระบอก โดยที่เส้นที่รองรับ หมายถึง

a) วง stiffening ring ที่มีข้อกำหนดตรงตาม PFT-17.11

b) วงเส้นรอบวงที่ยึดติดกับผนังหน้า-หลัง หรือ ปลอก(Jacket)ที่ถูกสวมกับเปลือกนอก

c) เส้นรอบวงของหัวที่ถูกขึ้นรูปที่ ตำแหน่งหนึ่งในสามลึกลงในหัวนั้นจากเส้นสัมผัส

| | | |
|---|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลางนอกท่อไฟใหญ่ ($D_0$) | 800 | มม. |
| ระยะระหว่าง Stiffening ring ($L_s$) | 900 | มม. |
| ความหนา (t) | 12 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 1.3 | MPa (13 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 191.6 | C |
| Design Temperature for Superheat | - | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |
| Maximum allowance stress | 138 | N/มม.$^2$ |

$$B = \frac{PD_0}{t + (\frac{A_S}{L_S})}$$

Tr = 15 มม.

Hr = 100 มม.

Condition check “Hr/Tr” 3 < 100/15 < 8 ผล “ถูกต้อง”

ดังนั้น B = 1.3 x 800 / (12 + (1500/900))

76

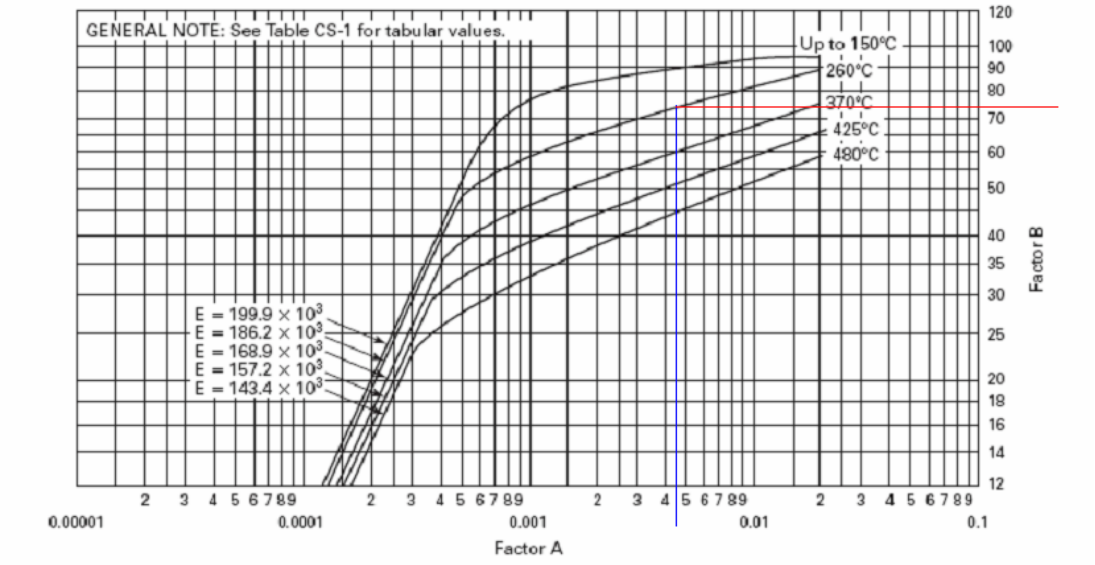



FIG. CS-1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (Specified Minimum Yield Strength 165 MPa to, but Not Including, 205 MPa) [Note (1)]

**ขั้นตอนที่ 2** : นำค่า “B” ที่คำนวณได้มาลงในกราฟ “FIG-CS”

**ขั้นตอนที่ 3** : ลากแกนจากค่า “B” ไปทางซ้ายจนตัดกับอุณหภูมิที่ออดแบบ

**ขั้นตอนที่ 4** : ลากค่าจากจุดตัดลงมาตามแกนตั้งหาค่า “A” ซึ่งเท่ากับ “0.0045”

**ขั้นตอนที่ 5 :** คำนวณค่าของแรงเฉื่อยที่ต้องการจากสูตร

$$I_S = \frac{D_0{}^2 L_S[t+(A_S/L_S)]A}{14}$$

**ขั้นตอนที่ 6 :** ถ้า Is > I ในขั้นตอนที่ 1 แล้วกำหนดค่า Ls ใหม่ทำการคำนวณซ้ำจน Is < I

Is = $D_0{}^2$Ls[t+(As/Ls)]A/14

$800^2$ x 900[12 + (1500/900)]0.0045

35,424,000

I = (1/12) x Tr x $Hr^3$

1/12 x 12 x $100^3$

1,000,000

การเปรียบเทียบ Is > I Moment of Inertia ที่เกิดจากแรงกระทำ (Is)

มีค่ามากกว่า Moment of Inertia ของวัสดุ (I) ดังนั้น Stiffening ring จึงไม่สามารถใช้งานได้

### 3.5.11 การออกแบบหม้อน้ำไฟฟ้า

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : เปลือกหม้อน้ำ (SHELL)**

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{หรือ} \quad t = \frac{PR}{SE - (1 - y)P} + C \qquad \text{PG-27.2.2}$$

โดยที่ D $\geq$ 125 มม.

$C$ = minimum allowance for threading and structural stability

$E$ = Joint efficiency

$D$ = outside diameter of cylinder

$e$ = thickness factor for expanded tube ends

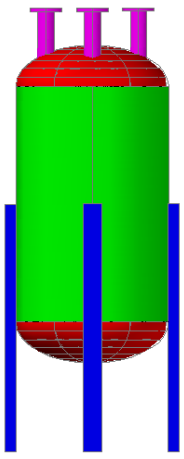
$P$ = maximum allowable working pressure

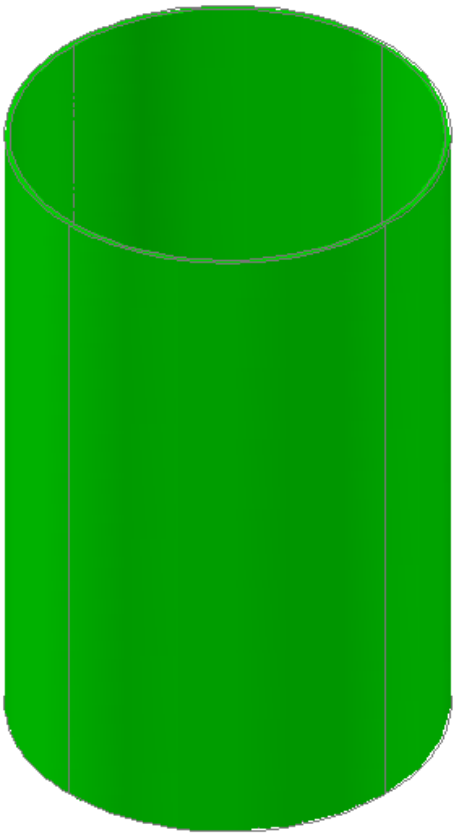
$R$ = inside radius of cylinder

$S$ = maximum allowable stress value at the design temperature of the metal, as listed in the tables specified in Table 1A ASME section II D

$t$ = minimum required thickness

$y$ = temperature coefficient





| | | |
|---|---|---|
| **ท่อรวมไอ เส้นผ่านศูนย์กลาง** | 950 | มม. |
| **ความหนาท่อ ($t_{pipe}$)** | 10 | มม. |
| **การยึดติด (Jointing)** | การเชื่อม | |
| **Design pressure** | 0.5 | MPa (5 บาร์) |
| **Design Temperature for Saturated** | 200 | C |
| **Design Temperature for Superheat** | - | C |
| **วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70** | 200 | C |
| **Design Stress Intensity, MPa** | 138 | $N/มม.^2$ |
| สำหรับท่อ $\phi \leq$ 125 มม. | ใช่ | |
| PG-27.2.2 | $t = \frac{PR}{SE-(1-y)P} + C$ | มม. |

D = 950 มม.

t 90 มม.

*e* = 0 สำหรับท่อที่เชื่อม หมายเหตุ : ( e คือ ค่าสำหรับท่อเบ่ง)

P = 0.5 MPa

S = 138 $N/มม.^2$

t = (0.5 x 950) / [(138X1) + (1-0.3)0.5]

= 475 / [138 + (0.7x0.5)]

= 3.43 มม.

การเปรียบเทียบ $t_{cal} > t_{pipe}$ : ดังนั้น ความหนา**ท่อรวมไอ** 10 มม.จึงสามารถใช้งานได้ตามสภาวะที่คำนวน

### 3.5.12 การออกแบบหม้อน้ำไฟฟ้า

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : Elliptical Head**

t = (PDK)/(2SE-0.2P) + Corr

P = maximum allowable working pressure

(hydrostatic head loading need not be included)

S = maximum allowable working stress,

using values given in Table 1A of Section II, Part D

t = minimum thickness of head

K= จากตาราง 1-4.1

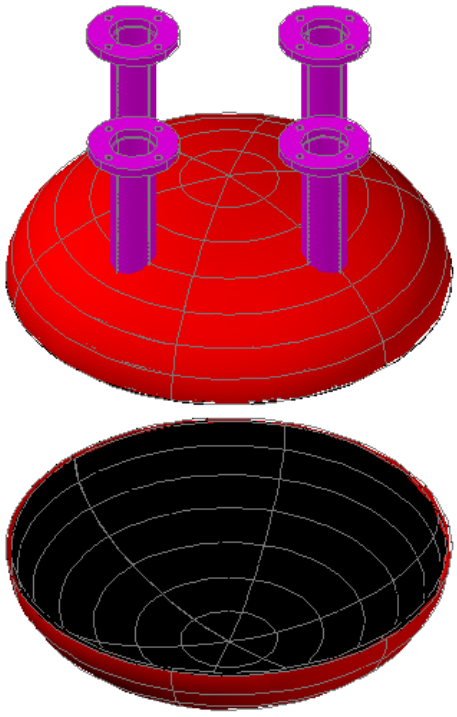
TABLE 1-4.1
VALUES OF FACTOR *K*
(Use Nearest Value of *D*/2*h*; Interpolation Unnecessary)

| *D*/2*h* | 3.0 | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *K* | 1.83 | 1.73 | 1.64 | 1.55 | 1.46 | 1.37 | 1.29 | 1.21 | 1.14 | 1.07 | 1.00 |
| *D*/2*h* | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | . . . |
| *K* | 0.93 | 0.87 | 0.81 | 0.76 | 0.71 | 0.66 | 0.61 | 0.57 | 0.53 | 0.50 | . . . |

$D_0$ = outside diameter

h = Height of Crown

Skirt = ระยะตรงจากขอบ Dish head



| | | | |
|---|---|---|---|
| **เส้นผ่านศูนย์กลาง** ($D_0$) | | 950 | มม. |
| **ความหนา (t)** | | 10 | มม. |
| **การยึดติด (Jointing)** | | การเชื่อม | |
| **Design pressure** | | 0.5 | MPa (5 บาร์) |
| **Design Temperature for Saturated** | | 191.6 | C |
| **Design Temperature for Superheat** | | - | C |
| **วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70** | | 200 | C |
| **Maximum allowance stress** | | 138 | $N/มม.^2$ |
| | t = (PDK)/(2SE-0.2P) + Corr | | มม. |
| | P = 0.5 | | $N/มม.^2$ |
| | L = 1500 | | มม. |
| | S = 138 | | $N/มม.^2$ |
| | h = 250 | | มม. |
| | Skirt = 1.50 | | มม. |
| | D/2h = 950/(2x250) | | |
| | K = 0.93 | | |
| | t = (0.5x950x0.93)/[(2x138x1)-(0.2x0.5)] | | |
| | = 441.75 / 275.9 | | |
| | = 1.60 | | มม. |

การเปรียบเทียบ $t_{dish} > t_{cal}$ ดังนั้น ความหนา**ฝาปิดหัว** 12 มม.สามารถใช้งานได้ตามสภาวะที่คำนวน

### 3.5.13 การออกแบบหม้อน้ำไฟฟ้า

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ช่องเปิด (Opening)**

**PG-32.1.2** ช่องเปิดที่มีรูปแบบแน่นอน ดังเช่น รูท่อ อาจต้องถูกออกแบบตามข้อกำหนดของ “Ligament” ใน “PG-52” ที่ต้องจัดให้มี “เส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะที่สอดคล้องและไม่เกิน “Fig. PG-32.”
โดยที่ :

*D* = outer diameter of the shell

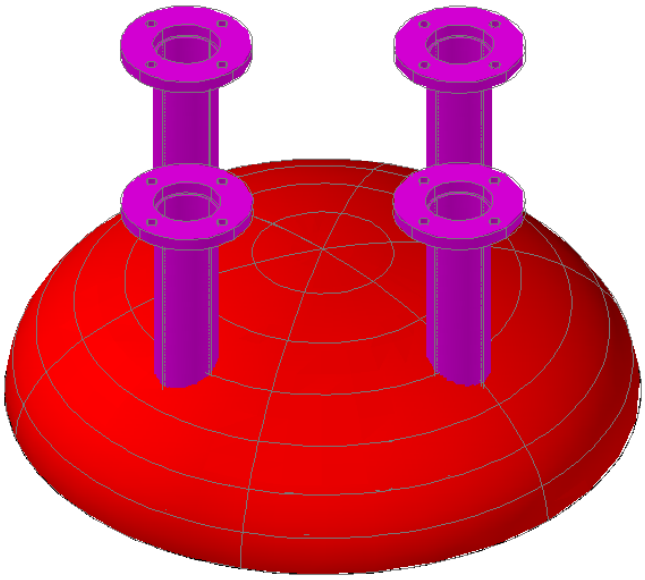
*d* = maximum allowable diameter of openings

*P* = maximum allowable working pressure

*S* = maximum allowable stress value, taken from Tables 1A and 1B of Section II, Part D

*t* = actual thickness of the shell

$$K = \frac{PD}{1.82St}$$



**PG-32.1.3.1** ไม่จำเป็นต้องการคำนวณค่าชดเชยสำหรับช่องเปิดเดี่ยว (ที่ไม่เป็นไปตาม PG-38 หรือ PG-52) ในส่วน “Shell”, “Header” หรือ “Formed head” ในกรณีที่ “Inside diameter” ของส่วนที่กล่าวมามีขนาดไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิด และตามสภาวะดังนี้

**PG-32.1.3.1.1** ขนาดของชิ้นต่อไม่โตกว่า “DN 50”

**PG-32.1.3.1.2** เกลียวหรือ “Stud” ที่ต้องเจาะรูมีขนาดไม่โตกว่า “DN 50”

**PG-32.1.3.2** ไม่ต้องคำนวนแสดงตาม “PG-33” สำหรับ “single openings” ที่ไม่เป็นไปตาม “PG-32.1.3.1” เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดใน “Shell” หรือ “Header” ไม่เกินตามข้อกำหนดใน “Fig. PG-32”

**PG-38.2**

ช่องเปิดที่ใกล้กัน 2 ช่องจะต้องมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางไม่น้อยกว่า $1^{1}/_{3}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

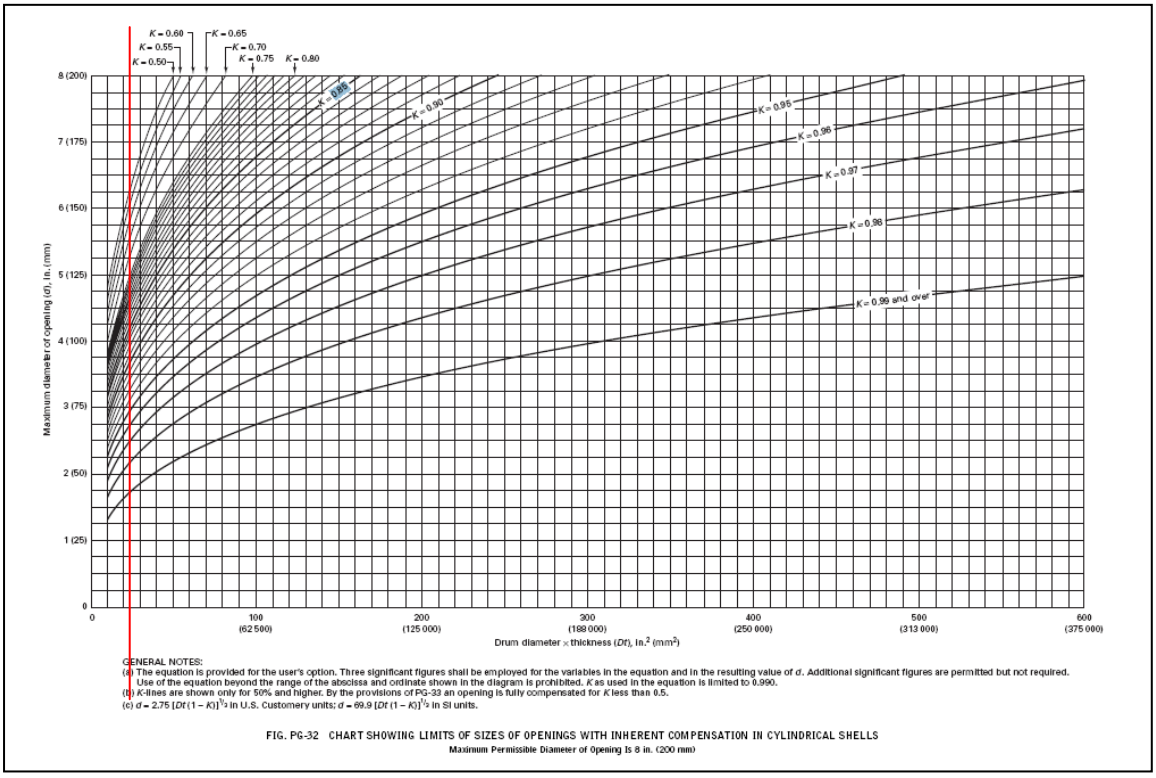



FIG. PG-32 CHART SHOWING LIMITS OF SIZES OF OPENINGS WITH INHERENT COMPENSATION IN CYLINDRICAL SHELLS
Maximum Permissible Diameter of Opening Is 8 in. (200 mm)

$$K = \frac{PD}{1.82St}$$

| | | |
|---|---|---|
| D = | 950 | มม. |
| P = | 0.5 | N/มม.2 |
| t = | 10 | มม. |
| S = | 138 | N/มม.2 |
| K= | 0.19 | N/มม.3 |
| d= | $69.9\ [950x10x(1-k)]^{1/3}$ | มม. |
| | 1380 | มม. |

อย่างไรก็ตาม “**Maximum Permissible Diameter of Opening Is 8 in. (200 มม.)**”

**ระยะห่างระหว่าง ช่องเปิด 2 ช่อง เท่ากับ** ½ x(500 + 500) x 1 1/3

666 มม.

### 3.5.14 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ดรัม (DRUM)**

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{หรือ} \quad t = \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C \qquad \text{PG-27.2.2}$$

โดยที่ D $\geq$ 125 มม.

$C$ = minimum allowance for threading and structural stability

$E$ = Joint efficiency

$D$ = outside diameter of cylinder

$e$ = thickness factor for expanded tube ends

$P$ = maximum allowable working pressure

$R$ = inside radius of cylinder

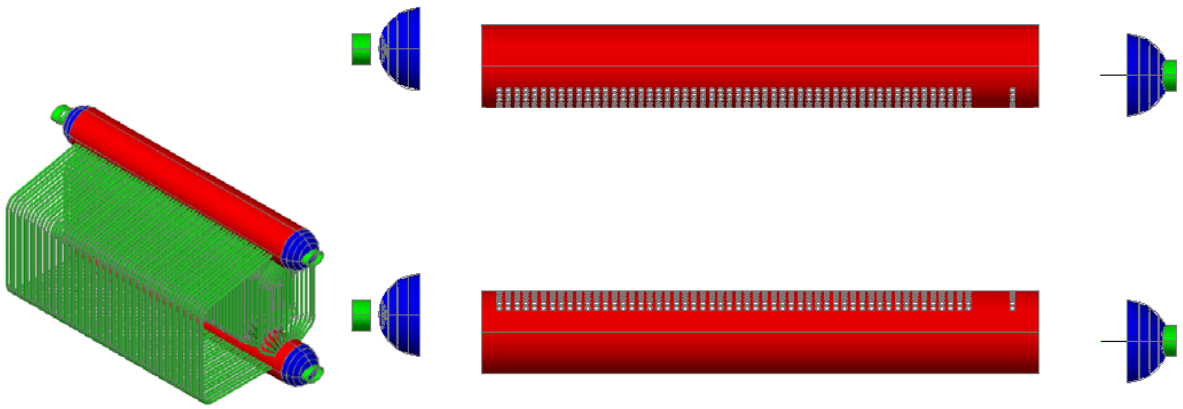
$S$ = maximum allowable stress value at the design temperature of the metal, as listed in the tables specified in Table 1A ASME section II D

$t$ = minimum required thickness

$y$ = temperature coefficient

$y$ = a coefficient having values as follows:

| | Temperature, °F (°C) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 900 (480) and below | 950 (510) | 1,000 (540) | 1,050 (565) | 1,100 (595) | 1,150 (620) | 1,200 (650) | 1,250 (675) and above |
| Ferritic | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| Austenitic | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| Alloy 800 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 |
| 800H, 800HT | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 |
| 825 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 230 Alloy | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 |
| N06045 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| N06690 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | ... |
| Alloy 617 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 |



| | | |
|---|---|---|
| เปลือกหม้อน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลาง | 950 | มม. |
| ความหนาท่อ (t) | 12 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 1.5 | MPa (15 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 200 | C |
| Design Temperature for Superheat | - | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |
| Maximum allowance stress | 138 | N/มม.2 |
| สำหรับท่อ $\phi \leq$ 125 มม. | ไม่ใช่ | |

**PG-27.2.2** t = PD / (2SE + 2yP) + C หรือ PR /[SE − (1 − y)P] + C มม.

t = 12 มม.

E = 0.8

y = 0.4 หมายเหตุ : สำหรับ Feritic steel

C = 1.0

T = PD / (2SE + 2yP) + C มม.

= {(1.5 x 950) / [(2x138x0.8) + (2x 0.4x1.5)]} +1 มม.

= {1425 / [220.8 + 1.2]} + 1 มม.

= {1425 / 222} +1 มม.

= 6.41 + 1 มม.

= 7.41 มม.

$t_{drum} > t_{cal}$ : ดังนั้น ความหนาดรัม 12 มม.จึงสามารถใช้งานได้ตามสภาวะที่คำนวน

### 3.5.15 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ฝาส่วนหัวของรูปครึ่งวงกลม (Full Hemi-Spherical Head)**

ความหนาของฝาปิดหัวที่ไม่ได้ถูกยึดด้วยสเตย์ โดยที่สภาวะความดันจากส่วนเว้าของฝาที่เป็นส่วนหนึ่งรูปครึ่งทรงกลม จะถูกคำนวนความหนาจากสูตร

$t = PL / (2S - 0.2P)$ โดยที่

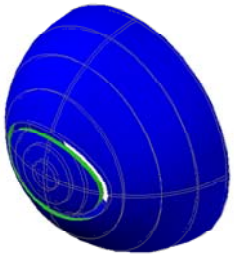
L = radius to which the head is dished, measured on the concave side of the head

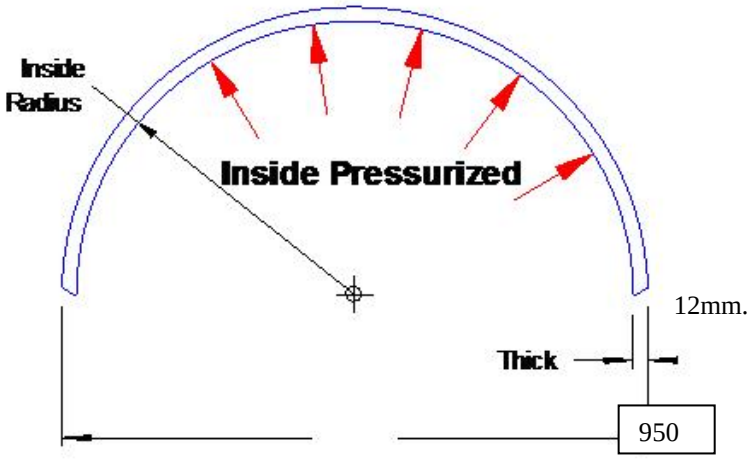
P = maximum allowable working pressure (hydrostatic head loading need not be included)

S = maximum allowable working stress, using values given in Table 1A of Section II, Part D

t = minimum thickness of head

สูตรข้างบนจะไม่ถูกใช้เมื่อความหนาที่ต้องการของหัวที่คำนวนจากสูตรนี้มีขนาดเกิน 35.6% ของรัศมีภายในแต่จะถูกคำนวนจากสูตร






| | | | |
|---|---|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลาง | 950 | มม. | |
| ความหนา (t) | 12 | มม. | |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | | |
| Design pressure | 1.5 | MPa (15 บาร์) | |
| Design Temperature for Saturated | | 191.6 | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | | 200 | C |
| Maximum allowance stress | | 138 | N/มม.$^2$ |

$t = PL / (2S - 0.2P)$ มม.

N/มม.$^2$

$P = 1.5$

| | | | |
|---|---|---|---|
| L = | 475 | | มม. |
| S = | 138 | | $N/มม.^2$ |
| t = | PL / (2S – 0.2P) | | มม. |
| | (1.5x475) / [(2x138)-(0.2x1.5)] | | มม. |
| | 2.6 | | มม. |

การเปรียบเทียบ $t_{cal} > t_{dish}$ดังนั้น ความหนา**ฝาปิดหัว** 12 มม.สามารถใช้งานได้ตามสภาวะที่คำนวน

### 3.5.16 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ช่องเปิด (Opening)**

**PG-32.1.2** ช่องเปิดที่มีรูปแบบแน่นอน ดังเช่น รูท่อ อาจต้องถูกออกแบบตามข้อกำหนดของ “Ligament” ใน “PG-52” ที่ต้องจัดให้มี “เส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะที่สอดคล้องและไม่เกิน “Fig. PG-32.”

โดยที่ :

*D* = outer diameter of the shell

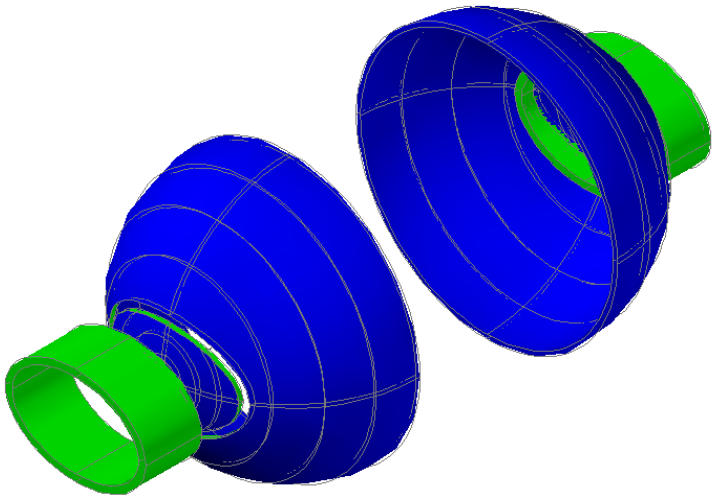
*d* = maximum allowable diameter of openings

*P* = maximum allowable working pressure

*S* = maximum allowable stress value, taken from Tables 1A and 1B of Section II, Part D

*t* = actual thickness of the shell

$$K = \frac{PD}{1.82St}$$



**PG-32.1.3.1** ไม่จำเป็นต้องการคำนวณค่าชดเชยสำหรับช่องเปิดเดี่ยว (ที่ไม่เป็นไปตาม PG-38 หรือ PG-52) ในส่วน “Shell”, “Header” หรือ “Formed head” ในกรณีที่ “Inside diameter” ของส่วนที่กล่าวมามีขนาดไม่น้อยว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิด และตามสภาวะดังนี้

**PG-32.1.3.1.1** ขนาดของชิ้นต่อไม่โตกว่า “DN 50”

**PG-32.1.3.1.2** เกลียวหรือ “Stud” ที่ต้องเจาะรูมีขนาดไม่โตกว่า “DN 50”

**PG-32.1.3.2** ไม่ต้องคำนวนแสดงตาม “PG-33” สำหรับ “single openings” ที่ไม่เป็นไปตาม “PG-32.1.3.1” เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดใน “Shell” หรือ “Header” ไม่เกินตามข้อกำหนดใน “Fig. PG-32”

**PG-38.2**

ช่องเปิดที่ใกล้กัน 2 ช่องจะต้องมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางไม่น้อยกว่า $1^1/_3$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

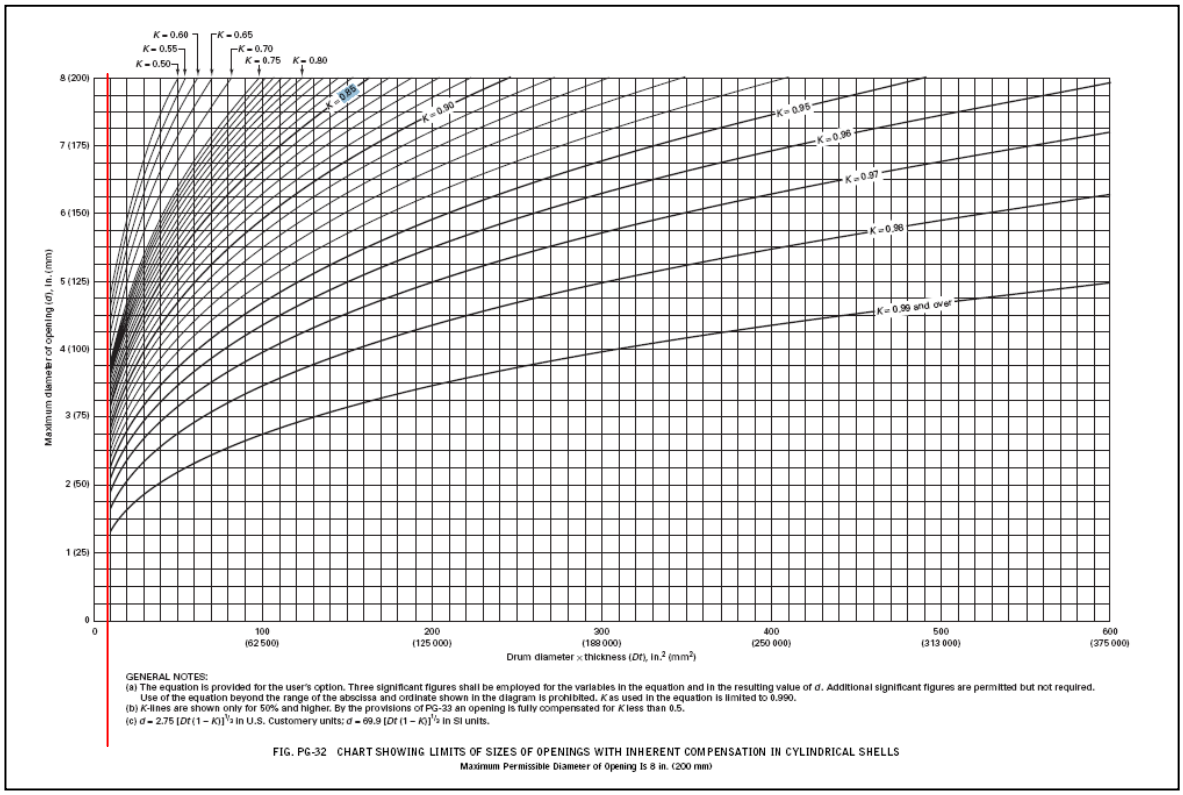



FIG. PG-32 CHART SHOWING LIMITS OF SIZES OF OPENINGS WITH INHERENT COMPENSATION IN CYLINDRICAL SHELLS
Maximum Permissible Diameter of Opening Is 8 in. (200 mm)

Ellipsoidal Manhole ขนาด 500 x 300 มม. x มม.

$$K = \frac{PD}{1.82St}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| D | = | 950 | มม. |
| P | = | 1.5 | N/มม.2 |
| T | = | 12 | มม. |
| S | = | 138 | N/มม.2 |
| K | = | 0.47 | N/มม.3 |

$$d = 69.9[Dt(1-K)]^{1/3}$$

D = 69.9 [950x12(1-0.47)]$^{1/3}$ มม.

= 1273 มม.

อย่างไรก็ตาม “Maximum Permissible Diameter of Opening Is 8 in. (200 มม.)” จากการคำนวณแล้วพบว่า Manhole มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากสุด 500 มม. < 1273 มม. แต่มีขนาดโตกว่า 200 มม. จึงต้องคำนวณพื้นที่รับแรงว่า “Manhole” จะสามารถใช้ได้

### 3.5.17 การออกแบบหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler)

**ชิ้นส่วนที่ออกแบบ : ช่องเปิด (Opening)**

$$e_G = \sqrt{(2r_{Wi} + t)t}$$

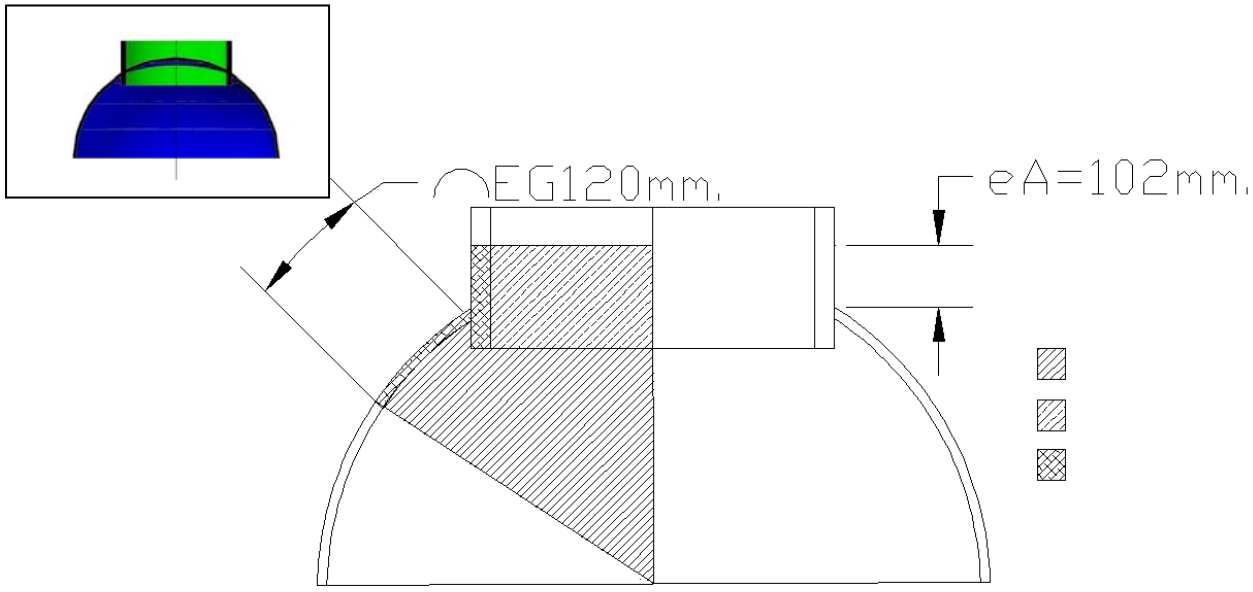
$$e_A = \sqrt{(d_{Ai} + t_{MH})t_{MH}}$$

t = ความหนา Spherical dish head

$t_{MH}$ = ความหนา Manhole

$r_{Wi}$ = รัศมีภายใน Spherical dish head

$d_{Ai}$ = รัศมีภายในช่องเปิด




| | | |
|---|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลาง | 950 | มม. |
| ความหนา (t) | 12 | มม. |
| การยึดติด (Jointing) | การเชื่อม | |
| Design pressure | 1.5 | MPa (15 บาร์) |
| Design Temperature for Saturated | 191.6 | C |
| วัสดุ Carbon steel Plate SA-516 G70 | 200 | C |
| Maximum allowance stress | 138 | $N/มม.^2$ |
| Spherical Manhole ขนาด | 500 x 300 | มม. x มม. |
| Diameter head | 950 | มม. |

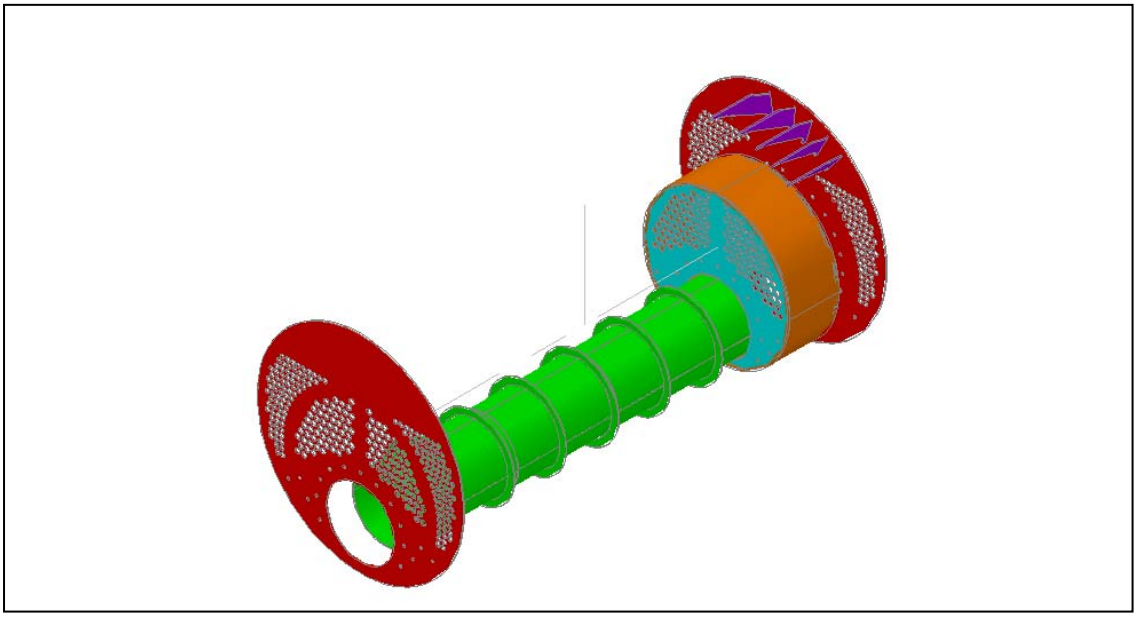
| | | |
|---|---|---|
| $e_G$ = | $\sqrt{(2x475+12)x12}$ | มม. |
| | 107.44 | มม. |
| $A_{P\ from\ eG}$ = | ½ x107.44x 950 + ½ x 500 x950 | มม.$^2$ |
| | 51,034+237,500 | มม.$^2$ |
| | 288,534 | มม.$^2$ |
| $F_P$ = | 288,534 x 1.5 | N |
| | 432,801 | N |
| $e_A$ = | $\sqrt{(500+20)20}$ | มม. |
| | 102 | มม. |
| $A_{\sigma\ from\ eA}$ = | (120x12) + (102x20) | มม.$^2$ |
| | 1440+2040 | มม.$^2$ |
| | 3480 | มม.$^2$ |
| $F_{\sigma=}$ | 3480 x 138 | N |
| | 480,240 | N |

จากการคำนวณแล้วพบว่า $F_P$ > $F_\sigma$ Manhole
ดังนั้นชิ้นส่วนรับแรงของช่องเปิดสามารถใช้งานได้ตามค่าที่ออกแบบ

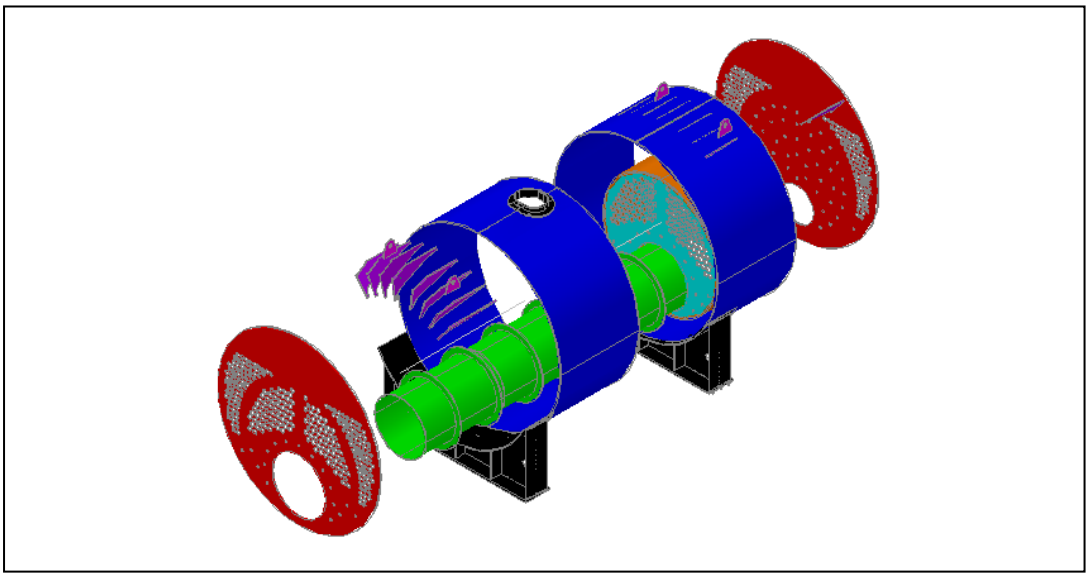
# บทที่ 4
# การตรวจสอบการผลิตหม้อน้ำ

การตรวจสอบการผลิตหม้อน้ำ ประกอบด้วย 3 กิจกรรม โดยแบ่งตามลำดับขั้นตอนการผลิตหม้อน้ำ คือ การผลิตชิ้นส่วนหลักของหม้อน้ำ ประกอบติดตั้งชิ้นส่วนหลัก และการประกอบอุปกรณ์หม้อน้ำ

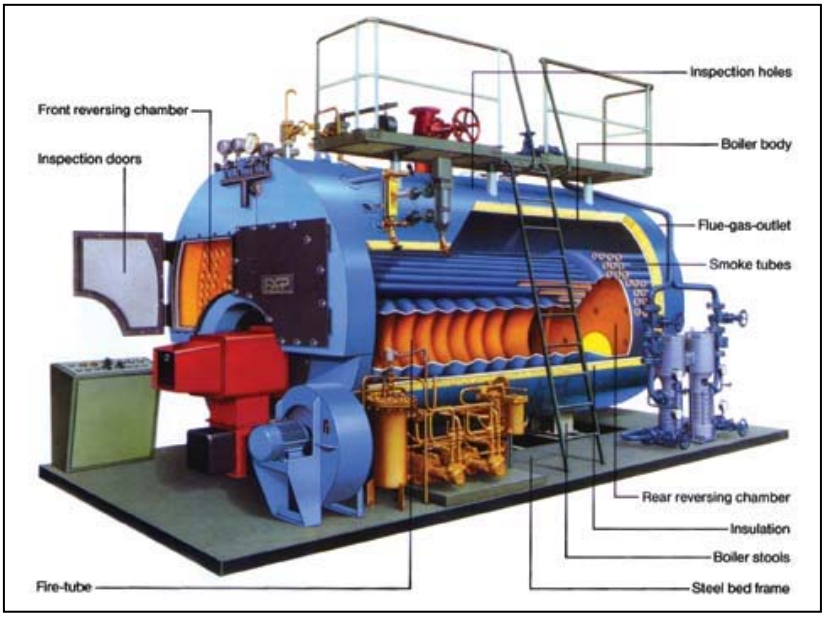
- **การผลิตชิ้นส่วนหลักของหม้อน้ำ** เช่น ผลิตท่อไฟใหญ่ ท่อไฟเล็ก เปลือกหม้อน้ำ ผนังหม้อน้ำ ดรัม ปล่องไฟ เป็นต้น โดยทั่วไปชิ้นส่วนเหล่านี้จะใช้กรรมวิธีการเชื่อมเป็นวิธีหลักในการผลิต ดังนั้นการตรวจสอบกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้จะใช้กิจกรรมการตรวจสอบรอยเชื่อมเป็นหลัก ได้แก่ การตรวจทดสอบแบบทำลาย (Destructive test) และการตรวจทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive test) ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป



- **การประกอบติดตั้งชิ้นส่วนหลัก** เป็นขั้นตอนการผลิตที่สำคัญถัดจากการผลิตชิ้นส่วนหลัก โดยจะนำอุปกรณ์ที่ผลิตต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันซึ่งบางบริเวณนั้นมีความซับซ้อนและยุ่งยากต่อการตรวจทดสอบ ดังนั้นเพื่อตรวจพิสูจน์ความแข็งแรงของโครงสร้าง จึงต้องใช้กรรมวิธีในการตรวจสอบด้วยการทดสอบความดัน (Pressure test)



- **การประกอบติดตั้งอุปกรณ์หม้อน้ำ** เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตหม้อน้ำซึ่งในขั้นตอนนี้ จะมีการจัดหาอุปกรณ์จากบริษัท หรือโรงงานผู้ผลิตอื่น เช่น Safety valve, Force draught fan, Induced draught fan, Feed water pump, อุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้า เป็นต้น มาติดตั้งที่ตัวหม้อน้ำ ดังนั้นเพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์เหล่านั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิผล จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ (Functional test) ว่าเป็นไปตามสภาวะการออกแบบ



จากทั้ง 3 ลำดับขั้นของการผลิตจึงกล่าวได้ว่าวิธีการตรวจสอบหม้อน้ำทั้งระบบประกอบไปด้วยการตรวจสอบ 3 ชนิด คือ การตรวจสอบงานเชื่อม (Welding Inspection) การทดสอบความดัน (Pressure test) และการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ (Functional test)

# 4.1 การตรวจสอบงานเชื่อม(Welding Inspection)

ในการตรวจสอบงานเชื่อมนั้น จะมีทั้งตรวจสอบทางเอกสารและตรวจสอบเพื่อหารอยบกพร่องจากชิ้นงานทดสอบและจากชิ้นงานจริง โดยสามารถแบ่งชนิดของการตรวจสอบเพื่อหารอยบกพร่องออกเป็น การตรวจทดสอบแบบทำลาย(DESTRUCTIVE TESTING) และการตรวจทดสอบแบบไม่ทำลาย (NON-DESTRUCTIVE TESTING)

ตามมาตรฐาน “ASME” ผู้ผลิตหม้อน้ำมีหน้าที่ในการเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจทดสอบ ส่วนการตรวจทดสอบชิ้นงานอาจส่งให้กับหน่วยงานทดสอบที่เชื่อถือได้ทำการทดสอบหรือดำเนินการทดสอบเองอย่างไรก็ตามห้องปฏิบัติการในการตรวจทดสอบต้องได้รับการรับรองมาตรฐานการตรวจทดสอบ

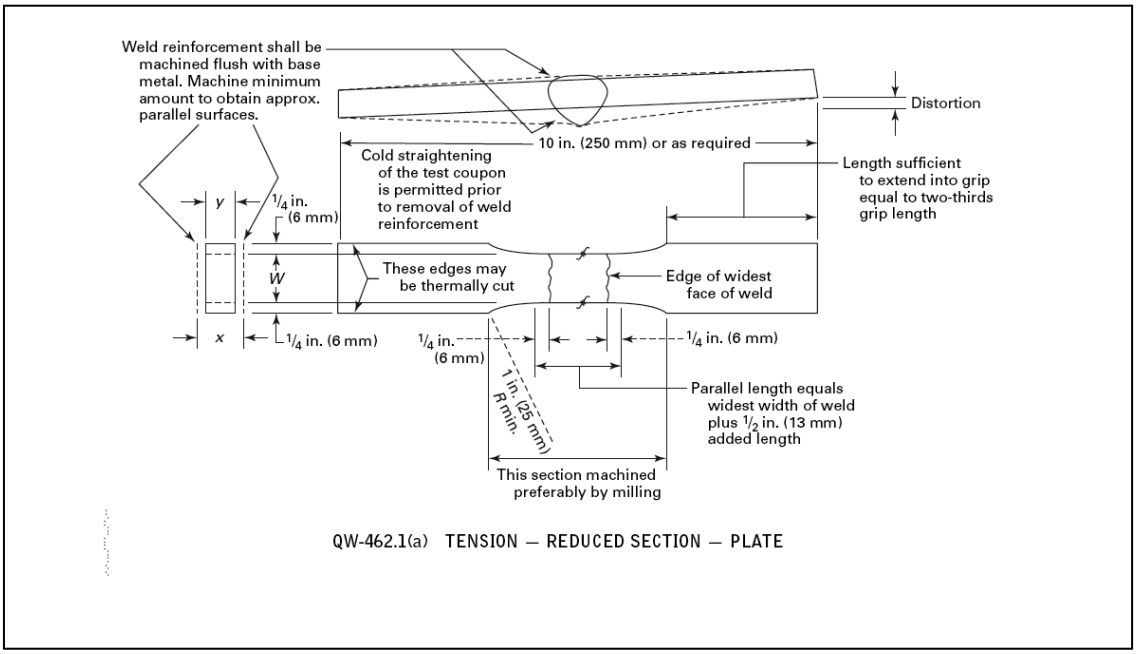
### 4.1.1 การทดสอบแบบทำลาย (DESTRUCTIVE TESTING)

การทดสอบแบบทำลายเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในการทดสอบชิ้นงานเชื่อม หรือเนื้อวัสดุเพื่อที่จะสามารถประเมินได้ว่าช่างเชื่อม หรือ ชิ้นงานเชื่อม หรือ วัสดุนั้น มีคุณสมบัติเพียงพอต่อการนำไปใช้หรือไม่ โดยปกติการทดสอบแบบทำลายจะประกอบไปด้วย 3 วิธีหลัก อ้างอิงตาม ASME section IX ได้แก่

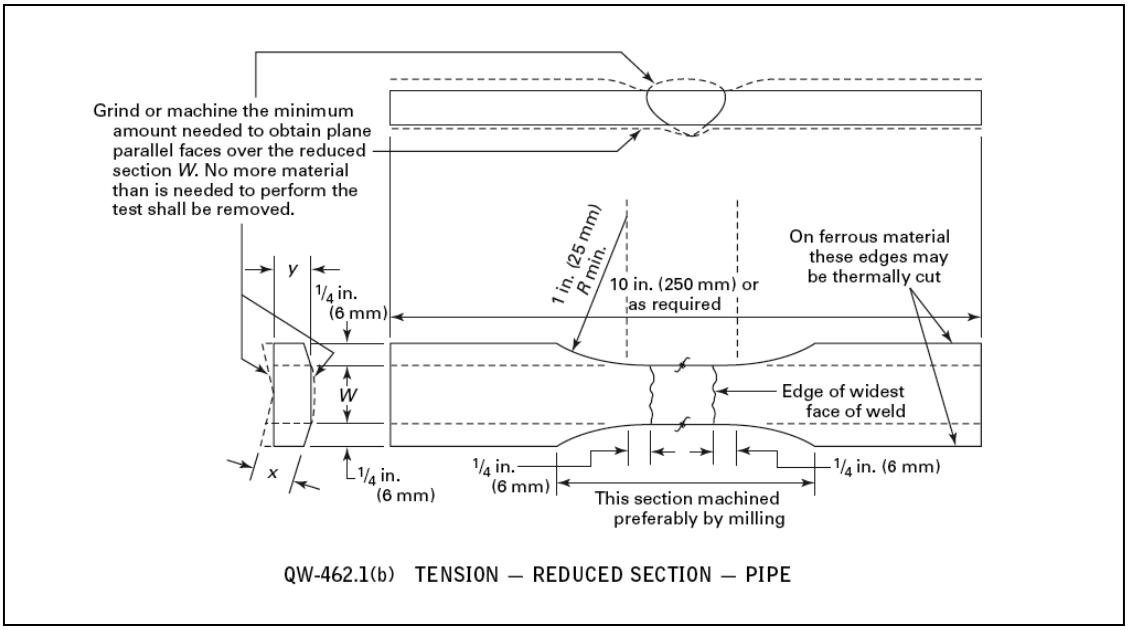
#### 4.1.1.1 การทดสอบแรงดึง (TENSILE TEST)

การทดสอบแรงดึงสำหรับงานเชื่อมมีไว้เพื่อจุดประสงค์ในการพิสูจน์ดูความแข็งแรงของแนวเชื่อมให้แน่ใจว่าคุณภาพของวัสดุ เป็นไปตามข้อกำหนด หรือนำผลการทดสอบไปใช้ในการเลือกวัสดุในงานวิศวกรรม หรือใช้คุณสมบัติต้านทานแรงดึง ไปทำนายพฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงดึง
ขั้นตอนที่สำคัญในการทดสอบแรงดึงขั้นตอนหนึ่งคือ การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงโดยการเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASME section IX, QW-450 เช่น ต้องการทดสอบแรงดึงในในชิ้นงานที่ใช้สำหรับผนังหม้อน้ำ จะต้องการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงเป็นไปตามรูปที่ 4.1.1 และ 4.1.2 โดยที่จำนวนของชิ้นงานทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1.1 หลังจากเตรียมชิ้นงานที่นำมาทดสอบแรงดึง ดัดโค้ง และทำการทดสอบจนได้ผลการทดสอบ โดยที่ผู้ทดสอบวิเคราะห์ผลการทดสอบชิ้นทดสอบนั้น “ผ่าน” จากนั้นให้นำ ผลทดสอบแรงดึงไปเติมในเอกสาร “PQR” เพื่อรับรองสถานะของ “WPS” ว่าสามารถใช้งานได้

ในกรณีที่ทำการตรวจทดสอบแรงดึงกับวัสดุที่ไม่สามารถระบุค่าคุณสมบัติ(Unidentified material) จะต้องหาค่าคุณสมบัติเชิงกล โดยทำการตรวจทดสอบแรงดึง และเมื่อได้รับผลการทดสอบแล้ว จึงนำผลความต้านทานแรงดึงนั้นไปคำนวนหาความแข็งแรงของหม้อน้ำต่อไป




**รูปที่ 4.1.1** การเตรียมชิ้นงานเชื่อมเพื่อทดสอบ TRANSVERSE TENSILE สำหรับเหล็กแผ่น




**รูปที่ 4.1.2** การเตรียมชิ้นงานเชื่อมเพื่อทดสอบ TRANSVERSE TENSILE สำหรับท่อเหล็ก

**ตารางที่ 4.1.1** การรับรองการจำกัดความหนาของชิ้นงานทดสอบแรงดึงในแนวเชื่อมตรง (QW- 451.1) และจำนวนชิ้นงานทดสอบที่ต้องกระทำ

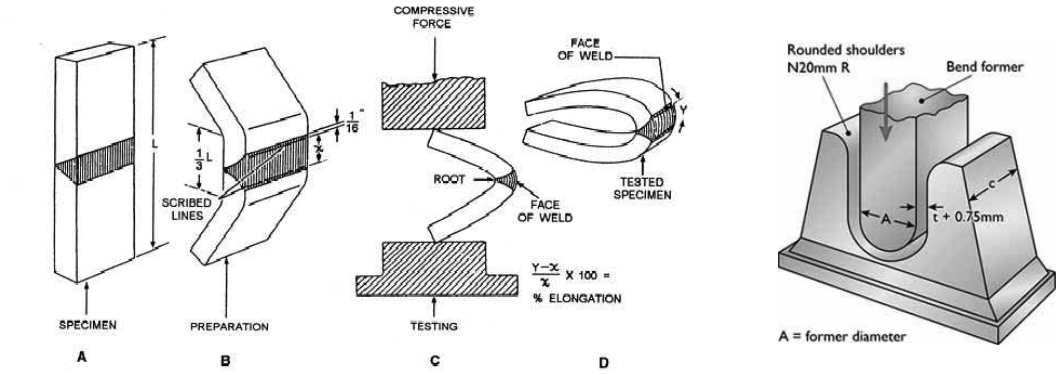
QW-451.1
GROOVE-WELD TENSION TESTS AND TRANSVERSE-BEND TESTS

| Thickness $T$ of Test Coupon, Welded, in. (mm) | Range of Thickness $T$ of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)] Min. | Max. | Maximum Thickness $t$ of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)] | Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)] Tension, QW-150 | Side Bend, QW-160 | Face Bend, QW-160 | Root Bend, QW-160 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Less than 1/4 (1.5) | $T$ | $2T$ | $2t$ | 2 | ... | 2 | 2 |
| 1/4 to 3/8 (1.5 to 10), incl. | 1/4 (1.5) | $2T$ | $2t$ | 2 | Note (5) | 2 | 2 |
| Over 3/8 (10), but less than 3/4 (19) | 1/4 (5) | $2T$ | $2t$ | 2 | Note (5) | 2 | 2 |
| 3/4 (19) to less than 1 1/2 (38) | 1/4 (5) | $2T$ | $2t$ when $t <$ 3/4 (19) | 2 [Note (4)] | 4 | ... | ... |
| 3/4 (19) to less than 1 1/2 (38) | 1/4 (5) | $2T$ | $2T$ when $t \geq$ 3/4 (19) | 2 [Note (4)] | 4 | ... | ... |
| 1 1/2 (38) and over | 1/4 (5) | 8 (200) [Note (3)] | $2t$ when $t <$ 3/4 (19) | 2 [Note (4)] | 4 | ... | ... |
| 1/2 (38) and over | 1/4 (5) | 8 (200) [Note (3)] | 8 (200) [Note (3)] when $t \geq$ 3/4 (19) | 2 [Note (4)] | 4 | ... | ... |

NOTES:
(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.
(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.
(3) For the welding processes of QW-403.7 only; otherwise per Note (1) or $2T$, or $2t$, whichever is applicable.
(4) See QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).
(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness $T$ is 3/8 in. (10 mm) and over.

### 4.1.1.2 การทดสอบดัดโค้ง (BEND TEST)

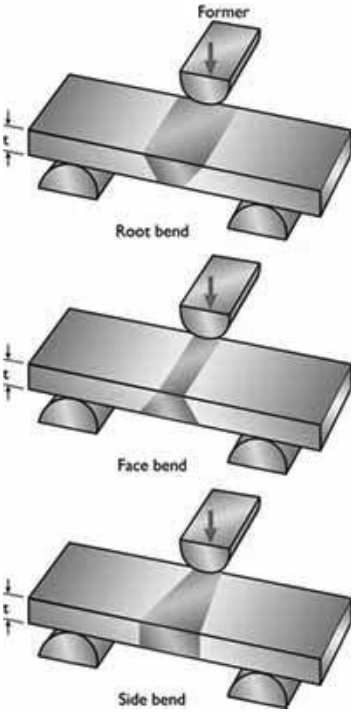
การทดสอบการดัดโค้ง เป็นการทดสอบสำหรับการตรวจสอบรอยเชื่อมหรือบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน ( Heat Affected Zone; HAZ) โดยการดัดโค้งจะกระทำโดยนำเอาชิ้นงานทดสอบมาดัดให้เกิดการโค้งแล้วพิจารณาว่าชิ้นงานที่ถูกดัดนั้นมีรอยร้าว หรือรอยของการฉีกขาดที่ขอบ หรือบริเวณที่ถูกดัดหรือไม่ ซึ่งจะมีรูปร่างการดัดตามรูปที่ 4.1.3และต้องกำหนดมุมรัศมีของมุมในการดัดด้วย




**รูปที่ 4.1.3** รูปลักษณะการดัดโค้ง

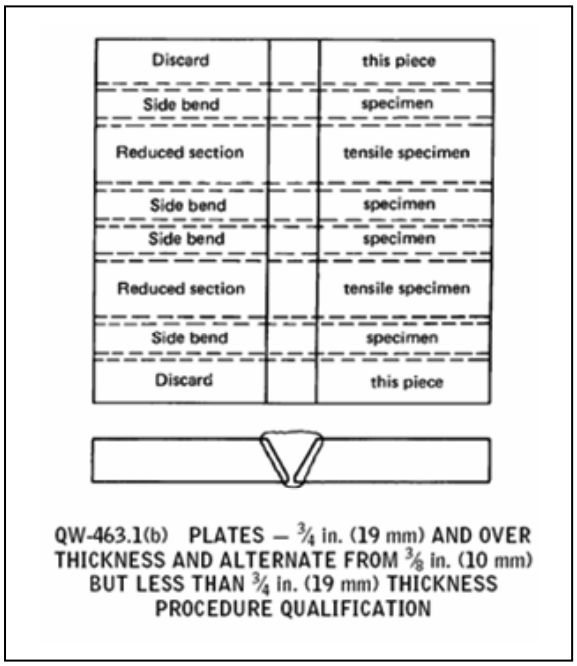
**ชนิดของการทดสอบดัดโค้ง**

1. ROOT BEND TEST คือการกดที่ FACE เพื่อดู ROOT
2. FACE BEND TEST คือการกดที่ ROOT เพื่อดู FACE
3. SIDE BEND TEST คือการกดที่ SIDE ด้านหนึ่งเพื่อดู SIDE ด้านหนึ่ง



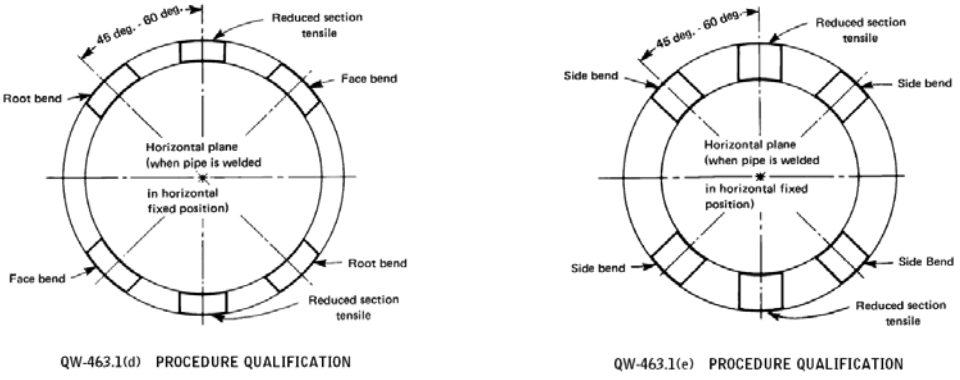

**รูปที่ 4.1.4** ชนิดของการดัดโค้ง

การเตรียมตำแหน่งการตัดชิ้นงานเพื่อการดัดโค้งและทดสอบดึงสำหรับแผ่นชิ้นงานเชื่อมแบนราบตามมาตรฐาน ASME section IX สามารถกระทำได้โดยสำหรับชิ้นงานเชื่อมที่เป็นแผ่นโดยมีความหนาน้อยกว่า 19 มม. ให้เตรียมชิ้นงานตาม QW-463.1(a) และสำหรับชิ้นงานที่มีความหนามากกว่า 19 มม.ให้เตรียมชิ้นงานตาม QW-463.1(b)ส่วนชิ้นงานเชื่อมที่เป็นท่อหนาน้อยกว่า 19 มม. ให้เตรียมชิ้นงานตาม QW-463.1(d) และ ท่อหนามากกว่ากว่า 19 มม. ให้เตรียมชิ้นงานตาม QW-463.1(e)




**รูปที่ 4.1.5** การเตรียมชิ้นงานสำหรับแผ่นแบนราบ

การเตรียมตำแหน่งการตัดชิ้นงานสำหรับท่อ สามารถกระทำได้ดังนี้




**รูปที่ 4.1.6** การเตรียมชิ้นงานสำหรับท่อโค้ง

**4.1.1.3 การทดสอบแรงกระแทก (IMPACT TEST)**

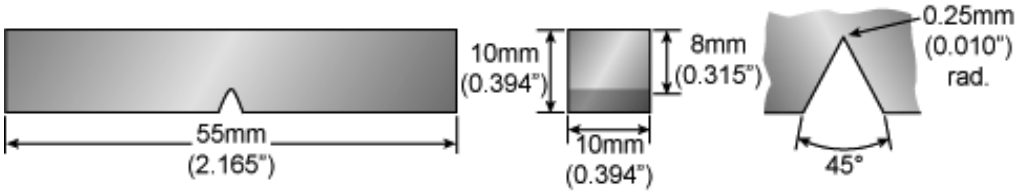
การทดสอบแรงกระแทก คือ การวัดความสามารถในการดูดซับพลังงาน (ENERGY ABSORBED) ที่ทำให้เกิดการแตกหักโดยฉับพลัน (High strain rate) โดยมีจุดประสงค์ในการทดสอบเพื่อ

- เพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงกระแทกของวัสดุที่อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ
- เพื่อทดสอบว่าวัสดุที่อุณหภูมิที่ทดสอบนั้นมีพฤติกรรมการแตกเหนียว(Ductile)หรือเปราะ(Brittle)

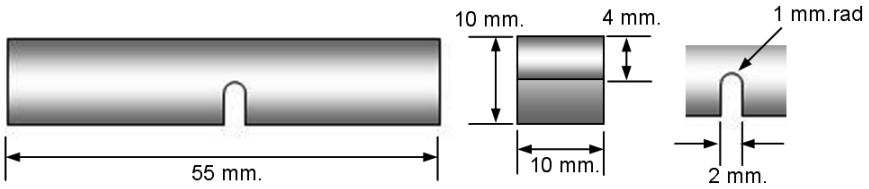
ปัจจัยที่สำคัญต่อการรับแรงกระแทกของวัสดุ สามารถจำแนกออกเป็น 3 ปัจจัย ดังนี้

- รูปร่าง ขนาด ชิ้นงาน เช่น ขนาดของร่องบาก (NOTCH SIZE)
- สภาวะในการทดสอบ เช่น อุณหภูมิซึ่งส่งผลต่ออัตราการยืด (Strain rate)
- ค่าคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ค่า Yield, Ductility, Fracture mechanism

การเตรียมตำแหน่งการตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM สามารถกระทำตามรูปได้ดังนี้

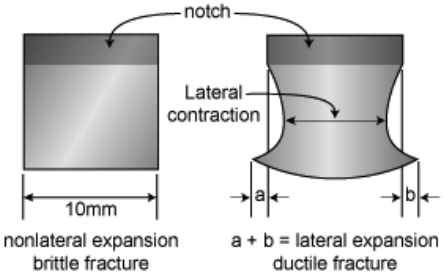



**รูปที่ 4.1.7** การเตรียมชิ้นงาน “Charpy V-notch”




**รูปที่ 4.1.8** การเตรียมชิ้นงาน “U-notch” หรือ “Key-hole notch”

โดยปกติแล้วการทดสอบแรงกระแทกจะใช้ทดสอบในอุปกรณ์ที่ใช้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ เช่น ถังบรรจุแอมโมเนีย(Ammonia reciever), ถังเก็บออกซิเจนเหลว (Liquid oxygen tank) เป็นต้น แต่บางกรณีก็ต้องมีการวัดค่าการรับแรงกระแทกในอุณหภูมิปกติ เช่น น๊อตและโบท์ล ที่ต้องมีการทดสอบความสามารถในการรับแรงกระแทก (วัดเป็นค่า “Lateral Expansion”)




ตาม ASME B31.3 ต้องมีค่า Lateral Expansion ไม่น้อยกว่า 0.38 mm. สำหรับโบท์ลที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเกิน 656 $N/mm^2$

**4.1.2 การตรวจทดสอบแบบไม่ทำลาย (NON-DESTRUCTIVE TESTING)**

การตรวจทดสอบแบบไม่ทำลาย หมายถึง กรรมวิธีที่ใช้ในการค้นหารอยบกพร่องหรือความผิดปกติใด ๆ ที่อยู่ในชิ้นงาน ทั้งที่เป็นอันตรายต่อการใช้งานหรือไม่เป็นอันตรายต่อการใช้งานโดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงานนั้น ซึ่งต่อไปนี้รอยบกพร่องหรือความผิดปกติใดๆ จะเรียกว่า ความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) การตรวจทดสอบแบบไม่ทำลายสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น

- การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection)
- การตรวจสอบโดยใช้ของเหลวแทรกซึม (Liquid Penetrant test)
- การตรวจสอบโดยใช้ของอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle test)
- การตรวจสอบโดยใช้ภาพถ่ายรังสี (Radiographic test)
- การตรวจสอบโดยใช้อุลตาโซนิค (Ultrasonic test)
- การตรวจสอบโดยใช้กระแสไหลวน (Eddy Current test)
- การตรวจสอบโดยใช้คลื่นอะคลูสติก(Acoustic Emission test)

ซึ่งในบทนี้จะกล่าวเพียง 5 ชนิดของการตรวจทดสอบแบบไม่ทำลายที่สำคัญ

**4.1.2.1 การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection)** คือการตรวจสอบเพื่อหาสิ่งบกพร่องที่ผิวนอก เช่น การบิดเบี้ยว (Distortion) การเชื่อมเกย(Overlap) รอยเชื่อมนูนเกินไป (Excess convexity) รอยเชื่อมเว้า (Excess Concavity) รูพรุน(Porosity) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete fusion) การซึมลึกไม่สมบูรณ์(Inadequate joint penetration) การกัดขอบรอยเชื่อม (Undercut) การแตกร้าว (Cracking) ซึ่งการทดสอบด้วยกรรมวิธีการนี้ถือว่าเป็นกรรมวิธีเบื้องต้นในการทดสอบ

การทดสอบด้วยกรรมวิธีนี้ถือได้ว่าเป็นกรรมวิธีที่สำคัญที่สุดเนื่องจากผู้ตรวจสอบที่ดีต้องมีความรู้ความชำนาญทั้งในชิ้นส่วนที่ทำการตรวจสอบและอุปกรณ์ช่วยในการตรวจสอบเพื่อให้เกิดความถูกต้อง

**4.1.2.2 การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (METHOD FOR LIDUID PENETRANT EXAMINATION)**

**การทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrant Examination)** หมายถึง : การใช้สารแทรกซึมหารอยบกพร่องจากผิวของรอยเชื่อมหรือผิวของชิ้นงาน สารแทรกซึม (Liquid Penetrant) จะแทรกซึมเข้าไปในรอยบกพร่องที่เป็นโพรงช่องว่างของเนื้อโลหะที่ทาการทดสอบ โดยอาศัยหลักของการแทรกซึมเข้าช่องว่างขนาดเล็ก (Capillary Action) ความสามารถของการแทรกซึมจะขึ้นอยู่กับความตึงผิว ความหนืด และความสามารถในการเปียกผิวชิ้นงาน (Wetability) ของสารแทรกซึมนั้น เมื่อขจัดสารแทรกซึมส่วนเกินที่อยู่ตามผิวภายนอกของชิ้นงานออก แล้วใช้สารดูดซับสารแทรกที่มีตกค้างภายในรอยบกพร่องออกมา จะทาให้สามารถทดสอบรอยบกพร่องที่มีอยู่ได้

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ เพื่อทำการทดสอบหารอยบกพร่องที่ผิวใด ๆ ที่อยู่ในรอยเชื่อมและส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรง ทั้งรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมสร้าง การเชื่อมซ่อม การเกิดขึ้นโดยสาเหตุจากการใช้งาน การทดสอบเมื่อครบวาระ

ในการทดสอบด้วยกรรมวิธีนี่ผู้ทดสอบตาม ต้องได้รับการรับรองคุณสมบัติข้อกำหนดของหน่วยงานที่รับผิดชอบ

การปฏิบัติการตรวจสอบผู้ตรวจทดสอบจะต้องมีการเตรียม**ใบสั่งเทคนิคการทำงาน (Written Procedure)** โดยมีหลักการทางเทคนิคการทดสอบตาม โลหะวิทยา ชนิด และ ลักษณะของรอยบกพร่อง และรูปร่างของรอยเชื่อม และเมื่อทำตามใบสั่งเทคนิคการทำงานนี้แล้ว ถ้ามีรอยบกพร่องจะต้องสามารถทดสอบหารอยบกพร่องให้พบ โดยให้ระบุรายละเอียดต่อไปนี้

- หมายเลขและชื่อใบสั่งเทคนิคการทำงาน ชื่อ โครงการ และเจ้าของ
- ลักษณะของรอยเชื่อม ชนิดของวัสดุ และความหนา
- สภาพของพื้นผิวที่จะทำการทดสอบ
- ผู้ผลิตและชนิดของสารแทรกซึม
- กรรมวิธีการใช้สารแทรกซึมตรวจสอบ
- แบบรายงานผลการทดสอบ
- ผู้ทดสอบและใบรับรองคุณสมบัติ (Certificate)

**4.1.2.2.1 สำหรับเครื่องมือและวัสดุสิ้นเปลืองในการทดสอบนี้ประกอบด้วย**

1. Cleaner / Remover หมายถึง น้ำยาที่ใช้สาหรับทำความสะอาดผิวชิ้นงาน และขจัดสารแทรกซึมส่วนเกิน

2. Penetrant หมายถึง น้ำยาที่ใช้สำหรับแทรกซึมเข้าไปในรอยตำหนิหรือรอยบกพร่องต่าง ๆ ถ้าเป็นชนิดที่สามารถมองเห็นภายใต้แสงแบล็คไลท์(Fluorescent Penetrant) จะมีส่วนผสมของสารเรืองแสง
3. Developer หมายถึง น้ำยาที่ใช้สำหรับดูดซับ Penetrant ออกจากรอยบกพร่องต่าง ๆ ออกมาที่ผิวชิ้นงาน
4. เศษผ้าสีขาว สามารถดูดซับน้ำยาทดสอบได้ดี ไม่เป็นขุยหรือขน เพื่อใช้สำหรับเช็ดทำความสะอาดชิ้นงานและขจัดสารแทรกซึมส่วนเกิน
5. โคมแบล็คไลท์ (Black Light) ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงแบล็คไลท์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่ทำให้ Penetrant ชนิดเรืองแสง (Fluorescent Penetrant) เรืองแสงออกมาเป็นแสงสว่างเห็นได้ชัดเจนในที่มืด ชนิดของหลอดกำเนิดแสงอาจเป็นชนิดใด ๆ ก็ได้ แต่ต้องมีความถี่แสงที่ปล่อยออกมาอยู่ในช่วง 340-360 นาโนเมตร และสามารถให้ความเข้มของการส่องสว่างได้ไม่ต่ำกว่า 1000 $W/cm^2$ ที่ บริเวณทดสอบ
6. การทำความสะอาดชิ้นงานเบื้องต้น เช่น การขจัดสนิม การลอกสี จะใช้กระบวนการหรือน้ำยาใด ๆ ก็ได้ที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือการเสื่อมคุณสมบัติของชิ้นงาน และจะต้องไม่ก่อให้เกิดการตกค้างหรือการอุดตันอยู่ภายในรอยบกพร่อง และชิ้นงานจะต้องแห้งสนิทภายหลังจากการทำความสะอาดเสร็จ
7. คุณสมบัติและชนิดของชุดน้ำยาทดสอบด้วยสารแทรกซึม
   ชุดน้ำยาทดสอบด้วยสารแทรกซึม ต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานดังต่อไปนี้
   - MIL-I-25135 หรือ ASTM E165 หรือ NAVSEA 250-1500-1 หรือ ASME
   - น้ำยาทดสอบจะต้องบรรจุอยู่ในกระป๋องฉีด (Aerosl Can) และเป็นชนิดดังต่อไปนี้
     - Cleaner / Remover ให้ใช้ชนิดที่เป็นตัวทำละลาย
     - Penetrant ให้ใช้ชนิดที่ขจัดออกด้วยตัวทำละลาย (Solvent-Removable Penetrant) ซึ่งอาจจะเป็นชนิดที่สามารถเห็นได้ด้วยแสงสว่าง (Visible Penetrant) หรืออาจจะเป็นชนิดเรืองแสงที่สามารถเห็นได้ด้วยแสงแบล็คไลท์ (Fluorescent Penetrant) ก็ได้
     - Developer ให้ใช้ชนิดที่ผง Developer แขวนลอยอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำ (Nonaqueous Wet Developer)
   - ชุดน้ำยาทดสอบ ต้องผลิตจากผู้ผลิตเดียวกัน และสามารถใช้ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ จะต้องจัดเก็บในที่ที่เหมาะสมตามคำแนะนำของผู้ผลิต Penetrant ชนิดเรืองแสงอาจเสียคุณสมบัติการเรืองแสงถ้าเก็บอยู่ในที่ร้อนเป็นเวลานาน

- ชุดน้ำยาทดสอบชนิดอื่น ๆ ที่แตกต่างจากที่กล่าวมาข้างต้นจะอนุญาตให้ใช้ได้ถ้าชุดน้ำยานั้นสามารถตรวจสอบพบรอยบกพร่องขนาด 0.8 มิลลิเมตร

**ในการทดสอบ** ผู้ทดสอบต้องระมัดระวังอันตรายจากการใช้สารแทรกซึมเช่น การสัมผัส การสูดดม การติดไฟ เป็นต้น และควรจัดเตรียมเครื่องป้องกันอันตรายที่จำเป็นและเหมาะสม การทดสอบให้ดำเนินการ ดังนี้

ก่อนการทดสอบต้องมีใบสั่งเทคนิคการทำงานให้ผู้ทดสอบ โดยผู้ทดสอบที่ได้รับการรับรองแล้วทำการเตรียมผิวงานทดสอบ ซึ่งโดยปกติการทดสอบที่ผิวงานหลังการเชื่อมเสร็จ (As Welded) จะให้ผลที่ดี แต่อาจจะเป็นต้องขัดผิวหรือตกแต่งผิวงานกรณีที่มีบางสิ่งที่ทำให้เกิดรอยบ่งชี้ แปลกปลอม สาหรับผิวที่ไม่มีรอยผุกร่อนมาก เมื่อลอกสีหรือขูดสนิมออกแล้ว ใช้แปลงลวดไฟฟ้าขัดก็เพียงพอ การเตรียมผิวต้องระวังมิให้เศษผงต่างๆเข้าไปอุดตันในรอยบกพร่อง หรือมิให้ใช้กระบวนการทางกลที่จะทาให้ผิวของรอยบกพร่องเสียรูปจนปิดรอยบกพร่องนั้นไป

กรณีผิวมีรอยผุกร่อนมากจะต้องขจัดสนิมออกให้หมดจนถึงเนื้อโลหะ อาจใช้วิธีการขัดหรือวิธีอื่นๆ ที่เหมาะสมก่อนการทดสอบ บริเวณผิวที่จะทำการทดสอบและบริเวณใกล้เคียงห่างจากขอบรอยเชื่อมประมาณ 25 มิลลิเมตร จะต้องแห้ง ปราศจากสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่น น้ามัน สนิม เม็ดไฟ หรืออื่นๆที่ทำให้มีผลต่อการทดสอบ

**4.1.2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ**

1. ทำความสะอาดเบื้องต้นตามขั้นตอนการเตรียมผิว ผิวของชิ้นงานที่เหมาะสมกับการทดลองจะต้องแห้ง มีความสะอาดเพียงพอ และมีอุณหภูมิระหว่าง 10 ถึง 52 องศาเซลเซียส
2. ถ้าใช้ Visible Penetrant ในการทดสอบ จะต้องทำในบริเวณที่มีแสงสว่างเพียงพอ สามารถมองเห็นชิ้นงานได้อย่างชัดเจน
3. ถ้าใช้ Fluorescent Penetrant ในการทดสอบ จะต้องทำในบริเวณที่มืดภายใต้แสงแบล็คไลท์ ผู้ทดสอบจะต้องอยู่ในบริเวณที่มืดอย่างน้อยที่สุด 5 นาทีก่อนทาการทดสอบเพื่อให้สายตาคุ้นกับความมืด ก่อนทำการทดสอบโคมแบล็คไลท์จะต้องเปิดทิ้งไว้อย่างน้อยที่สุด 5 นาที และจะต้องวัดความเข้มของแสงสว่างให้ได้ตามที่กำหนด คือมีค่าไม่ต่ำกว่า 1000 $W/cm^2$ บนผิวทดสอบและต้องทำการวัดทุก ๆ 8 ชั่วโมง หรือเมื่อมีการเปลี่ยนสถานที่ทดสอบ
4. ทำการฉีด Cleaner / Remover บนผิวชิ้นงานบริเวณที่จะทำการทดสอบเพื่อชะล้างสิ่งสกปรกออกจากบริเวณนั้นให้สะอาด แล้วปล่อยให้ Cleaner / Remover ระเหยจนแห้ง
5. ทำการฉีด Penetrant บนผิวชิ้นงานบริเวณที่จะทาการทดสอบ ควรจะระวังเรื่องของการไหลของน้ำยาซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากผิวชิ้นงานไม่ได้ระนาบหรือเป็นสันนูนซึ่ง

อาจมีผลให้บางบริเวณได้รับ Penetrant ไม่เพียงพอในกรณีนี้ควรฉีด Penetrant เพิ่มเติมตามความจาเป็น หลังจากฉีด Penetrant เสร็จแล้วให้ทิ้งไว้อย่างน้อย 5 นาที หรือมากกว่าตามแต่ชนิดของรอยบกพร่องที่ต้องการหา เพื่อให้น้ำยาซึมเข้าไปในรอยบกพร่อง

6. ใช้เศษผ้าเช็ด Penetrant ส่วนเกินที่ติดอยู่บนผิวชิ้นงานออกจนหมด จนเหลือส่วนที่เป็นคราบไม่สามารถเช็ดออกได้

7. ฉีด Cleaner / Remover ลงบนเศษผ้าที่สะอาด เพื่อให้เศษผ้านั้นมีความชื้นของ Cleaner / Remover เล็กน้อย นำเศษผ้านั้นเช็ดบนชิ้นงานอย่างระมัดระวัง เพื่อเช็ดคราบของ Penetrant ส่วนเกินที่ยังติดอยู่ออก สังเกตสีหรือการเรืองแสงของ Penetrant บนเศษผ้าที่เช็ดแล้วนั้นว่า Penetrant ถูกเช็ดออกหมดหรือไม่ ระวังการเช็ดที่มากเกินไปที่จะทำให้ Penetrant ที่อยู่ในรอยบกพร่องออกมาด้วยและห้ามฉีด Cleaner / Remover ลงบนผิวชิ้นงานโดยตรง

8. เมื่อเช็ดชิ้นงานจนสะอาดได้ที่แล้ว ให้ทาการฉีด Developer ลงบนชิ้นงาน การฉีดจะต้องทำโดยระมัดระวัง โดยที่จะต้องทำให้ Developer กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆบนชิ้นงาน การฉีด Developer หนาเกินไปจะทำให้ไม่สามารถทดสอบหารอยบกพร่องขนาดเล็กได้ เมื่อ Developer แห้ง ให้สังเกตการณ์เปลี่ยนสีหรือการเรืองแสงของ Developer ที่เกิดจากการดูดซับ Penetrant ออกจากรอยบกพร่อง และพิจารณาว่ารอยบ่งชี้ที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากรอยบกพร่องจริงหรือเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของผิวชิ้นงาน ควรสังเกตจุดเริ่มต้นและการเกิดภาพของรอยบ่งชี้ เพื่อประกอบการพิจารณาว่ารอยบ่งชี้นั้นน่าจะเป็นรอยบ่งชี้ชนิดใด การตัดสินผลการทดสอบให้กระทำภายหลังการฉีดDeveloperอย่างน้อย7นาทีและไม่เกิน60 นาที

**4.1.2.2.3 เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้**

1. รอยบ่งชี้ที่ไม่นามาพิจารณาประเมินผล (Nonrelevant Indication) คือรอยบ่งชี้ที่มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร โดยวัดในทิศทางที่มากที่สุด

2. รอยบ่งชี้ที่นำมาพิจารณาประเมินผล (Relevant Indication) คือรอยบ่งชี้ที่มีขนาดวัดในทิศทางที่มากที่สุด มากกว่า 1.6 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- รอยบ่งชี้รูปร่างกลม (Round Indication) คือ รอยบ่งชี้ที่มีความยาวน้อยกว่า 3 เท่าของความกว้าง
- รอยบ่งชี้รูปร่างยาว (Linear Indication) คือ รอยบ่งชี้ ที่มีความยาวมากกว่าหรือเท่ากับ 3 เท่าของความกว้าง

3. เกณฑ์การตัดสินรอยเชื่อม รอยเชื่อมที่ผ่านการทดสอบต้องปราศจาก

- รอยบ่งชี้รูปร่างยาว
- รอยบ่งชี้รูปร่างกลมที่มีขนาดมากกว่า 4.8 มิลลิเมตร
- รอยบ่งชี้รูปร่างกลมที่เรียงเป็นแนวตั้งแต่ 4 รอยขึ้นไป โดยที่ระยะห่างจากขอบ ถึงขอบรอยบ่งชี้ต่ากว่า 1.6 มิลลิเมตร
- ขนาดของรอยบ่งชี้อาจจะใหญ่กว่าขนาดของรอยบกพร่องจริง แต่อย่างไรก็ตาม ในการตัดสินให้ยึดถือขนาดของรอยบ่งชี้เป็นหลัก

**4.1.2.3 วิธีการตรวจสอบด้วยผงแม่เหล็ก (METHOD FOR MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION)**

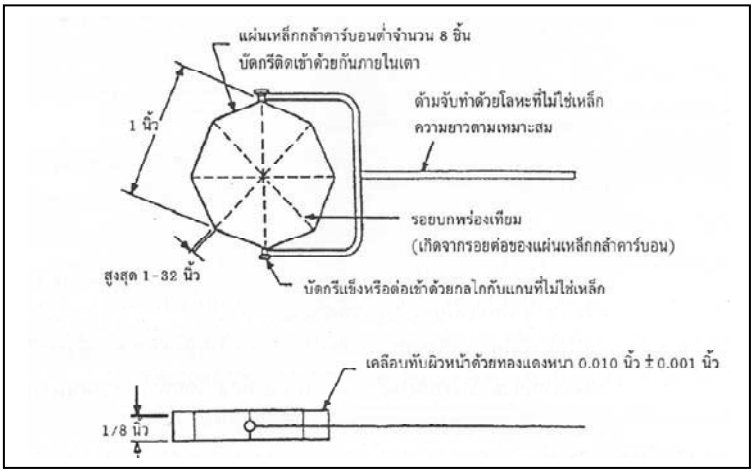
**การทดสอบด้วยวิธีใช้ผงแม่เหล็ก** (Magnetic Particle Test) : หมายถึง วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายบนชิ้นงานที่สามารถทำให้เป็นแม่เหล็กได้ วิธีการทดสอบต้องทำชิ้นงานให้เป็นแม่เหล็กเมื่อให้ผงเหล็กลงไป ผงเหล็กจะเกาะบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กรั่วออกมาเนื่องจากการมีรอยบกพร่องบนผิวทำให้สามารถตรวจสอบพบรอยบกพร่อง โดยมีวัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อทำการทดสอบหา “รอยบกพร่อง” ที่ผิวใดๆที่อยู่ในรอยเชื่อม และส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรง ทั้งรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมสร้าง การเชื่อมซ่อม การเกิดขึ้นโดยสาเหตุจากการใช้งาน การทดสอบเมื่อครบวาระ
ในการทดสอบด้วยกรรมวิธีนี่ผู้ทดสอบ ต้องได้รับการรับรองคุณสมบัติข้อกำหนดของหน่วยงานที่รับผิดชอบ

การปฏิบัติการตรวจสอบผู้ตรวจทดสอบจะต้องมีการเตรียม**ใบสั่งเทคนิคการทำงาน (Written Procedure)** โดยมีหลักการทางเทคนิคการทดสอบตาม โลหะวิทยา ชนิด และ ลักษณะของรอยบกพร่อง และรูปร่างของรอยเชื่อม และเมื่อทำตามใบสั่งเทคนิคการทำงานนี้แล้ว ถ้ามีรอยบกพร่องจะต้องสามารถทดสอบหารอยบกพร่องให้พบ โดยให้ระบุรายละเอียดต่อไปนี้

- หมายเลขและชื่อใบสั่งเทคนิคการทำงาน ชื่อถัง โครงสร้าง และเจ้าของ
- ลักษณะของรอยเชื่อม ชนิดของวัสดุ
- เทคนิคการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กที่ใช้
- อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก
- ผู้ผลิต และชนิดของผงเหล็กที่ใช้
- สภาพของพื้นผิวที่จะทดสอบ
- ชนิดและขนาดของกระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก
- แบบของการวางโย้ก (Yoke) ระยะห่างของการวางโย้กแต่ละครั้ง เพื่อให้สามารถทดสอบหารอยบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในทิศทางต่างๆได้ครบ
- การสลายอำนาจแม่เหล็กเมื่อทดสอบเสร็จ ถ้าจำเป็น
- แบบรายงานผลการทดสอบ ผู้ทดสอบและใบรับรองคุณสมบัติ (Certificate)

**4.1.2.3.1 สำหรับเครื่องมือและวัสดุสิ้นเปลืองในการทดสอบนี้ประกอบด้วย**

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ใช้แบบโย้กแม่เหล็กไฟฟ้า หรือโย้กแม่เหล็กถาวร (Electromagnetic Yoke or Permanent Yoke) ไม่ให้ใช้แบบที่ผ่านกระแสไฟฟ้าโดยตรงบนชิ้นงาน (Prod)
2. ซึ่งเทคนิคในการทดสอบต้องเป็นแบบต่อเนื่องเท่านั้น (Continuous Method) ที่ใช้วิธีที่ต้องเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กให้เกิดขึ้นบนผิวในบริเวณที่จะทำการทดสอบตลอดเวลาทั้งขณะที่ให้ผงเหล็ก และการจัดผงเหล็กส่วนเกินออก
3. ผงแม่เหล็กที่ใช้เป็นตัวกลางในการทดสอบควรเป็นแบบเปียกซึ่งมี 2 ชนิด คือ ชนิดมองเห็นด้วยแสงสว่างและชนิดเรืองแสง ผงเหล็กต้องมีสีแตกต่างกับพื้นผิวที่จะทำการทดสอบและมีความเข้มพร้อมคุณสมบัติอื่น ๆ ตามที่ระบุใน ASME SE 709 : Standard Recommended
4. Practice for Magnetic Examination ผงเหล็กแบบเปียกสามารถใช้ได้ในอุณหภูมิไม่เกิน135ºF (58ºC) ผงเหล็กแบบแห้งอนุญาตให้ใช้เฉพาะทดสอบรอยเชื่อมซ่อมที่อยู่ในแนวราบ และแนวดิ่งเท่านั้น ห้ามใช้ทาเหนือศีรษะ
5. วัสดุปรับสีผิวทดสอบ (White Contrasting) เพื่อทำให้เกิดคามแตกต่างในการมองเห็นระหว่างผงเหล็กกับผิวทดสอบซึ่งโดยทั่วไปจะใช้สีขาว สำหรับผงเหล็กแบบเรืองแสงอาจทำการทดสอบโดยไม่ต้องใช้วัสดุปรับสีผิวได้
6. เครื่องวัดแรงสนามแม่เหล็ก (Magnetic Particle Field Indicator) ใช้สำหรับตรวจความเข้ม และ ทิศทางของสนามแม่เหล็ก ตัวอย่างแบบหนึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 1 ผู้ทดสอบอาจใช้เครื่องแสดงความแรงสนามแม่เหล็กชนิดอื่นๆ ได้ตามความเหมาะสม
7. โคมแบล็คไลท์ (Black Light) ใช้เป็นแหล่งกาเนิดแสงแบล็คไลท์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่ทำให้ผงเหล็กชนิดเรืองแสง เรืองแสงออกมาเป็นแสงสว่างเห็นได้ชัดเจนในที่มืด ชนิดของหลอดกำเนิดแสงอาจจะเป็นชนิดใดๆก็ได้ แต่ต้องมีความถี่แสงที่ปล่อยออกมาภายนอกอยู่ในช่วง 340 – 360 นาโนเมตร และสามารถให้ความเข้มของการส่องสว่างได้ไม่ต่ำกว่า 1000 W/340-360 นาโนเมตร และสามารถให้ความเข้มของการส่องสว่างไม่ต่ำกว่า 1000 W/cm$^2$ ที่บริเวณทดสอบ




รูปที่ 4.1.9 ตัวอย่างเครื่องวัดความแรงสนามแม่เหล็ก

**หมายเหตุ** : เพื่อให้ผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือในการทำงานดังนั้นต้องมีการตรวจสอบอุปกรณ์ดังนี้

- ต้องทำการปรับเทียบโย้กอย่างน้อยปีละครั้ง หรือทุกครั้งที่มีการซ่อม ปรับปรุง หรือมีความเสียหาย และถ้าเป็นโย้กที่ไม่ได้ใช้เป็นเวลานานกว่า 1 ปี จะต้องทำการปรับเทียบก่อนใช้
- การปรับเทียบแรงเหนี่ยวนำของโย้ก โดยการยกก้อนน้ำหนักซึ่งทำด้วยเหล็กคาร์บอนดังต่อไปนี้
- โย้กแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับต้องสามารถยกก้อนน้ำหนักมาตรฐานได้อย่างน้อย 4.5 กิโลกรัม เมื่อขั้วของโย้กอยู่ห่างกันมากที่สุดที่จะใช้ในการทดสอบ
- โย้กแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสตรงหรือแม่เหล็กถาวร ต้องสามารถยกก้อนน้ำหนักมาตรฐานได้อย่างน้อย 18.1 กิโลกรัม เมื่อขั้วของโย้กอยู่ห่างกันมากที่สุดที่จะใช้ในการทดสอบ
- ก้อนน้ำหนักมาตรฐานต้องได้รับการชั่งจากเครื่องชั่งที่เชื่อถือได้ และต้องทำการชั่งน้ำหนักใหม่อีกครั้งเมื่อมีความเสียหายที่อาจทำให้น้ำหนักของก้อนน้ำหนักหายไป
- ทำบันทึกการปรับเทียบให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้

**4.1.2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ โดยใช้ผงเหล็กชนิดมองเห็นด้วยแสงสว่าง (White Light) ในการทดสอบต้องปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้**

1. ทำความสะอาดเบื้องต้นตามขั้นตอนการเตรียมผิว โดยปกติการทดสอบผิวงานหลังการเชื่อมเสร็จ (As Welded) จะให้ผลที่ดี แต่อาจจะเป็นต้องขัดผิว หรือตกแต่งผิวงานกรณีที่ ผิวงานมีบางสิ่งที่ทาให้เกิดรอยบ่งชี้แปลกปลอม สำหรับผิวที่ไม่มีรอยผุกร่อนมาก เมื่อลอกสีหรือขูดสนิมออก

2. .แล้วใช้แปลงลวดไฟฟ้าขัดก็เพียงพอ จากนั้นปรับสีผิวลงบนพื้นผิวที่จะทำการทดสอบ โดยเฉพาะเท่าที่จำเป็นไม่หนาเกินไปจนมีผลต่อความสามารถในการหารอยบกพร่องขนาดเล็ก

3. กรณีผิวมีรอยผุกร่อนมาก จะต้องขจัดสนิมออกให้หมดจนถึงเนื้อโลหะ อาจใช้วิธีการขัด หรือพ่นทราย หรือวิธีอื่นๆ ที่เหมาะสมก่อนทำการทดสอบบริเวณผิวที่จะทำการทดสอบ และบริเวณใกล้เคียงห่างจากขอบรอยเชื่อมประมาณ 25 มิลลิเมตร จะต้องแห้งปราศจากสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่น น้ำมัน สนิม เม็ดไฟ หรืออื่นๆ ที่ทาให้มีผลต่อการทดสอบ

4. ถ้าเป็นผิวที่มีการเคลือบผิว จะต้องมีการแสดงให้เห็นว่ารอยบ่งชี้จะสามารถปรากฏได้เมื่อเหนี่ยวนำชิ้นงานผ่านผิวเคลือบที่หนาที่สุด โดยทั่วไปความหนาของผิวเคลือบที่ไม่เกิน 80 ไมครอน สามารถทำการทดสอบได้

5. แล้วทำการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กแบบต่อเนื่องลงบนผิวของชิ้นงานทดสอบ
6. โรยผงแม่เหล็กลงบนผิวทดสอบ ขณะทำการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก
7. ทำการตรวจพินิจภายใต้แสงสว่าง หลังจากให้ผงเหล็กลงไปไม่ต่ำกว่า 3-5 วินาที
8. ย้ายไปเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กยังจุดถัดไป และทำการทดสอบซ้ำเหมือนเดิม

**4.1.2.3.3 ขั้นตอนการทดสอบ โดยใช้ผงเหล็กแบบเรืองแสง ต้องทำการทดสอบภายใต้แสงแบล็คไลท์ (Black Light) ให้ปฏิบัติดังนี้**

ทำความสะอาดพื้นผิวตามวิธีการข้างต้นถึงขั้นตอนที่ 4 แล้วปฏิบัติต่อดังนี้

1. ผู้ตรวจสอบจะต้องอยู่ในบริเวณที่มืดอย่างน้อยที่สุด 5 นาทีก่อนทำการทดสอบ เพื่อให้สายตาคุ้นเคยกับความมืด
2. โคมแบล็คไลท์ที่ใช้ จะต้องเปิดทิ้งไว้อย่างน้อยที่สุด 5 นาที ก่อนทำการทดสอบหรือวัดความเข้มส่องสว่างของแสงให้ได้ตามกำหนดโดยมีค่าไม่ต่ำกว่า 1000 $W/cm^2$ บนผิวทดสอบ และต้องทำการวัดทุกๆ 8 ชั่วโมง หรือเมื่อมีการเปลี่ยนสถานที่
3. การทดสอบจะต้องคลอบคลุมพื้นที่ 100% ของผิวรอยเชื่อมและส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน และมีสนามแม่เหล็กพอเพียงที่จะให้เกิดรอยบ่งชี้จากรอยบกพร่องขึ้น

**หมายเหตุ :** สำหรับเทคนิคการตรวจสอบสามารถกระทำได้ดังนี้

- การทดสอบแต่ละครั้ง ที่ครอบคลุมพื้นที่มากเกินไปจนสนามแม่เหล็กไม่เพียงพอ จะทำให้ทดสอบไม่พบรอยบกพร่อง
- การทดสอบควรจะทาในแต่ละส่วนอย่างน้อย 2 ครั้ง โดยที่ครั้งที่ 2 ควรให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นอยู่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในครั้งแรก เพื่อให้สามารถหารอยบกพร่องได้ทุกทิศทาง
- เมื่อต้องตรวจสอบทิศทาง และความเข้มของสนามแม่เหล็ก ให้ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องแสดงความแรงสนามแม่เหล็ก (Magnetic Particle Field Indicator) วางลงบน

  ผิวทดสอบ/เมื่อเหนี่ยวนำชิ้นงานให้เป็นแม่เหล็กและให้ผงเหล็กลงไปจะเกิดการรวมตัวของผงเหล็กบนผิวหน้าทองแดง ซึ่งจะบ่งบอกถึงความแรงของสนามและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ถ้าไม่ปรากฏเส้นของผงเหล็กหรือไม่ปรากฏในทิศทางที่
- ต้องการจะมีการปรับหรือเปลี่ยนเทคนิคในการสร้างสนามแม่เหล็กตลอดจนขอบเขตของพื้นที่ ที่ทำการทดสอบแต่ละครั้งใหม่
- การสลายอานาจแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กตกค้างในชิ้นงานที่อาจมีผลต่อการทำงานหรือใช้งานในขั้นต่อไป จะต้องสลายหลังการทดสอบ โดยทั่วไปที่สร้างจากเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมต่ำไม่จำเป็นต้องทำการสลายสนามแม่เหล็กตกค้าง

**4.1.2.3.4 เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้**

รอยบ่งชี้ที่ไม่นามาพิจารณาและประเมินผล (Nonrelevant Indication) คือรอยบ่งชี้ที่ไม่มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร โดยวัดในทิศทางที่มากที่สุด

รอยบ่งชี้ที่นามาพิจารณาประเมินผล (Relevant Indication) คือรอยบ่งชี้ที่มีขนาดวัดในทิศทางที่มากที่สุด มากกว่า 1.6 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- รอยบ่งชี้รูปร่างกลม (Round Indication) คือรอยบ่งชี้ที่มีความยาวน้อยกว่า 3 เท่าของความกว้าง
- รอยบ่งชี้รูปร่างยาว (Linear Indication) คือรอยบ่งชี้ที่มีความยาวมากกว่าหรือเท่ากับ 3 เท่าของความกว้าง

เกณฑ์การตัดสินรอยเชื่อม

- รอยเชื่อมที่ผ่านการทดสอบต้องปราศจาก รอยบ่งชี้รูปร่างยาว
- รอยบ่งชี้รูปร่างกลม ที่มีขนาดมากกว่า 4.8 มิลลิเมตร
- รอยบ่งชี้รูปร่างกลมที่เรียงเป็นแนวตั้งแต่ 4 รอยขึ้นไป โดยที่ระยะห่างจากขอบถึงขอบรอยบ่งชี้ ต่ำกว่า 1.6 มิลลิเมตร

**4.1.2.4 วิธีการตรวจสอบด้วยรังสี(METHOD FOR RADIOGRAPHIC EXAMINATION)**

**การตรวจสอบด้วยรังสี (Radiographic Examination)** หมายถึง การฉายรังสีผ่านทะลุเนื้อโลหะและแนวเชื่อมเข้าไปหาฟิล์ม ปริมาณความเข้มของรังสีที่ตกกระทบและทำปฏิกิริยาบนฟิล์มขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการดูดกลืน รังสีของโลหะและรอยบกพร่อง ซึ่งรอยบกพร่องที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเนื้อโลหะ จะปรากฏอยู่ในฟิล์มเป็นบริเวณที่มีความเข้มสูง โดยวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ เพื่อหารอยบกพร่องใด ๆ ที่อยู่ในรอยเชื่อมและส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรง ทั้งรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมสร้าง การเชื่อมซ่อม การเกิดขึ้นโดยสาเหตุมาจากการใช้งาน และการตรวจสอบเมื่อครบวาระ

การปฏิบัติการตรวจสอบผู้ตรวจทดสอบจะต้องมีการเตรียม**ใบสั่งเทคนิคการทำงาน (Written Procedure) โดยมี**หลักการทางเทคนิคการทดสอบตาม โลหะวิทยา ชนิด และ ลักษณะของรอยบกพร่อง และรูปร่างของรอยเชื่อม และเมื่อทำตามใบสั่งเทคนิคการทำงานนี้แล้ว ถ้ามีรอยบกพร่องจะต้องสามารถทดสอบหารอยบกพร่องให้พบ โดยให้ระบุรายละเอียดต่อไปนี้

- หมายเลขและชื่อใบสั่งเทคนิคการทำงาน ชื่อ และเจ้าของ
- ลักษณะของรอยเชื่อม ชนิดของวัสดุและความหนา
- ชนิดของสารกัมมันตรังสี (Isotope) หรือความต่างศักย์ที่ใช้ในการกำหนดรังสีเอกซ์ (X-Ray Voltage) ที่ใช้
- ระยะทางต่ำสุดจากแหล่งกาเนิดรังสีถึงผิวงานด้านรังสี
- ระยะทางสูงสุดจากผิวงานด้านรังสีถึงฟิล์ม
- ขนาดของแหล่งกำเนิดรังสีสูงสุดที่ใช้
- ผู้ผลิตและชนิดของฟิล์มที่ใช้
- ฉากเพิ่มความไวที่ใช้ (Screen Used)

- เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมม่า หรือรังสีเอกซ์
- อุปกรณ์เครื่องมือที่จะใช้ในการฉายรังสีและป้องกันอันตรายจากรังสี
- สภาพของพื้นผิวที่จะทดสอบ
- แบบรายงานผลการทดสอบ
- ผู้ทดสอบและใบรับรองคุณสมบัติ (Certificate)

**4.1.2.4.1 สำหรับเครื่องมือและวัสดุสิ้นเปลืองในการทดสอบนี้ประกอบด้วย**

1. **แหล่งกำเนิดรังสี** เครื่องกำเนิดรังสีสำหรับการถ่ายภาพทางอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดรังสีมี 2 ชนิด คือ
   - เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ มีหลอดเอกซ์เรย์ เป็นเครื่องมือกำเนิดรังสีเอกซ์
   - แหล่งกำเนิดรังสีแกมม่า ซึ่งอาจได้จากธาตุกัมมันตรังสี ชนิดอิริเดียม-192 (Ir-192) หรือโคบอลท์ 60 (Co-60)
2. **ฟิล์มสำหรับภาพถ่ายด้วยรังสี** ประเภทของฟิล์มที่ใช้เป็นฟิล์มภาพถ่ายด้วยรังสีจะเป็นฟิลม์ถ่ายภาพทางอุตสาหกรรม(Industrial Radiographic Film) ตามประเภทของฟิลม์ดังต่อไปนี้
   - ฟิล์มประเภทที่ 1 (Type I) เป็นฟิล์มชนิดความไวต่ำ ความแตกต่างของค่าความเข้มของฟิล์มสูงมาก เกรนละเอียดมาก (Law Speed, Very High Contrast, Very low graininess)
   - ฟิล์มประเภทที่ 2 (Type II) เป็นฟิล์มชนิดความไวปานกลาง ความแตกต่างของ ค่าความเข้มของฟิล์มสูง เกรนละเอียดมาก (Medium Speed, High Contrast low graininess)
   - ฟิล์มประเภทที่ 3 (Type III) เป็นฟิล์มชนิดความไวสูง ความแตกต่างของค่าความเข้มของฟิล์มปานกลาง เกรนหยาบ (High Speed, Medium Contrast, High graininess)
3. **ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายรังสี (Image quality Indicator/IQI or Penetrameter)**
4. **ตัวบ่งชี้** คุณภาพของภาพถ่ายรังสี (IQI) จะเป็นชนิดรูกลม (Hole Type) หรือชนิดเส้นลวด (Wire Type) ก็ได้ ซึ่งจะถูกผลิตและกำหนดตาม ภาคผนวกที่ RT-1 สำหรับ IQI ชนิดรูกลม หรือตามภาคผนวก RT-2 สำหรับ IQI ชนิดเส้นลวด
5. **ฉากเพิ่มความไว (Intensifying Screen)**

**ฉากเพิ่มความไวตะกั่ว** จะถูกใช้และสัมผัสอยู่กับฟิล์มโดยตรง ฉากเพิ่มความไวเหล่านี้ต้องปราศจาก ฝุ่น, รอยขีดข่วน, รู และผิวออกไซด์ ความหนาของฉากเพิ่มความไวตะกั่วจะเป็นตามตารางที่ 1

**ตารางที่ 4.1.2 ความหนาของฉากเพิ่มความไวตะกั่ว**

| | | |
|---|---|---|
| รังสีเอ็กซ์ | 150 K vp | 0.005 (0.127) |
| รังสีแกมม่า | Ir - 192 | 0.005 (0.127) |
| | Co-60 | 0.005 (0.127) |

6. **อุปกรณ์อ่านภาพด้วยรังสี (Viewing Facility)** อุปกรณ์อ่านภาพถ่ายด้วยรังสีต้องสามารถปรับความสว่างได้และมีความเข้มของแสงสว่างเพียงพอ สำหรับขอบเขตค่าความเข้มที่กำหนด สถานที่อ่านภาพถ่ายด้วยรังสีควรอยู่ในที่มืด สำหรับแสงสว่างที่ไม่พึงประสงค์ที่ออกจากอุปกรณ์อ่านภาพถ่ายด้วยรังสี ต้องมีหน้ากากปิดบังไว้อย่างมิดชิด

7. **เครื่องมือวัดความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสี:** เครื่องมือวัดความเข้มของภาพถ่ายด้วยรังสี ต้องปรับเทียบและรับรองความเที่ยงตรงโดยใช้แผ่น ภาพถ่ายด้วยรังสีของชิ้นงานขั้นบันได (Calibrated Step Wedge Film) ที่ได้รับการรับรองจากมาตรฐานสากล โดยมีค่าผิดพลาดไม่เกิน ± 0.05 ของค่าจริง

**4.1.2.4.2 การเตรียมผิวชิ้นงานที่จะทำการทดสอบ**

1. ผิวชิ้นงานที่บริเวณที่จะทำการทดสอบจะต้องสะอาด ปราศจากสิ่งที่จะเป็นอุปสรรคในการทดสอบบนภาพถ่ายด้วยรังสีได้ เช่น เม็ดโลหะ (Spatter) รอยเชื่อมช่วยยึดชั่วคราว แผ่นสนิม รอยขีดข่วนทำให้ผิวทดสอบขรุขระ เป็นต้น

2. แนวเชื่อมที่ไม่สม่ำเสมอหรือเป็นรอยคลื่นทั้งด้านใน (ซึ่งสามารถเข้าไปถึงได้) และด้านนอกต้องได้รับการกำจัดออกด้วยกระบวนการที่เหมาะสม จนกระทั่งได้ระดับที่ไม่สามารถสร้างความสับสนต่อภาพปรากฏของข้อบกพร่องในภาพถ่ายด้วยรังสี

**4.1.2.4.3 เทคนิคการถ่ายภาพ (Exposure Technique)**

1. **ในการถ่ายภาพด้วยรังสี** ซึ่งแบ่งเป็นวิธีการต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

ก) วิธีการแบบผนังเดี่ยว ที่มีแหล่งกำเนิดรังสีภายใน (Single Wall Technique With Inside Source) วิธีการนี้ใช้แหล่งกำเนิดรังสีไว้ด้านภายในถังเก็บ และจ่ายก๊าซถังขนส่งก๊าซ ส่วนฟิล์มจะติดไว้ภายนอกและทำการถ่ายภาพ ดูภาคผนวก RT-3 รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

ข) วิธีการแบบผนังเดี่ยวที่มีฟิล์มอยู่ด้านใน (Single Wall Technique With Inside Film) วิธีการนี้จะวางแหล่งกาเนิดรังสีไว้ด้านภายนอก ส่วนฟิล์มจะติดไว้ภายในโดยการแบ่งชิ้นงานเป็นส่วน ๆ แต่จะถ่ายภาพโดยรอบทั้งหมดไม่ได้ ดูภาคผนวก RT-3 รูปแบบที่ 3

ค) วิธีการแบบผนังคู่แต่ถ่ายภาพผนังเดี่ยว (Double Wall Technique With Single Wall Viewing) วิธีการนี้ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถวางแหล่งกำเนิดรังสีหรือฟิล์มไว้ภายในได้ โดยแหล่งกำเนิดรังสีและฟิล์มจะอยู่ภายนอกท่อ และฉายรังสีออกทำมุมองศาใด ๆ กับส่วนที่เป็นรอยเชื่อมและผิวระนาบรังสีจะทะลุผ่านผนัง 2 ชั้น ก่อนที่จะกระทบกับฟิล์ม ดูภาคผนวก RT-3 รูปแบบที่ 4 และรูปแบบที่ 5

ง) วิธีการแบบผนังคู่และถ่ายภาพผนังคู่ (Double Wall Technique With Double Wall Viewing)วิธีการนี้ใช้เมื่อท่อมีขนาดเล็กมาก โดยการจัดวางแหล่งกำเนิดรังสีและฟิล์มแล้วให้รังสีฉายส่องในแนวเฉียงหรือแนวตั้งฉากกับผิวที่มีรอยเชื่อมโดยรอบอยู่ รังสีจะทะลุผ่านผนัง 2 ชั้น แล้วมากระทบบนฟิล์ม โดยได้ภาพจากส่วนรอยเชื่อมทางด้านฟิล์มและด้านแหล่งกำเนิดรังสีพร้อม ๆ กัน ดูภาคผนวก RT-3 รูปแบบที่ 6 และรูปแบบที่ 7

**2. การจัดทิศทางของการฉายรังสี** โดยที่รังสีเดินทางเป็นเส้นตรง เช่นเดียวกับแสงทั่วไป ดังนั้น รังสีที่แผ่ออกไปควรจัดรังสีให้อยู่ในแนวตรงกับบริเวณที่จะทำการตรวจสอบ เพื่อที่จะให้ผลต่อภาพบนแผ่นฟิล์มให้ตรงความจริงมากที่สุด โดยมีความบิดเบือน (Distortion) น้อยที่สุด

**3. การเลือกใช้พลังงานรังสี** พลังงานรังสีแกมม่ากำหนดตามตารางที่ 2

**ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและสารกัมมันตภาพรังสี**

| ชนิดของวัตถุ | ความหนาที่ต่ำสุด | |
|---|---|---|
| เหล็กเหนียว | Iridium 192 | Cobolt 60 |
| | 0.75 นิ้ว | 1.50 นิ้ว |

**ความไม่คมชัดทางรูปทรงเลขาคณิต** (Geometric Unsharpness) หาได้จากสูตร

$$Ug = Fd/D$$

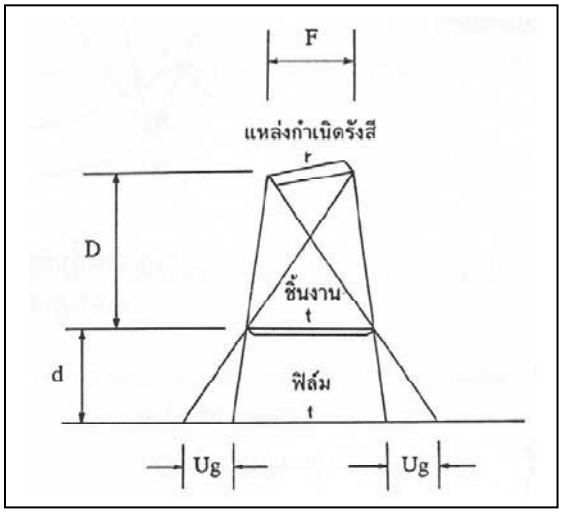
โดย

Ug = ความไม่คมชัดทางรูปทรงเรขาคณิต

F = ขนาดภาพฉาย (Projection) โตที่สุดของแหล่งกำเนิดรังสีในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของ D

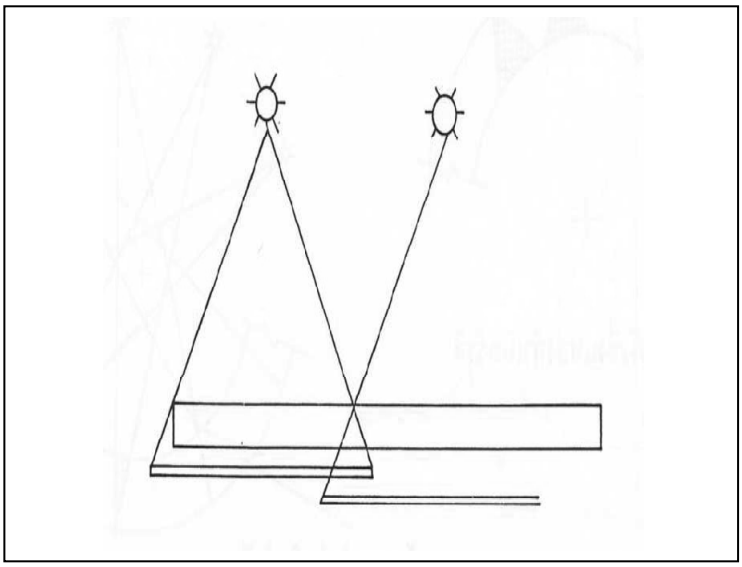
D = ระยะจากแหล่งกำเนิดรังสี ถึงชิ้นงาน (source-to-object-distance)

D = ระยะจากชิ้นงานถึงฟิล์ม (object-to-film-distance)




**รูปที่ 4.1.10** แสดงตำแหน่งการหาค่า Ug

**4. เครื่องหมายกำหนดตำแหน่ง** (Location Marker) เพื่อให้ครอบคลุมปริมาตรที่จะทดสอบให้ติดเครื่องหมายกำหนดตำแหน่งดังแสดงในรูป



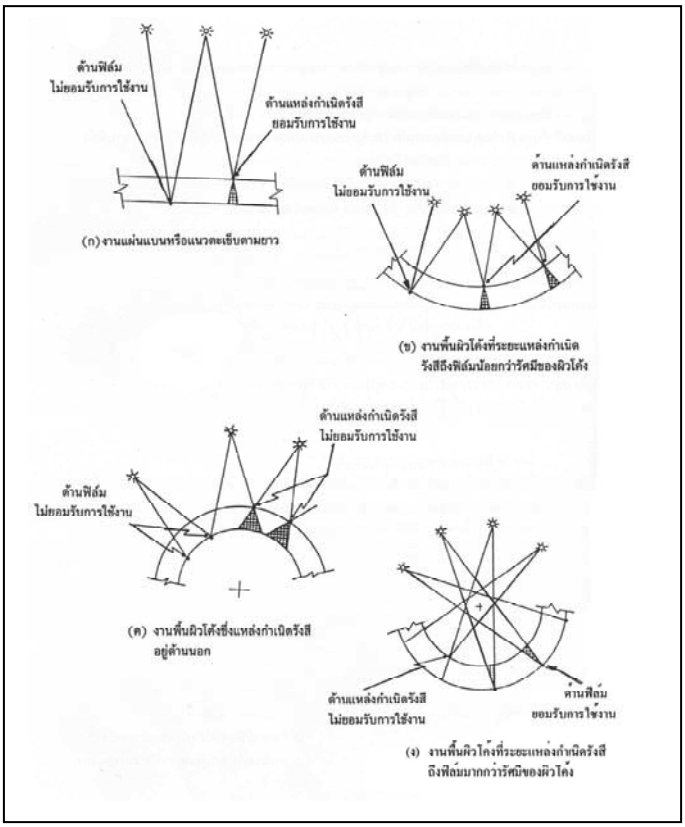
**รูปที่ 4.1.11** แสดงตำแหน่งการวางฟิล์ม

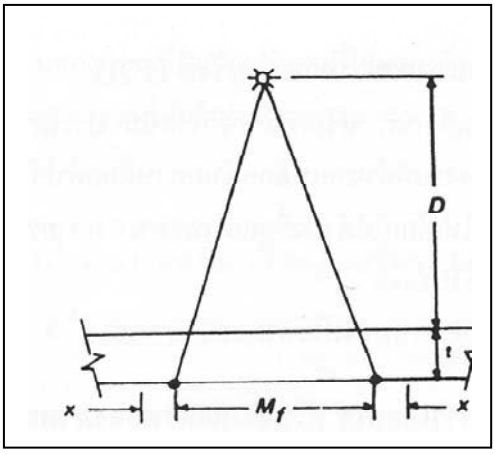
**หมายเหตุ** : สัญลักษณ์

หมายถึง แหล่งกำเนิดรังสี

หมายถึง เครื่องกำหนดตำแหน่ง

หมายถึง จุดศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบ




**รูปที่ 4.1.12** แสดงตำแหน่งการวางฟิล์ม

(จ) เครื่องหมายกำหนดตำแหน่ง (ด้านฟิล์ม) งานแผ่นแบน หรือแนวตะเข็บตามยาว

X = (t/D) (Mf/2)

X = ระยะที่ต้องการเพิ่มนอกเครื่องหมายกำหนดตำแหน่งด้านฟิล์ม (นิ้ว)

t = ความหนาชิ้นงาน (นิ้ว)

Mf = ระยะระหว่างเครื่องหมายกำหนดตำแหน่งในแต่ละฟิล์ม (นิ้ว)

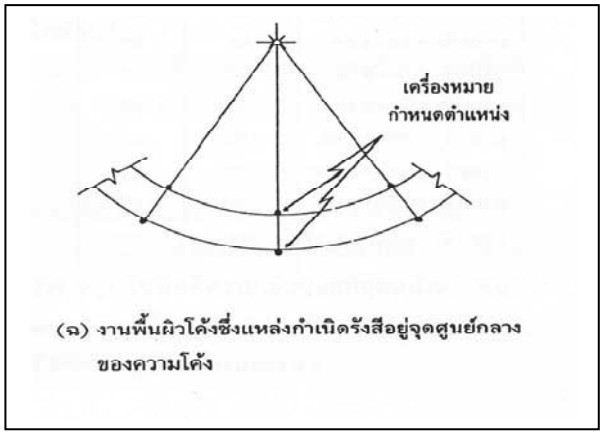
D = ระยะแหล่งกำเนิดรังสี ถึงชิ้นงาน (นิ้ว)

หมายเหตุ : สัญลักษณ์

หมายถึง แหล่งกำเนิดรังสี

หมายถึง เครื่องกำหนดตำแหน่ง

หมายถึง จุดศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบ




**รูปที่ 4.1.13** แสดงตำแหน่งการวางฟิล์ม

**5. การเลือก ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายรังสี (IQI)**

ก) ตัวบ่งชี้ทำจากเหล็กกล้า หรือเหล็กกล้าไร้สนิม ประเภทกลุ่ม 300 (Type 300) ใช้สำหรับถ่ายภาพงานที่ทำจากเหล็กกล้าและเหล็กกล้าไร้สนิม สำหรับชิ้นงานที่ทำจากวัสดุชนิดอื่น ๆ ให้เลือกใช้ตัวบ่งชี้คุณภาพถ่ายรังสีตาม ASME SE 747 หรือ ASME SE 1025

ข) การเลือกใช้ IQI กำหนดให้ใช้ดังแสดงใน ตารางที่ 3

ค.)ส่วนนูนเสริมของแนวเชื่อมรอยต่อชนที่ใช้บวกเพิ่มสำหรับการเลือกใช้ IQI ซึ่งไม่จำเป็นต้องวัดค่าจริง ให้เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4.1.4 ความสูงของส่วนนูนเสริมของแนวเชื่อม

| ความหนาของวัสดุ (นิ้ว) | ความสูงของส่วนนูนเสริมของแนวเชื่อม (นิ้ว) | |
|---|---|---|
| | เส้นรอบวงแบบท่อ | อื่น ๆ |
| น้อยกว่า $^3/_{32}$ | $^3/_{32}$ | $^1/_{32}$ |
| ตั้งแต่ $^3/_{32}$ - $^3/_{16}$ | $^1/_8$ | $^1/_{16}$ |
| มากกว่า $^3/_{16}$ - $^1/_2$ | $^5/_{32}$ | $^3/_{32}$ |
| มากกว่า $^1/_2$ - 1 | $^3/_{16}$ | $^3/_{32}$ |
| มากกว่า 1 - 2 | $^1/_4$ | $^1/_8$ |
| มากกว่า 2 - 3 | $^1/_4$ | $^5/_{32}$ |

**ตารางที่ 4.1.3 การเลือกใช้ ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี**

| วัสดุผนังเดี่ยว , นิ้ว | ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่าย | | | ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | รุ่นหมายเลข, แบบรูกลม | รูกลมเป้าหมาย | เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด,นิ้ว | รุ่นหมายเลข, แบบรูกลม | รูกลมเป้าหมาย | เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด,นิ้ว |
| ไม่เกิน 0.25 | 12 | 2T | 0.008 | 10 | 2T | 0.006 |
| มากกว่า 0.25 - 0.375 | 15 | 2T | 0.010 | 12 | 2T | 0.008 |
| มากกว่า 0.375 - 0.50 | 17 | 2T | 0.013 | 15 | 2T | 0.010 |
| มากกว่า 0.50 - 0.75 | 20 | 2T | 0.016 | 17 | 2T | 0.013 |
| มากกว่า 0.75 - 1.00 | 25 | 2T | 0.020 | 20 | 2T | 0.016 |
| มากกว่า 1.00 - 1.50 | 30 | 2T | 0.025 | 25 | 2T | 0.020 |
| มากกว่า 1.50 - 2.00 | 35 | 2T | 0.032 | 30 | 2T | 0.025 |
| มากกว่า 2.00 -2.50 | 40 | 2T | 0.040 | 35 | 2T | 0.032 |
| มากกว่า 2.50 - 4.00 | 50 | 2T | 0.050 | 40 | 2T | 0.040 |
| มากกว่า 4.00 - 6.00 | 60 | 2T | 0.063 | 50 | 2T | 0.050 |
| มากกว่า 6.00 -8.00 | 80 | 2T | 0.100 | 60 | 2T | 0.063 |
| มากกว่า 8.00 - 10.00 | 100 | 2T | 0.126 | 80 | 2T | 0.100 |
| มากกว่า 10.00 - 12.00 | 120 | 2T | 0.160 | 100 | 2T | 0.126 |
| มากกว่า 12.00 - 16.00 | 160 | 2T | 0.250 | 120 | 2T | 0.160 |
| มากกว่า 16.00 -20.00 | 200 | 2T | 0.320 | 160 | 2T | 0.250 |

***หมายเหตุ** : สำหรับงำนเชื่อมความหนาของผนังเดี่ยวให้บวกเพิ่มด้วนส่วนนูนเสริม แหวนรองหรือแผ่นรองหลัง ไม่นำ มาพิจารณาในการเลือกใช้ IQI*

**6. การใช้ IQI ในการควบคุมการถ่ายภาพทางรังสี**

1. การวางตำแหน่ง IQI ให้วาง IQI บนชิ้นงานด้านรังสีบริเวณที่จะทำการทดสอบ ในกรณีที่การวาง IQI ด้านแหล่งกำเนิดรังสีไม่สามารถปฏิบัติได้ ให้วางด้านฟิล์มและจะใช้ตัวอักษรตะกั่ว “F” วางไว้ใกล้ IQI

2. จำนวนของ IQI เมื่อซองบรรจุฟิล์ม หนึ่งซอง หรือมากกว่าถูกใช้สำหรับการใช้รังสีหนึ่งครั้ง อย่างน้อยภาพถ่ายทางรังสี จะต้องปรากฏ IQI หนึ่ง ตัวบนแต่ละการถ่ายภาพทางรังสียกเว้น ในข้อ (ข)

(ก) กรณี IQI หลายตัว

ถ้าค่าความเข้มในบริเวณแนวเชื่อมเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ-15หรือร้อยละ +30 จากค่าความเข้มในพื้นที่ของ IQI ดังนั้น จึงต้องใช้ IQI เพิ่มเติมสำหรับ

พื้นที่ดังกล่าวเป็นพิเศษ ในกรณีให้วาง IQI ในพื้นที่ความเข้มน้อยที่สุดหนึ่งตำแหน่ง ตำแหน่งที่เหลือกำหนดให้วางในตำแหน่งที่มีความเข้มมากที่สุดความเข้มที่อยู่ระหว่างกลาง ไม่ต้องติด IQI เพิ่มเติม

(ข) กรณีพิเศษ

ข.1 สำหรับส่วนของอุปกรณ์รูปทรงกระบอก ที่แหล่งกำเนิดรังสีถูกวางอยู่บนแกน สำหรับการฉายรังสีครั้งเดียว อย่างน้อยใช้ IQI สาม ตัวระยะห่างโดยประมาณ 120องศา ภายใต้สภาพต่อไปนี้

- เมื่อเส้นรอบวงทั้งแนวถูกถ่ายภาพทางรังสีโดยใช้ซองบรรจุฟิล์มหนึ่งซองหรือมากกว่า หรือ
- เมื่อส่วนหนึ่งหรือหลาย ๆ ส่วนของเส้นรอบวงนั้น ที่ความยาวระหว่างปลายนอกสุดของส่วนที่การถ่ายภาพทางรังสีเท่ากับ 240° หรือมากกว่าและใช้บรรจุฟิล์มหนึ่งซองหรือมากกว่า ตำแหน่งฟิล์มเพิ่มเติมอาจจาเป็นเพื่อให้ได้ระยะห่างระหว่าง IQI ตามที่กำหนด

ข.2. สำหรับส่วนของอุปกณ์รูปทรงกระบอกที่แหล่งกำเนิดรังสีถูกวางบนแกน สำหรับการฉายรังสีครั้งเดียวอย่างน้อย IQI สามตัว โดยที่แต่ละปลายของความยาวเส้นรอบวง วาง IQI ปลายละหนึ่งตัวและ IQI อีกหนึ่งตัวจะวางอยู่ประมาณกึ่งกลางของความยาวของเส้นรอบวงภายใต้สภาพดังต่อไปนี้

- เมื่อส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงนั้น ความยาวนั้นมากกว่า 120° และน้อยกว่า 240° ถูกถ่ายภาพทางรังสี โดยใช้ซองบรรจุฟิล์มหนึ่งซองหรือ
- เมื่อส่วนหนึ่งหรือหลายส่วนของเส้นรอบวงที่ความยาวระหว่างปลายของส่วนนอกสุดน้อยกว่า 240° ถูกถ่ายภาพทางรังสี โดยใช้ซองบรรจุฟิล์มมากกว่าหนึ่งซอง

ข.3. ในข้อ 1 และข้อ 2 ส่วนของแนวเชื่อมตามยาวต่อกับแนวเชื่อม เส้นรอบวงนั้น ถูกถ่ายภาพทางรังสีในเวลาเดียวกันกับแนวเชื่อมเส้นรอบวง IQI เพิ่มเติมจะถูกวางบนแต่ละแนวเชื่อมตามยาวที่ปลายสุดของแนวเชื่อมตามยาวที่กำลังถูกถ่ายภาพทางรังสี

ข.4. สำหรับส่วนของอุปกรณ์รูปทรงกลม ที่แหล่งกำเนิดรังสีถูกวางที่จุดศูนย์กลางและฉายรังสีครั้งเดียว อย่างน้อยใช้ IQI สามตัว ที่ระยะห่างโดยประมาณ 120° ภายใต้สภาพต่อไปนี้

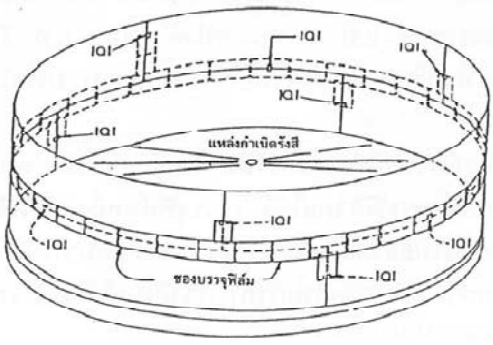
- เมื่อเส้นรอบวงทั้งแนวถูกถ่ายภาพทางรังสีโดยใช้ซองบรรจุฟิล์มหนึ่งซองหรือมากกว่าหรือ
- ส่วนหนึ่งหรือหลาย ๆ ส่วนของเส้นรอบวง 1 รอบวง ที่ความยาวระหว่างปลายนอกสุดของส่วนที่ต้องการถ่ายภาพทางรังสี มีระยะความยาว 240° หรือมากกว่าและใช้ซองบรรจุฟิล์มหนึ่งซอง หรือมากกว่า ตำแหน่งฟิล์มเพิ่มเติมอาจจาเป็นเพื่อให้ได้ระยะห่างระหว่าง IQI ตามที่กำหนด

ข.5. สำหรับส่วนของอุปกรณ์รูปทรงกลม ที่แหล่งกำเนิดรังสีถูกวางที่จุดศูนย์กลาง สำหรับการฉายรังสีครั้งเดียว อย่างน้อยใช้ IQI สามตัว โดยที่แต่ละปลายของความยาวเส้นรอบวงวาง IQI ปลายละหนึ่งตัว และ IQI อีกหนึ่งตัว จะวางอยู่ประมาณกึ่งกลางของความยาวของเส้นรอบวงภายใต้สภาพ ดังต่อไปนี้

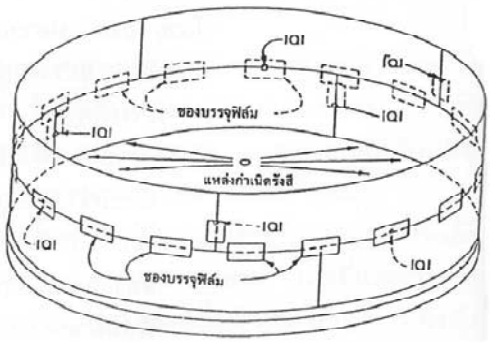
- เมื่อส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงหนึ่งความยาวนั้น ใหญ่กว่า 120° และน้อยกว่า 240° ถูกถ่ายภาพทางรังสีโดยใช้ซองบรรจุฟิล์มหนึ่งซอง หรือ
- เมื่อส่วนหนึ่งหรือหลายส่วนของเส้นรอบวง ที่มีความยาวระหว่างปลายของส่วนนอกสุดน้อยกว่า 240° ถูกถ่ายภาพทางรังสีโดยใช้ซองบรรจุฟิล์มมากกว่าหนึ่งซอง

ข.6. ในข้อ 4 และข้อ 5 ที่แนวเชื่อมอื่นถูกถ่ายภาพทางรังสีในเวลาเดียวกันกับแนวเชื่อมเส้น รอบวงต้องมี IQI เพิ่มเติมหนึ่งตัว วางบนแต่ละแนวเชื่อมนั้น

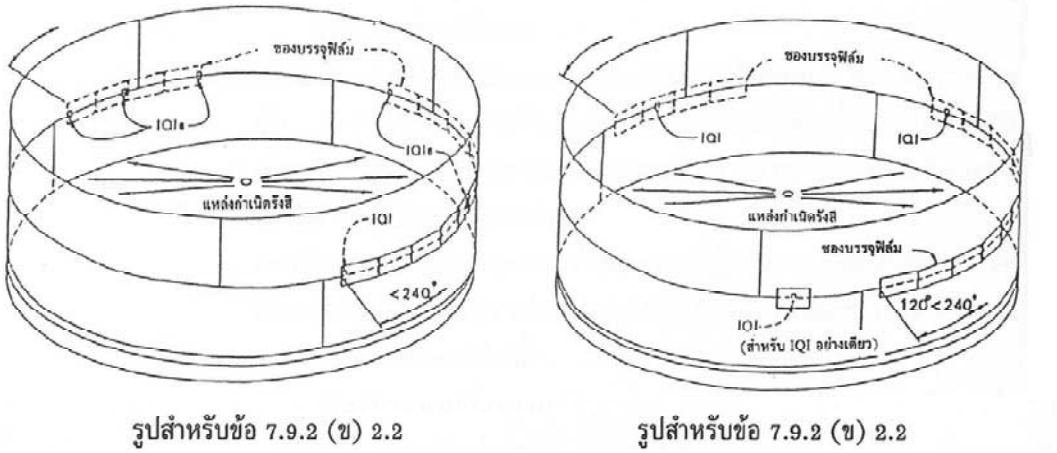
ข.7. เมื่อทำการถ่ายภาพทางรังสี ชิ้นงานหลายชิ้นที่วางเป็นแนววงกลม โดยวางแหล่งกำเนิดรังสีไว้ตรงกลาง อย่างน้อยต้องใช้ IQI หนึ่งตัวต่อชิ้นงานหนึ่งชิ้น




รูปสำหรับข้อ 7.9.2 (ข) 1.1 และ 7.9.2 (ข) 3

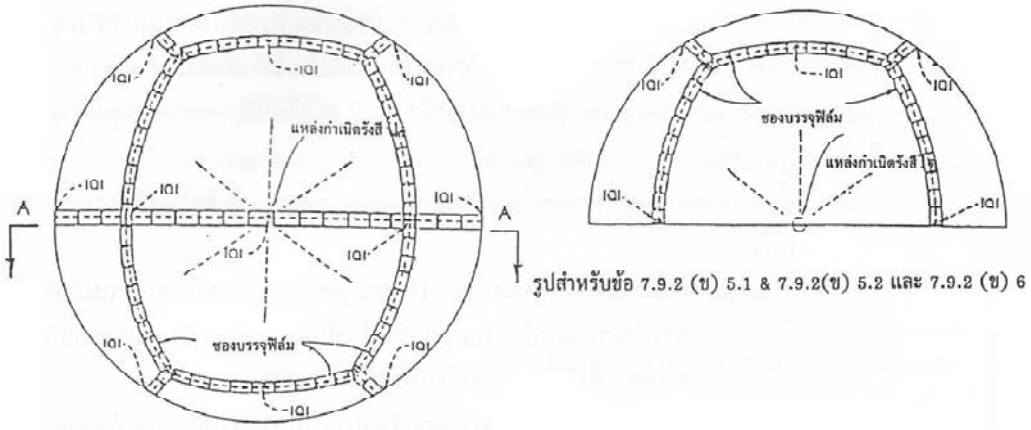



รูปสำหรับข้อ 7.9.2 (ข) 1.2 และ 7.9.2 (ข) 3




รูปสำหรับข้อ 7.9.2 (ข) 2.2 รูปสำหรับข้อ 7.9.2 (ข) 2.2

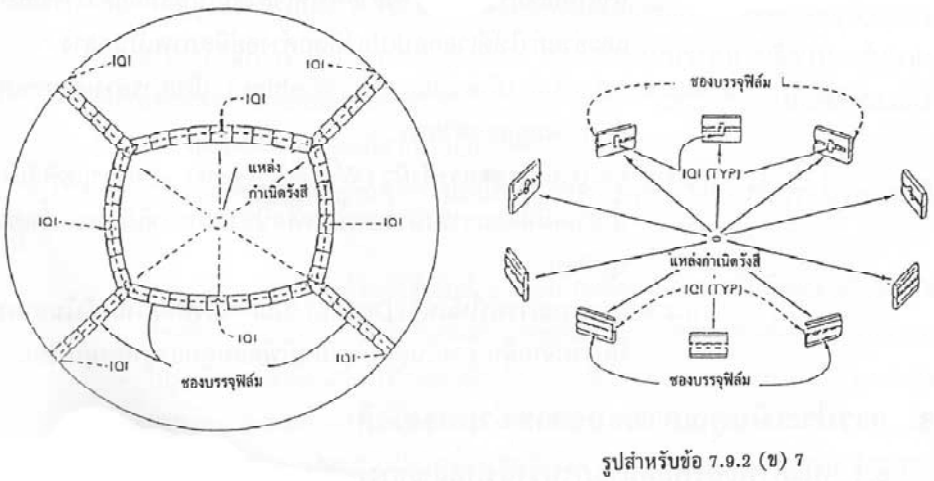
**รูปที่ 4.1.14** แสดงตำแหน่งการวางฟิล์ม




รูปสำหรับข้อ 7.9.2 (ข) 5.1 & 7.9.2(ข) 5.2 และ 7.9.2 (ข) 6

รูปสำหรับข้อ 7.9.2 (ข) 4.1 และ 7.9.2 (ข) 6

**รูปที่ 4.1.15** แสดงตำแหน่งการวางฟิล์ม




รูปสำหรับข้อ 7.9.2 (ข) 7

**รูปที่ 4.1.15** (ต่อ) แสดงตำแหน่งการวางฟิล์ม

**7. การล้างฟิล์ม** เป็นกระบวนการทำให้ภาพปรากฏเห็นบนแผ่นฟิล์มโดยปฏิกิริยาเคมี ซึ่งต้องกระทำในห้องมืด (Dark Room) น้ำยาเคมีที่ใช้ในการล้างฟิล์มจะต้องควบคุมอุณหภูมิ ระยะเวลาและความเข้มข้นของน้ำยาล้างฟิล์ม เพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพ ซึ่งต้องปฏิบัติตามคู่มือแนะนำของผู้ผลิต

ขั้นตอนในการล้างฟิล์มจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตโดยมีขั้นตอนดังนี้

1) กระบวนการกำเนิดภาพ (Developing) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบเงินโบรไมด์ที่ถูกรังสีให้เป็นโลหะเงิน (Black Metallic Silver) ซึ่งมีสีดำโดยใช้น้ำยาเคมีที่เป็นด่าง

2) กระบวนการหยุดภาพ (Stop Bath) เป็นกระบวนการทำให้ดีเวลลอปเปอร์ (Developer) หยุดการทำปฏิกิริยาโดยใช้น้ำยาเคมีที่มีสภาพเป็นกรด น้ำยาหยุดภาพเป็นส่วนผสมระหว่างกรดอะซิติก (Acetic Acid) กับน้ำ หรือใช้น้ำธรรมดาให้ไหลผ่านฟิล์มก็จะเป็นการล้างน้ำยาเคมีออกจากฟิล์ม

3) กระบวนการยึดภาพ (Fixing) เป็นกระบวนการชะล้างผลึกเงินโบรไมด์ที่ไม่ได้ถูกรังสีออกจากแผ่นฟิล์มใช้น้ำยาเคมีที่เป็นกรด นอกจากนี้น้ำยาฟิกเซอร์ (Fixer) ยังช่วยทำให้เจลาตินในฟิล์มอยู่ตัว (Harden) และช่วยทำให้ดีเวลลอปเปอร์ที่ตกค้างอยู่มีสภาพเป็นกลาง

4) กระบวนการทำความสะอาด (Washing) เป็นการล้างเอาสารเคมีที่ตกค้างอยู่ออกด้วยน้ำ

5) กระบวนการลดแรงดึงผิว (Wetting Agent) เป็นการแช่ฟิล์มในน้ำยาเคมีที่ลดแรงดึงผิวของน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดหยดน้ำเกาะบนฟิล์ม

6) กระบวนการทำให้แห้ง (Drying) เป็นการผึ่งฟิล์มให้แห้งในอากาศที่ปราศจากฝุ่นภายในตู้อบฟิล์มที่มีพัดลมดูดอากาศหมุนเวียน

#### 4.1.2.4.4 การประเมินคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี

คุณภาพของฟิล์มถ่ายภาพรังสี ภาพถ่ายทางรังสีที่ผ่านการล้างต้องปราศจากลักษณะ ผิดพลาดทั้งทางกลและทางเคมี ต่อพื้นที่เป้าหมายของภาพถ่ายรังสี ได้แก่

1) รอยหมอก
2) ข้อบกพร่องจากการล้างฟิล์ม ได้แก่ คราบน้ำ รอยเปื้อนของน้ำยาเคมี เป็นต้น
3) รอยนิ้วมือ รอยขูดขีด รอยย่น รอยฝุ่นละออง รอยจับยึด รอยด่าง และรอยฉีก
4) ความผิดพลาดจากผิวสัมผัสระหว่างฉากและฟิล์มไม่ดีพอ รายละเอียดที่สูญเสียไป
5) ความผิดพลาดจากฉากที่มีรอยตำหนิ
6) ความคมชัด (Sharpness) โดยองค์ประกอบทางรูปทรงเรขาคณิต ที่ทำให้เกิดความไม่คมชัดทางรูปทรงเรขาคณิตสูงสุดของภาพ (Ug) กำหนดตามตารางที่ 5

**ตารางที่ 4.1.5 พิกัดความไม่คมชัดทางรูปทรงเรขาคณิตสูงสุดของภาพ**

| ความหนาของวัสดุ (นิ้ว) | ความไม่คมชัดทางรูปทรงเรขาคณิตของภาพ (Ug) (นิ้ว) |
|---|---|
| ต่ำกว่า 2 | 0.020 |
| ตั้งแต่ 2-3 | 0.030 |
| มากกว่า 3-4 | 0.040 |
| มากกว่า 4 ขึ้นไป | 0.070 |

**4.1.2.4.5 ความสามารถในการมองเห็นภาพปรากฏของ IQI (IQI Sensitivity)**

การประเมินผลฟิล์ม กำหนดจากคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี โดยพิจารณาความสามารถในการมองเห็นภาพปรากฏของ IQI จากแบบรูกลม หรือแบบเส้นลวด โดยขนาดที่กำหนดจะแสดงในตารางที่ 3 นอกจากนั้นความกว้างของแผ่นฟิล์มจะต้องเพียงพอสำหรับแสดงข้อมูลเกี่ยวกับ IQI ที่ใช้ โดยความเข้มของภาพถ่ายทางรังสี ความเข้มของภาพถ่ายทางรังสีในพื้นที่เป้าหมายมีดังนี้

- สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอ็กซ์ ภาพถ่ายเดี่ยว ความเข้มต้องไม่ต่ำกว่า 1.8
- สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมม่า ภาพถ่ายเดี่ยว ความเข้มต้องไม่ต่ำกว่า 2.0
- ในภาพถ่ายซ้อนในแต่ละฟิล์มต้องมีความเข้มไม่ต่า กว่า 1.3 (Composite Viewing)
- สำหรับค่าความเข้มมากที่สุดต้องไม่เกิน 4.0

การตัดสินค่าความเข้ม ให้ใช้เครื่องมือวัดค่าความเข้ม ซึ่งได้รับการปรับเทียบจากภาพถ่ายของงานมาตรฐานแบบขั้นบันได

**การสะท้อนกลับของรังสี (Excessive Backscatter)** พลังงานรังสีที่แตกกระจายออกไปสามารถลดปริมาณ ลงได้ด้วยการใช้แผ่นกรองรังสีที่เหมาะสม สำหรับการตรวจสอบการสะท้อนกลับของรังสี กำหนดให้ใช้ ตัวหนังสือ ตะกั่ว ตัวอักษร B ซึ่งมีขนาดที่สุดดังนี้ความสูง 1 / 2 นิ้ว ความหนา 1 / 16 นิ้ว วางติดไว้ที่ ด้านตรงข้ามชิ้นงาน ถ้าปรากฏ ภาพตัวอักษร B ซึ่งมีความเข้มน้อยกว่าบริเวณข้างเคียง แสดงว่าการป้องกันรังสีสะท้อนกลับไม่เพียงพอ กำหนดให้ตัดสินว่าภาพถ่ายทางรังสีดังกล่าวไม่ได้คุณภาพ

**4.1.2.4.6 เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้**

การตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยรังสีแบบถ่ายทั้งหมด (Full Radiographic Examination) รอยบ่งชี้ซึ่งปรากฏ บนภาพถ่ายทางรังสี และพบว่าเป็นรอยบกพร่องจะไม่ยอมรับภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. รอยบ่งชี้เกิดจากรอยแตกร้าว (Crack) หรือหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (incomplete Fusion) หรือซึมลึก ไม่สมบูรณ์ชนิดต่าง ๆ (Incomplete Penetration)

2. รอยบ่งชี้รูปร่างยาวซึ่งมีความยาวเกินค่ากำหนดดังต่อไปนี้

- ¼ นิ้ว สำหรับค่า t ไม่เกิน ¾ นิ้ว
- 1/3 t สำหรับค่า t ระหว่าง ¾ ถึง 2 ¼ นิ้ว
- ¾ นิ้ว สำหรับค่า t มากกว่า 2 ¼ นิ้ว

T คือ ความหนารอยเชื่อมที่ไม่รวมถึงส่วนนูนเสริมที่อนุญาตให้มีได้ สำหรับรอยเชื่อมต่อชนที่เชื่อมต่อชิ้นงาน ที่มีความหนาไม่เท่ากันให้ใช้ เท่ากับความหนาของรอยเชื่อมที่บางกว่า ถ้าเป็นรอยเชื่อมแบบซึมลึกสมบูรณ์ที่มีรอยเชื่อมฟิลเล็ทให้รวมถึงความโตของ Throat เข้าไปด้วย

3. กลุ่มของรอยบ่งชี้ใด ๆ ที่เรียงเป็นแนวเส้นตรง ซึ่งรวมค่าความยาวของแต่ละรอย บ่งชี้ได้มากกว่าค่า t ในช่วงความยาวเท่ากับ 12 t ใด ๆ ยกเว้นในกรณีที่ระยะห่างระหว่างรอยบ่งชี้ที่อยู่ใกล้กันมีค่ามากกว่า 6 L

L คือ ความยาวของรอยบ่งชี้ซึ่งยาวมากกว่าของกลุ่มรอยบ่งชี้ที่อยู่ใกล้กัน

4. รอยบ่งชี้กลมซึ่งมีค่าเกินกว่าจำนวนที่กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับดังตัวอย่างตามภาคผนวก RT-4 สำหรับรายละเอียดให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASME.Section VII Division 1 Appendix 4

5. การตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยรังสีแบบถ่ายบางส่วน (Spot Radiographic Examination) รอยบ่งชี้ซึ่งปรากฏบนภาพถ่ายทางรังสีว่าเป็นรอยบกพร่องจะไม่ยอมรับภายใต้เงื่อนไข ดังต่อไปนี้

5.1 รอยบ่งชี้เกิดจากรอยแตกร้าว (Crack) หรือหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) หรือซึมลึกไม่สมบูรณ์ชนิดต่าง ๆ (Incomplete Penetration)

5.2 รอยบ่งชี้ที่ถูกพิจารณาว่าเป็นสารมลทินฝังในหรือฟองอากาศฝังใด ต้องมีขนาดไม่เกิน 2/3 ของ t

t คือ ความหนารอยเชื่อมที่ไม่รวมถึงส่วนนูนเสริมที่อนุญาตให้มีได้ สำหรับรอยเชื่อมต่อชนที่เชื่อมต่อชิ้นงาน ที่มีความหนาไม่เท่ากันให้ใช้ t เท่ากับความหนาของรอยเชื่อมที่บางกว่า ถ้าเป็นรอยเชื่อมแบบซึมลึกสมบูรณ์รอยเชื่อมฟิลเล็ทให้รวมถึงความโตของ Throat เข้าไปด้วย

5.3 กลุ่มของรอยบ่งชี้ใด ๆ ที่เรียงเป็นแนวเส้นตรง ซึ่งรวมค่าความยาวสูงสุดรอยบ่งชี้ได้มากกว่าค่า t ในช่วงความยาวเท่ากับ 6 t ใด ๆ ยกเว้นในกรณีที่ระยะห่างระหว่างรอยบ่งชี้ที่อยู่ใกล้กันมีค่ามากกว่า 3 L

5.4 ความยาวสูงสุดของรอยบ่งชี้ที่ยอมรับได้ คือ ¾ นิ้ว (19 มม.) รอยบ่งชี้ใดก็ ตามที่สั้นกว่า ¼ นิ้ว (6 มม.) จะสามารถยอมรับได้ในทุกค่าความหนาของชิ้นงาน ในการพิจารณาการยอมรับของแนวเชื่อมที่ไม่ได้ถูกออกแบบให้ตรวจสอบด้วยรังสีแบบถ่ายทั้งหมด (Full Radiograph) จะไม่นำรอยบ่งชี้กลมมาเป็นปัจจัยในการพิจารณา ส่วนของแนวเชื่อมใดที่ได้การตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยรังสีแบบถ่ายบางส่วน (Sport Radiograph) และผลการทดสอบปรากฏว่าสามารถผ่านเกณฑ์ในข้อ 5.1, 5.2, 5.3 และ 5.4 ได้ จะมีผลให้แนวเชื่อมนั้นทั้งหมดยอมรับได้ ส่วนของแนวเชื่อมใดที่ได้ตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยรังสีแบบถ่ายบางส่วน (Spot Radiograph) และผลการทดสอบปรากฏว่าไม่สามารถผ่านตามเกณฑ์ในข้อ 5.1, 5.2, 5.3 และ 5.4 ได้ให้ทำการสุ่มตรวจแนวเชื่อมนั้นเพิ่มขึ้นอีกอย่างน้อย 2 ตำแหน่งในบริเวณอื่น ๆถ้าผลการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยรังสี บริเวณที่ตรวจเพิ่มสามารถผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในกรณีนี้ให้ทำการซ่อมแนวเชื่อมบริเวณที่ไม่ได้มาตรฐาน ที่ตรวจพบจากการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยรังสีครั้งแรกแล้วทำการตรวจสอบซ้ำบริเวณที่ซ่อมให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ถ้าผลการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยรังสี บริเวณที่ตรวจเพิ่ม บริเวณใดบริเวณหนึ่งไม่สามารถผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ในกรณีนี้จะต้องตรวจสอบแนวเชื่อมทั้งหมดด้วยรังสี และทำการซ่อมเฉพาะบริเวณที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จากนั้นจึงทำการตรวจสอบบริเวณที่ซ่อมซ้ำอีกจนได้มาตรฐาน หรืออีกทางเลือกหนึ่ง คือ ทำการกำจัดแนวเชื่อมนั้นออกทั้งหมด และทำการเชื่อมใหม่ด้วยวิธีการที่ถูกต้อง และจึงทำการตรวจสอบด้วยรังสีแบบถ่ายบางส่วน (Spot Radiograph) ใหม่

**หนังสืออ้างอิง**

12.1 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section V, 1998 Edition

12.2 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII, Division 1, 1998 Edition

### 4.1.2.5 วิธีการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง(METHOD FOR ULTRASONIC EXAMINATION)

**การทดสอบด้วยวิธีใช้คลื่นอุลตร้าโซนิค** หมายถึง การทดสอบโดยไม่ทำลายซึ่งกระทำโดยการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงตั้งแต่ 2-5 MHz ส่งเข้าไปในรอยเชื่อม แล้วค่อยตรวจจับคลื่นที่สะท้อนกลับจากรอยบกพร่องได้ ระยะเวลาที่ใช้กับความแรงของคลื่นสะท้อนจะทาให้สามารถระบุตำแหน่งและขนาดของรอยบกพร่องได้ โดยวัตถุประสงค์ของการทดสอบ เพื่อทดสอบหารอยบกพร่องใดๆ ที่อยู่ในรอยเชื่อมและส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ซึ่งมีผลกับความแข็งแรง ทั้งรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมสร้าง การเชื่อมซ่อม การเกิดขึ้นโดยสาเหตุจากการใช้งาน การทดสอบเมื่อครบวาระ ซึ่งในการตรวจสอบนี้ได้ให้นิยามของคำว่า **รอยบกพร่อง (Defect)** และ **รอยบ่งชี้ (Indication)** ไว้ดังนี้

**รอยบกพร่อง(Defect)** หมายถึง การเกิดรอยแยกหรือโพรงช่องว่างในรอยเชื่อม ทาให้เนื้อโลหะไม่ต่อเนื่องถึงกัน และมีขนาดเกินกว่าที่จะยอมรับได้ตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้ ไม่รวมถึงรอยบกพร่องทางโลหะวิทยาและรอยบกพร่องทางมิติ

**รอยบ่งชี้(Indicator)** หมายถึง สิ่งที่แสดงออกให้เห็นบนเครื่องแสดงผล สิ่งนั้นอาจจะเกิดจากรอยบกพร่องหรือไม่ก็ได้ ถ้าเป็นรอยบ่งชี้จริงจะเกิดจากรอยบกพร่อง แต่รอยบ่งชี้แปลกปลอม (False Indication) จะเกิดขึ้นจากสาเหตุอื่นๆ สาหรับการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะหมายถึง รูปคลื่น (Peak หรือ Echo) ในการทดสอบด้วยกรรมวิธีนี้ผู้ทดสอบ ต้องได้รับการรับรองคุณสมบัติข้อกำหนดของหน่วยงานที่รับผิดชอบ

การปฏิบัติการตรวจสอบผู้ตรวจทดสอบจะต้องมีการเตรียม**ใบสั่งเทคนิคการทำงาน (Written Procedure) โดยมี**หลักการทางเทคนิคการทดสอบตาม โลหะวิทยา ชนิด และ ลักษณะของรอยบกพร่อง และรูปร่างของรอยเชื่อม และเมื่อทำตามใบสั่งเทคนิคการทำงานนี้แล้ว ถ้ามีรอยบกพร่องจะต้องสามารถทดสอบหารอยบกพร่องให้พบ โดยให้ระบุรายละเอียดต่อไปนี้

- หมายเลขและชื่อใบสั่งเทคนิคการทำงาน ชื่ออุปกรณ์ และเจ้าของ
- ลักษณะของรอยเชื่อม และชนิดของวัสดุ
- พื้นผิวที่จะวางหัวทดสอบ ( Probe ) แล้วทำการทดสอบ
- สภาพของพื้นผิวที่จะทำการทดสอบ
- ชนิดของสารส่งผ่านคลื่น (Couplant)
- เทคนิคที่ใช้ ได้แก่ หัวทดสอบแบบตรง หรือแบบมุม เป็นการทดสอบแบบสัมผัสหรือจุ่มชิ้นงานใต้น้ำ

- มุม และชนิดของคลื่นที่เข้าไปในเนื้อวัสดุที่ทำการทดสอบ
- แบบ รุ่น ความถี่ และขนาดของหัวทดสอบ
- อุปกรณ์ประกอบหัวทดสอบ เช่น ลิ่มแผ่นรองเพื่อช่วยปรับมุมและกันการสึกหรอ
- เครื่องทดสอบได้แก่ แบบ รุ่น ผู้ผลิต
- แท่งปรับเทียบทั้ง 2 แบบ ได้แก่ แท่งปรับเทียบแกนเวลา และแท่งปรับเทียบกำลังขยายหรือการบั่นทอนของเครื่องทดสอบ
- ทิศทาง ขอบเขต และวิธีการเคลื่อนหัวทดสอบ (Scanning Pattern)
- ข้อมูลที่ต้องบันทึกในระหว่างการทดสอบ และวิธีการเป็นแบบด้วยมือหรือเครื่องอัตโนมัติ
- สัญญาณช่วยเตือนระหว่างการทดสอบเมื่อพบรอยบกพร่องเครื่องบันทึกผลการทดสอบ หรือทั้งสองอย่าง
- กลไกช่วยการเคลื่อนที่หัวทดสอบ
- การทำความสะอาดผิวงานขั้นสุดท้าย เมื่อทดสอบเสร็จ
- แบบของรายงานผลการทดสอบ
- ชื่อของผู้ทดสอบและใบรับรองคุณสมบัติ (Certificate)

**4.1.2.5.1 สำหรับเครื่องมือและวัสดุสิ้นเปลืองในการทดสอบนี้ประกอบด้วย**

**1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบให้ใช้เป็นแบบส่งคลื่น – สะท้อนคลื่น (Pulse Echo Ultrasonic Instrument)** โดยมีความถี่อย่างน้อยอยู่ในช่วง 2 – 5 MHz และมีความแม่นยำในการแสดงผลดังนี้

1.1ความเป็นเชิงเส้นของความสูงรูปคลื่นสะท้อน (Screen Height Linearity) ไม่เกินร้อยละ ± 5 ของความสูงเต็มจอภาพ ในช่วงความสูงระหว่าง ร้อยละ 20 – 80 ของจอภาพ วิธีการตรวจสอบนี้เป็นไปตาม วิธีการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของความสูงรูปคลื่นสะท้อน และต้องกระทาเป็นระยะทุก ๆ 3 เดือน โดยทำบันทึกไว้

1.2 ความเป็นเชิงเส้นของภาคขยายในเครื่อง (Amplitude Control Linearity) ในช่วงที่มีการใช้งานบนจอภาพไม่เกินร้อยละ ± 20 ของค่าที่ควรจะเป็น วิธีการที่ตรวจสอบนี้ให้เป็นไป วิธีการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของภาคขยายในเครื่องและต้องกระทำทุกๆ 3 เดือน โดยทำบันทึกไว้

1.3 ในกรณีใดๆ ที่มีเหตุที่เชื่อได้ว่าเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบอาจไม่เป็นไปตาม 1.1 หรือ 1.2 เช่น มีการซ่อมหรือทำงานผิดปกติเป็นต้นให้ทำการตรวจสอบใหม่ตาม 1.1 และ 1.2 ทันที

**2. หัวทดสอบ (Probe หรือ Search Unit)**

2.1 หัวทดสอบอาจเป็นแบบผลึกเดี่ยวหรือผลึกคู่ก็ได้ความถี่ใช้งานระหว่าง2-5 MHz ขนาดไม่เกิน 1 นิ้ว หรือพื้นที่ไม่เกิน 1 ตารางนิ้ว

2.2อาจมีการใช้ลิ่มที่ปรับแต่งเข้ารูปกับผิวชิ้นงาน เพื่อช่วยให้การส่งผ่านคลื่นอุลตร้าโซนิคดีขึ้น ในกรณีนี้ให้ทำการปรับเครื่องก่อนการทดสอบในสภาวะที่ใช้ลิ่มดังกล่าว

2.3 การทดสอบรอยเชื่อมที่ยังไม่ได้ขจัดความนูน (Reinforcement) ออกไปใช้หัวทดสอบแบบมุมซึ่งควรเลือกให้เหมาะสมกับความหนาและรอยบกพร่องที่ต้องการทดสอบดังนี้

- ความหนา ไม่เกิน 15 มม. ใช้ 70 องศา
- ความหนา เกิน 15 มม. แต่ไม่เกิน 35 มม. ใช้ 60 หรือ 70 องศา
- ความหนา เกิน 35 มม. ใช้ 45 องศา
- การใช้มุม 60 องศาต้องระวังการอ่านผลผิดพลาด เนื่องจากการเปลี่ยนแบบของคลื่น (Mode Conversion) และโดยทั่วไปการทดสอบหารอยแตกร้าวที่ผิวให้ใช้ที่มุม 45 องศา จะได้ผลชัดเจนที่สุด

2.4 การทดสอบรอยเชื่อมที่ขจัดความนูน (Reinforcement) ออกแล้ว สามารถใช้หัวทดสอบแบบตรงหรือหัวทดสอบแบบมุมที่มีค่ามุมใดก็ได้แต่ต้องระวังไม่ให้สัญญาณคลื่นสะท้อนทับกับสัญญาณคลื่นส่งบนหน้าจอแสดงผล ข้อควรระวังเหมือนกับข้อ 2.3

**3. ส่งผ่านคลื่น (Couplant)**

3.1 การส่งผ่านคลื่นจะต้องมีคุณสมบัติที่เปียกผิวที่จะทำการทดสอบได้ดีและมีความสามารถในการส่งผ่านคลื่นได้มาก โดยทั่วไปน้ำมันเครื่อง แป้งกวนเหลว กลีเซอรีน สามารถใช้ได้ดีกับวัสดุที่เป็นเหล็ก

3.2 สารส่งผ่านคลื่นที่ใช้จะต้องไม่ทำให้เกิดความเสียหาย เนื่องจากมีสารเคมีบางชนิดปนอยู่และต้องมีความหนืดเหมาะสมที่อุณหภูมิทดสอบ

**4. แท่งปรับเทียบ (Calibration Block)**

4.1 แท่งปรับเทียบมี 2 แบบ คือ แท่งปรับเทียบแกนเวลา (Sweep Range) และแท่งปรับเทียบกำลังขยายเครื่อง (Sensitivity Setting)

4.2 แท่งปรับเทียบแกนเวลา จะใช้แบบใดก็ได้ที่มีขนาดเหมาะสมกับระยะทางบนแกนเวลาที่จะปรับตั้ง ตัวอย่างแท่งเปรียบเทียบแกนเวลาตาม ตัวอย่างของแท่งปรับเทียบแกนเวลา

4.3 แท่งปรับเทียบกำลังขยาย จะต้องเป็นแผ่นแบน (Flat) หรือมีรัศมีความโค้ง (Curvature) อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับรัศมีความโค้งของผิว

4.4 การทดสอบรอยเชื่อมตามยาว หรือตามวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 นิ้วสามารถใช้แท่งปรับเทียบกำลังขยายเครื่องแบบแผ่นแบนได้ สาหรับการทดสอบที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 20 นิ้ว แท่งปรับเทียบแบบโค้ง 1 อัน สามารถใช้กับอุปกรณ์ที่มีรัศมีความโค้งตั้งแต่ 0.9 ถึง 1.5 เท่าของรัศมีความโค้งของแท่งปรับเทียบนั้นได้

4.5 แท่งปรับเทียบจะต้องสร้างมาจากวัสดุและวิธีการผลิตเดียวกันกับวัสดุที่ใช้สร้างกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมต่ำสามารถใช้แทนกันได้ พื้นผิวแท่งปรับเทียบกำลังขยายที่แตกต่างจากพื้นผิว จำเป็นต้องหาค่าความสูญเสียของการส่งผ่านคลื่น (Transferred Loss) ของผิว

**5. การปรับตั้งเครื่อง**

การปรับตั้งเครื่องจะต้องกระทำก่อนการเริ่มต้นทดสอบทุกครั้งให้ได้การแสดงผลที่ถูกต้องตลอดช่วงความหนาที่จะทำการทดสอบ การเปลี่ยนกะการทำงาน การทำงานเกิน 4 ชั่วโมง การเปลี่ยนผู้ทดสอบ หัวทดสอบ สายนำสัญญาณระหว่างหัวทดสอบกับเครื่อง จำเป็นจะต้องทำการปรับตั้งเครื่องใหม่เช่นกัน

5.1การปรับตั้งแกนเวลา

5.2การปรับตั้งเครื่องเมื่อใช้หัวทดสอบแบบตรง (Straight Beam Calibration) ใช้แท่งปรับเทียบแกนเวลา ทำการปรับตั้งโดยให้ปรากฏคลื่นสะท้อนอย่างน้อย 2 ลูก คลื่นจนอ่านค่าได้ถูกต้องตลอดแกนเวลา

5.3การปรับตั้งเครื่องมือใช้หัวทดสอบแบบมุม (Angle Beam Calibration) ใช้แท่งปรับเทียบแกนเวลาที่ใช้สาหรับหัวทดสอบแบบมุม โดยให้แกนเวลาคลอบคลุมระยะที่จะทำการทดสอบสูงสุด แล้วเผื่อไว้อย่างน้อยอีกร้อยละ10 ทำการปรับตั้งเครื่องจนอ่านค่าได้ถูกต้องตลอดแกนเวลา

**6. การปรับตั้งกาลังขยายของเครื่องก่อนการทดสอบ** วัตถุประสงค์เพื่อให้การทดสอบหารอยบกพร่องให้พบโดยไม่ใช้กาลังขยายต่ำหรือสูงเกินไป

6.1ใช้แท่งปรับเทียบกำลังขยายโดยเลือกให้สัมพันธ์กับความหนาที่จะทำการทดสอบ

6.2ทำการสร้าง DAC (Distance Amplitude Correction Curve) ทำการบันทึก DAC ด้วยมือ หรือใช้แบบความจำอิเล็กทรอนิคส์ (Electronic) ก็ได้ DAC จะต้องประกอบด้วยเส้นอ้างอิง (Primary Reference Level) หรือร้อยละ100 การสะท้อนจากตัวสะท้อน (Reflector) ในแท่งปรับเทียบกาลังขยายอย่างน้อย 5 จุด และเส้นร้อยละ 50 DAC กับเส้นร้อยละ 20 DAC ซึ่งได้จากการลดกำลังขยายลง 6 dB และ 14 dB จากร้อยละ 100 DAC ตามลำดับ ตัวอย่างวิธีการสร้าง DAC

บันทึกกำลังขยายเครื่องที่ ร้อยละ 100 DAC เป็นเดซิเบล กำหนดให้เป็น dB1 หาค่าความแตกต่างของการสูญเสียของการส่งผ่านคลื่นอุลตร้าโซนิคบนผิวถังเทียบกับแท่งปรับเทียบ (Transferred Loss) กาหนดให้เป็น dB2

6.3 ค่ากำลังขยายเครื่องที่จะใช้ในการทดสอบ (Sensitivity Setting) จะมีค่าเท่ากับ dB1 รวมกับ dB2 บันทึกค่านี้ไว้ เป็นค่ากำลังขยายเครื่องอ้างอิง

a. เมื่อทำการทดสอบรอยเชื่อมให้เพิ่มกำลังขยายอีกอย่างย้อย 6 dB เรียกว่าค่ากำลังขยายระหว่างสแกน (Scanning Sensitivity) เมื่อพบว่ามีรอยบกพร่องได้ ลดกำลังขยายของเครื่องลงเท่ากับค่ากำลังขยายเครื่องอ้างอิง เพื่อประเมิน (Evaluation) รอยบกพร่องเทียบกับเกณฑ์การยอมรับตามข้อ 11

b. DAC จะมีความคลาดเคลื่อน เมื่อผ่านการใช้งานไประยะหนึ่งถ้ามีความคลาดเคลื่อนมากกว่า 2 dB จะต้องสร้าง DAC ใหม่หรือทำการชดเชยให้ถูกต้อง

6.6 DAC ที่สร้างขึ้นให้ใช้ได้เฉพาะเครื่อง หัวทดสอบ สายนำสัญญาณที่ประกอบเข้าด้วยกันเท่านั้น ห้ามนำไปใช้กับเครื่องทดสอบเครื่องอื่น ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนส่วนประกอบอันหนึ่งอันใดใหม่ ถึงแม้จะเป็นรุ่นเดียวกัน จะต้องทำการสร้าง DAC ใหม่ ก่อนการทดสอบต้องมีใบสั่งเทคนิคการทำงานให้ผู้ทดสอบ โดยผู้ทดสอบที่ได้รับการรับรอง แล้วทำการเตรียมผิวงานทดสอบ ซึ่งโดยปกติการทดสอบที่ผิวงานหลังการเชื่อมเสร็จ (As Welded) จะให้ผลที่ดี แต่อาจจะเป็นต้องขัดผิวหรือตกแต่งผิวงานกรณีที่มีบางสิ่งที่ทำให้เกิดรอยบ่งชี้แปลกปลอม สาหรับผิวที่ไม่มีรอยผุกร่อนมาก เมื่อลอกสีหรือขูดสนิมออกแล้วใช้แปลงลวดไฟฟ้าขัดก็เพียงพอ การเตรียมผิวต้องระวังมิให้เศษผงต่างๆเข้าไปอุดตันในรอยบกพร่อง หรือมิให้ใช้กระบวนการทางกลที่จะทาให้ผิวของรอยบกพร่องเสียรูปจนปิดรอยบกพร่องนั้นไป

**4.1.2.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ**

**1. ทำความสะอาดเบื้องต้น**

1.1พื้นผิวที่จะวางหัวทดสอบ จะต้องสะอาดปราศจากเม็ดโลหะ (Spatters) รอยเชื่อมช่วยยึดชั่วคราว สนิม สี รอยกัดกร่อน ผิวขรุขระ หรือหยาบ ที่เป็นอุปสรรค ในการทดสอบและอาจทาให้การแสดงผลผิดพลาดได้

1.2ผิวของรอยเชื่อมอาจต้องถูกปรับแต่ง เพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณสะท้อนแปลกปลอมทาให้การพิจารณาอ่านผลผิดพลาดได้

1.3ห้ามทำการทดสอบผ่านสี หรือสารเคลือบอื่นๆ จนกว่าจะมีการพิสูจน์ให้เห็นอย่างเด่นชัดว่าทำได้โดยได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องและได้รับความเห็นชอบจากเจ้าหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย

**2. บริเวณพื้นที่ที่จะทำการทดสอบ**

2.1 ปริมาตรของแผ่นเหล็กประกอบ ซึ่งลำคลื่นอุลตร้าโซนิคจากหัวทดสอบแบบมุมจะเคลื่อนที่ผ่านจะต้องถูกทดสอบก่อนโดยใช้หัวทดสอบแบบตรง ถ้าพบว่ามีรอยแยกชั้น (Lamination) หรือรอยบกพร่องอื่นๆ ในแผ่นเหล็กไปรบกวนการทดสอบ

จะต้องหาวิธีการทดสอบเฉพาะใหม่ การปรับแต่งกำลังขยายเครื่องในการทดสอบให้ปรับความสูงของการสะท้อนคลื่นที่ 2 จนสูงเต็มจอภาพ รอยบกพร่องที่ทดสอบพบนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการยอมรับหรือไม่ยอมรับรอยเชื่อม

2.2 ทำการทดสอบรอยเชื่อม และส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนข้างรอยเชื่อม การทดสอบจะใช้หัวทดสอบแบบตรงหรือหัวทดสอบแบบมุมก็ได้ แต่ในกรณีที่ไม่ได้ขจัดความนูน (Reinforcement) ของรอยเชื่อมออกให้ใช้หัวทดสอบแบบมุมเท่านั้น โดยการใช้หัวทดสอบแบบมุมจะต้องทำการทดสอบทั้งสองด้านบนพื้นผิวเดียวกันของรอยเชื่อม

**3. การสแกน (Scanning)**

3.1 กรณีที่ใช้หัวทดสอบแบบตรงให้เคลื่อนหัวทดสอบบนรอยเชื่อม และส่วนที่ได้ผลกระทบจากความร้อนข้างรอยเชื่อมจนทั่ว

3.2 การสแกนหารอยบกพร่องที่วางตัวในแนวขนานกับแกนของรอยเชื่อม โดยใช้หัวทดสอบแบบมุมให้วางหัวทดสอบแบบมุมในลักษณะที่ลำคลื่นตั้งฉากกับแกนยาวของรอยเชื่อมและเคลื่อนที่เข้าและออกจากรอยเชื่อมให้ศูนย์กลางของลำคลื่นตัดผ่านทั้งปริมาตรของรอยเชื่อม เมื่อสแกนเข้าออกสุดแต่ละครั้งให้ขยับหัวทดสอบไปด้านข้างเล็กน้อยเพื่อสแกนบริเวณอื่นของรอยเชื่อมจนครบ

3.3ทำการสแกนโดยเคลื่อนหัวทดสอบไปข้างๆรอยเชื่อมโดยตลอด เพื่อหารอยบกพร่องที่เกิดขึ้นในลักษณะตั้งฉากกับแกนยาวของรอยเชื่อม เช่น รอยแตกร้าวตามขวางเป็นต้น โดยวางหัวทดสอบแบบมุมที่ข้างรอยเชื่อม ในทิศทางที่ศูนย์กลางของลำคลื่นอุลตร้าโซนิค ทำมุมกับแกนของรอยเชื่อม 5 ถึง 10 องศา และตัดผ่านรอยเชื่อมที่ทำการทดสอบ

3.4 ทางเดินของหัวทดสอบ ตามข้อ 3.1 และ 3.2 จะต้องเหลื่อมซ้ำกับแนวเดิมไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 กับของเดิม และความเร็วในการสแกนต้องไม่เกิน 6 นิ้วต่อวินาที

**4.1.2.5.3 เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้**

1. รอยบ่งชี้ (Indication) ที่ให้การสะท้อนคลื่นสูงเกินร้อยละ 20 ของระดับอ้างอิง ผู้ทดสอบจะต้องหารายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับรูปร่าง ชนิด ความยาว และตำแหน่งของจุดที่สะท้อนคลื่นโดยวัดความของรอยบ่งชี้ ด้วยวิธี 6 dB Drop แล้วทำการประเมินผลถึงการยอมรับหรือการไม่ยอมรับรอยบ่งชี้นั้น การประเมินตามแนวการยอมรับในข้อ 11.3 จะต้องกระทาที่ระดับกาลังขยายเครื่องที่ใช้ทดสอบตามข้อ 6.2.5
2. รอยบ่งชี้ที่มีความสูงเกินกว่าร้อยละ 50 DAC ให้บันทึกไว้ด้วยในใบรายงานผลการทดสอบถึงชนิดของสิ่งที่สะท้อนคลื่น ขนาดและตำแหน่งโดยละเอียด
3. เกณฑ์การยอมรับรอยเชื่อมและส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนจะต้องปราศจากรอยบ่งชี้ดังต่อไปนี้
   a. รอยแตกร้าว การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Lack of Fusion) การซึมลึกไม่สมบูรณ์ (Incomplete Penetration)
   b. รอยบกพร่อง ที่มีการสะท้อนสูงกว่าระดับอ้างอิง หรือร้อยละ 100 DAC และมีความยาวเกินกว่าค่าต่อไปนี้
   c. รอยบกพร่องยาว 6.4 มม. สำหรับเหล็กหนา ไม่เกิน 19 มม.
   d. รอยบกพร่องยาว 1 ใน 3 ของความหนาเหล็ก สำหรับเหล็กหนา 19 มม. ถึง 58 มม.
   e. รอยบกพร่องยาว 19 มม. สำหรับเหล็กที่หนากว่า 58 มม.
4. ความหนาเหล็กเป็นความหนาระบุตามแบบก่อสร้าง (Nominal Thickness) ไม่รวมความนูนของรอยเชื่อมและไม่จาเป็นต้องวัดค่าจริง กรณีที่เป็นรอยเชื่อมของเหล็กที่หนาไม่เท่ากัน ให้คิดจากความหนาเหล็กที่บางกว่า กรณีที่เป็นรอยเชื่อมต่อแบบซึมลึกสมบูรณ์ให้รวมค่า Throat ของรอยเชื่อมฟิลเล็ทเข้ากับความหนาของแผ่นเหล็กด้วย

**หนังสืออ้างอิง**

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section V, 1998 Edition
2. ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1, 1998 Edition

# 4.2 การทดสอบความดัน (Pressure Testing)

แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

**4.2.1 Proof testing**

อุปกรณ์รับความดันที่ถูกผลิตมาใหม่ควรที่จะทำการทำการทดสอบความดันเพื่อที่จะทดสอบความสามารถของส่วนรับความดันและรอยเชื่อมทั้งหมด Proof testing สำหรับภาชนะรับความดันซึ่งมีการใหม่การออกแบบใหม่อาจจะเป็นลักษณะของการทดสอบ การแตกเปราะของผิวเคลือบ (Brittle coating tests) หรือ การวัดการเสียรูป (Displacement) หรือ การทดสอบโดยการทำให้แตก (Burst test) หรือ การทดสอบโดยใช้ “Stain gauge”

**4.2.2 การทดสอบความดันด้วยก๊าซ (Pneumatic testing)**

การทดสอบความดันด้วยก๊าซจะถูกกระทำในกรณีที่ของเหลวอื่นมีผลต่อผิวของภาชนะรับความดันหรือมีผลกระทบในกระบวนการทำงานในระบบที่ภาชนะรับความดันถูกติดตั้ง หรือในกรณีที่เป็นการออกแบบสำหรับผนังบางให้รับแรงดัน (Thin wall designed) โดยที่ภาชนะรับแรงดันนั้นไม่สามารถจะรับน้ำหนักของเหลวที่ใช้ในการทดสอบได้ในการทดสอบความดันโดยใช้ก๊าซต้องระวังเป็นพิเศษสำหรับการขยายตัวของก๊าซในแต่ละชนิดที่ถูกเลือกใช้ในการทดสอบ

**4.2.3 การทดสอบความดันด้วยน้ำ (Hydrostatic testing)**

รูปแบบการทดสอบความดันอย่างง่ายที่สุดคือการทดสอบความดันด้วยน้ำ ซึ่งหากมีการใช้สื่อรับความดันที่เป็นของเหลวชนิดอื่นทดแทนน้ำ ก็ใช้ชื่อการทดสอบความดันว่าเป็น Hydrostatic testing ดังเดิม

**4.2.4 ขั้นตอนในการทำการทดสอบความดัน (Pressure test)**

4.2.4.1 ทุกช่องเปิด (All of opening) ต้องถูกปิด แต่ต้องมีช่องเปิดในส่วนบนสุดที่เพียงพอที่จะทำการเติมน้ำหรือของเหลวที่ใช้เป็นสื่ออัดความดัน

4.2.4.2 เกจวัดความดันที่ถูกสอบเทียบแล้วต้องถูกติดตั้งบนภาชนะความดันที่ถูกทดสอบเพื่อที่จะบันทึกผลการทดสอบ

4.2.4.3 เครื่องกำเนิดความดัน (Pressure generator) เช่น เครื่องสูบน้ำ (Pump), เครื่องอัดก๊าซ (Gas compressor) ต้องถูกติดตั้งผ่านสายอ่อนที่สามารถต้านทานความดันที่ทำการทดสอบได้

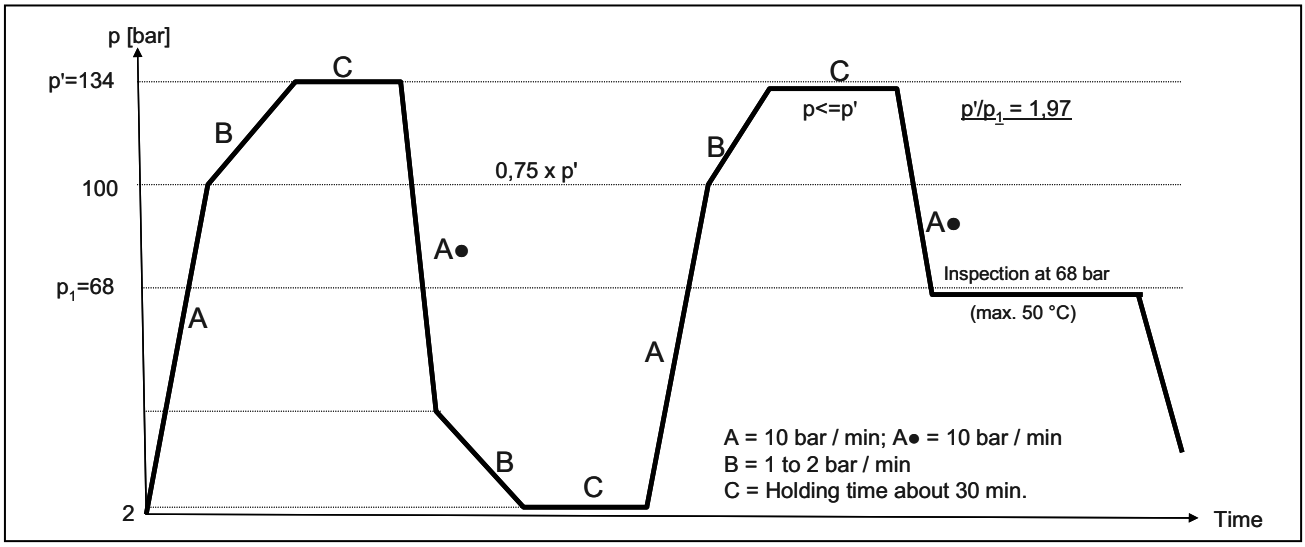
4.2.4.4 เพิ่มความดันจนถึงค่าความดันที่ออกแบบ (อัตราการเพิ่มความดันดูรูปที่ 4.1.16)

4.2.4.5 ความดันที่ถูกทดสอบจะถูกกำหนดโดยการออกแบบ หรือทั่วไปให้ใช้ค่าความดันทดสอบที่ 1.5 เท่าของความดันออกแบบในระหว่างการทดสอบความดัน ตัวต่อแบบหน้าแปลน(Flange joint) หรือสกรูอุด (Screw plug) ต้องถูกตรวจสอบว่ามีรอยรั่วหรือไม่ หากพบต้องขันอัดสกรูหรือ

อุดรอยรั่วก่อนแล้วค่อยดำเนินการทดสอบต่อเมื่อความดันถูกจุดที่ทำการทดสอบแล้วให้รักษาความดันไว้ที่ค่านั้นอย่างต่ำ 30 นาที ในระหว่างช่วงเวลานั้นต้องทำการตรวจหารอยรั่วที่ขึ้นในรอยเชื่อมและทุกจุดที่สามารถเกิดการรั่วซึมได้ ในตำแหน่งที่รับความดันต้องไม่พบการโป่ง (Bulges) หรือ การปิดตัว (Distortion) หรือการเสียรูปของภาชนะที่ทำ ปัจจัยต่าง ๆอาจจะมีผลต่อผลการทดสอบต้องถูกแจ้งหรือกำหนดโดยผู้ออกแบบ(Designer),ผู้ผลิต (Manufacturer) หรือลูกค้าที่กระทำการทดสอบ (Client) และต้องมีการระบุอย่างเด่นชัดเมื่อการทดสอบเสร็จสิ้นทำการแจ้งผลว่าผลการทดสอบเป็นไปตามที่ถูกออกแบบ หรือผลิต หรือไม่

4.2.4.6 ต้องทำการระบายน้ำหรือสื่อการทดสอบความดันอื่นออกหลังจากทำการทดสอบ รวมทั้งตัวต่อแบบหน้าแปลน(Flange joint) หรือสกรูอุด (Screw plug)

4.2.4.7 หากผิวภาชนะที่ทำการทดสอบมีการป้องกันการเกิดการกัดกร่อน หลังจากทำการทดสอบแล้วต้องมีการแจ้งต่อผู้ที่รับผิดชอบเพื่อดำเนินการต่อไป




**รูปที่ 4.1.16** อัตราการเพิ่มความดันในการทดสอบด้วยการอัดความดันด้วยน้ำ

# 4.3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ (Functional Test)

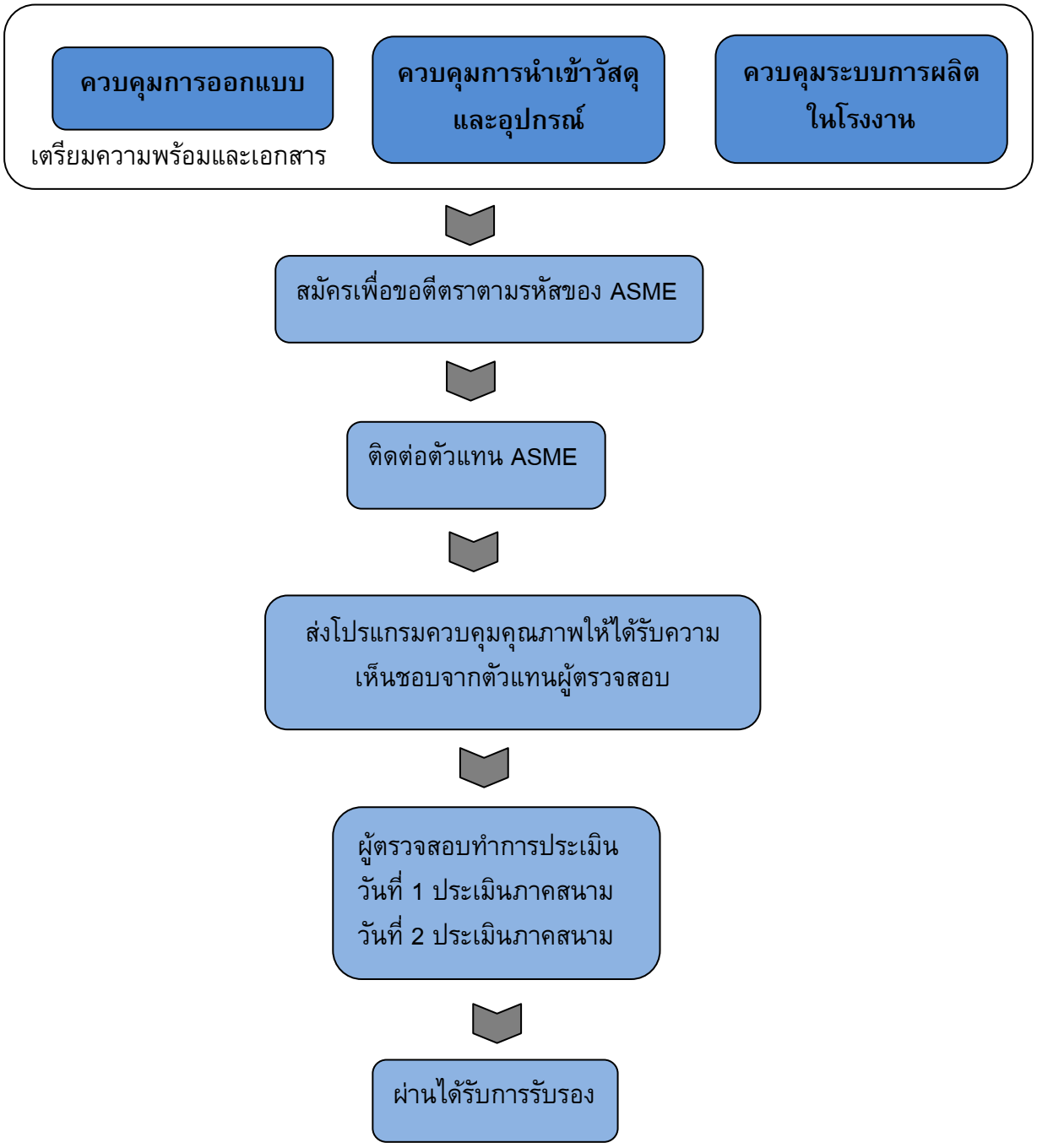
การทดสอบหม้อไอน้ำ (Steam boiler) ในระหว่างการใช้งาน การตรวจสอบจะต้องกระทำในส่วนรับความดันอย่างเพียงพอ ยกตัวอย่างเช่น ต้องมีการตระหนักถึงการทำงานของ เครื่องจ่ายน้ำเข้าหม้อ ไอน้ำ เครื่องตรวจระดับน้ำ วาล์วนิรภัย อุปกรณ์จำกัดหรือระบายหรือตัดต่อวงจรต่างในหม้อไอน้ำ ดังตารางที่ 4.1.6

**ตารางที่ 4.1.6** อุปกรณ์ซึ่งต้องมีการตรวจสอบในการทำ Functional test

| อุปกรณ์ | จำนวน | ผลการทดสอบ/หมายเหตุ |
|---|---|---|
| เซฟตี้วาล์ว (โปโล) Safety Value | | |
| หลอดแก้วดูระดับน้ำWater level indicator | | |
| Remote water | | |
| Filling gauge device | | |
| ลูกลอยควบคุมระดับน้ำ (Water level controller) | | |
| Water level limiter | | |
| Flow meter | | |
| เกจวัดความดัน Pressure gauge/Temperature | | |
| Thermometer/Pressure regulator | | |
| Pressure relief value/Temperature limiter | | |
| | | |
| โบล์วดาวน์ วาล์ว Draining/Blow down device | | |
| ปั๊มน้ำ (Feed water pump) | | |
| เช็ควาล์ว (Check valve) | | |
| วาล์วประธาน (Main steam valve) | | |
| Flue gas limited switch | | |
| กล่องควบคุมหัวพ่นไฟ (Burner control) | | |
| พัดลมเป่าอากาศ (Draught fan) | | |
| Air pressure/flow meter/Air monitor | | |
| Fuel shut off device | | |

| **ตารางที่ 4.1.6** (ต่อ) อุปกรณ์ซึ่งต้องมีการตรวจสอบในการทำ Functional test | | |
|---|---|---|
| **อุปกรณ์** | **จำนวน** | **ผลการทดสอบ/หมายเหตุ** |
| Fuel pressure gauge | | |
| Safety shut off device ahead burner | | |
| Leakage control device/intermediate venting | | |
| Burner limit switch | | |
| Ignition | | |
| Venting | | |
| Frame monitor | | |
| Fuel storage tank/Fuel line/Value | | |
| Feeding line solid fuel | | |
| Fire extinguishing system | | |

# บทที่ 5
# ขั้นตอนสำหรับการขอรับรองผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานสากล



**ขั้นตอนในการยื่นขอรับรอง ASME สามารถปฏิบัติได้ตามหัวข้อดังนี้**

5.1 ให้พิจารณาว่าการรับรองตีตราแบบไหนที่เราต้องการในช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 3 ปีต่อจากนี้ การตีตราตามรหัสของ ASME (PP, A, S, U H, และ อื่นๆ) เป็นสิ่งจำเป็นในเกือบทุกรัฐทุกประเทศ ในการสร้างภาชนะความดันตัวใหม่ หม้อน้ำ และในการติดตั้งระบบท่อที่ต่อออกมาจากหม้อน้ำโดยตรง การตีตรา “R” stamp นั้นเป็นสิ่งจำเป็นในบางประเทศในการซ่อม หรือการดัดแปลงภาชนะความดันหม้อน้ำและระบบท่อต่างๆที่ได้รับการรับรองโดยมีการตีตราของ ASME มาก่อน ข้อกำหนดที่ว่าจะต้องมี การตีตรา “R” นั้น นับวันจะเป็นเรื่องปรกติมากขึ้น นอกจากนี้เจ้าของโครงการหรือวิศวกร ก็มักจะกำหนดให้ผู้ประกอบการต้องมีการตีตรา “R” หรือตราอื่นๆในอันที่จะเข้าร่วมทำงานในโครงการด้วยได้ บริษัทที่ได้รับตรารับรองจากแหล่งต่างๆ จะเป็นบริษัทที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นผู้ที่มีความสามารถและดำเนินธุรกิจอย่างมีคุณภาพมากกว่าบริษัทอื่นๆที่ไม่ได้รับตราเหล่านั้น

5.2 ค่าใช้จ่ายในการตีตราของ ASME ประมาณ 1600 เหรียญสหรัฐต่อตรา มีระยะเวลาในการรับรอง 3 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในด้านการสำรวจ workshop และการสำรวจภาคสนามต่างๆ (เช่นการตรวจ Audit) ทุกๆ 3 ปี เช่นกัน สำหรับการตีตรา “R” นั้น จะมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 550 เหรียญสหรัฐ มีระยะเวลาในการรับรอง 3 ปี และมีค่าใช้จ่ายในการสำรวจทุก 3 ปี เช่นกัน การตรวจ audit โดยตรงนั้นจะมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 5000 เหรียญสหรัฐ ถ้าโรงงานได้การตีตรามากกว่า 1 ตราในเวลาเดียวกัน การตรวจ audit จะเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว ค่าธรรมเนียมในการตีตราและการสำรวจนั้นจ่ายได้ล่วงหน้าก่อนการดำเนินการสำรวจและการรับรอง

5.3 ใบสมัครเพื่อขอตีตราตามรหัสของ ASME สามารถขอได้จาก ASME Code Accreditation Department, Three Part Avenue, New York, New York 1001-5990 (212-591-8581) หรือ ที่ www.asme.org ในส่วนของใบสมัครเพื่อขอ “R” Stamp จาก National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors, 1055 Crupper Avenue, Columbus, Ohio (614-888-8320) หรือที่ www.nationalboard.org กรอกแบบฟอร์มแล้วส่งไปพร้อมกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตามที่ร้องขอ ระยะเวลาที่เริ่มดำเนินการสำรวจจะอยู่ระหว่าง 8 ถึง 12 สัปดาห์

5.4 ในการยื่นขอตีตรา “R” สามารถทำได้โดยทำการซื้อ The National Board Inspection Code (NBIC) จากคณะกรรมการแห่งชาติ หากจะทำการซ่อมถัง หม้อน้ำ หรือระบบท่อ ที่มีการตีตราตามรหัสของ ASME อยู่แล้ว หรือกรณีที่ต้องการยื่นขอการตีตราตามรหัสของ ASME ก็ให้ทำการซื้อหนังสือในส่วนที่เกี่ยวข้อง ที่มีการจัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์ของ ASME (1-800-THE ASME)

หรือที่ www.asme.org โดยดูได้จากรายการที่แนบมาตามหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการตีตราในรหัสที่ประสงค์จะยื่นขอ

5.5 ให้ติดต่อตัวแทนผู้ตรวจสอบที่ได้รับการแต่งตั้งอย่างเป็นทางการและทำการนัดหมายเพื่อเข้าทำการตรวจสอบ โดยต้องมีสัญญาที่ลงนามและมีผลผูกพันตามกฎหมายให้เรียบร้อยก่อนที่คณะกรรมการแห่งชาติด้านการตรวจสอบหรือทาง ASME จะมีกำหนดการเข้าตรวจ รายชื่อของตัวแทนผู้ตรวจสอบที่ได้รับการแต่งตั้งอย่างเป็นทางการนั้น ได้มีการประกาศไว้ที่บอร์ดของคณะกรรมการฯ และ ในเว็บไซต์ของ ASME ทั้งนี้ องค์กรผู้ขอรับการตรวจสอบจะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นในแต่ละครั้งที่มีการใช้บริการตรวจสอบจากหน่วยงานตรวจสอบดังกล่าวนี้ การใช้บริการตรวจในลักษณะนี้มีความจำเป็นเฉพาะเมื่อมีการทำการผลิต การติดตั้ง และการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่เคยได้รับการตีตรารหัสตามระบบของ ASME มาก่อน และระหว่างการสำรวจเท่านั้น

5.6 ให้ทำการเตรียมโปรแกรมการควบคุมคุณภาพตามที่ได้ระบุ หรือกำหนดไว้โดยตามข้อกำหนดของ National Board of Inspection และ/หรือ ASME แล้วแต่กรณี

อย่างไรก็ตาม บริษัทฯที่ต้องการยื่นขอระบบต้องมีการพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพ และการอบรมในด้านการดำเนินการด้านการควบคุมคุณภาพ ตามหัวข้อต่าง ดังนี้

- ทำการเตรียมการด้านขั้นตอนการเชื่อมและคุณสมบัติของช่างเชื่อมทำการเตรียมการด้านขั้นตอนของ การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (NDE) และคุณสมบัติของบุคลากรตามเกณฑ์ของ ASNT ตามเอกสาร SNT-TC-1A หรือ ทำการประสานงานกับห้องปฏิบัติการ NDE จากภายนอก
- จัดหาหรือว่าจ้างผู้เชี่ยวชาญจากภายนอกเป็นสิ่งที่ยอมรับได้สำหรับกิจกรรมบางอย่างที่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ (เช่น การออกแบบ การเขียนแบบ การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย การอบร้อน) ยกเว้นการเชื่อม ทั้งนี้องค์ที่ได้รับการรับรองจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบในงานทุกชนิดที่เกิดขึ้น รวมทั้งงานที่ทำการจ้างผู้รับเหมาช่วงด้วย

5.7 ต้องนำโปรแกรมการควบคุมคุณภาพเข้ารับการตรวจสอบและให้ความเห็นชอบจากตัวแทนผู้ตรวจสอบที่ได้รับการแต่งตั้งอย่างเป็นทางการ ให้ทำการเตรียมเตรียมแบบชิ้นงานตัวอย่างของท่อ/ภาชนะความดัน หรือชิ้นส่วนที่จะทำการซ่อม แล้วแต่ความเหมาะสมสำหรับลักษณะของการรับรองที่ต้องการได้รับการตีตรา พร้อมด้วยโปรแกรมการควบคุมคุณภาพไว้ให้พร้อม และในการเชื่อมให้เหลือรอยตะเข็บหลักๆโดยเพียงเชื่อมแต้มไว้ โดยอาจให้ผู้ตรวจสอบเป็นผู้ระบุตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบดังกล่าวไว้

5.8 คู่มือด้านการควบคุมคุณภาพและการดำเนินการด้านนี้จะได้รับการตรวจสอบโดยตัวแทนของคณะกรรมการหม้อน้ำและภาชนะความดันแห่งชาติ (National Board of Boiler and Pressure Vessel) อาจเป็นผู้ตรวจสอบหรือหัวหน้าผู้ตรวจสอบของหน่วยงาน ที่เป็นตัวแทนอย่างเป็นทางการของคณะกรรมการฯ ควบคู่กับหัวหน้างานตรวจสอบจากหน่วยงานตัวแทนที่ได้รับการแต่งตั้งโดยบริษัทของท่าน และผู้ตรวจสอบจากบริษัทของท่าน

- วันแรก- ทำการตรวจประเมินโปรแกรมควบคุมคุณภาพ การดำเนินการตามขั้นตอนการควบคุมคุณภาพ ขั้นตอนการเชื่อม และขั้นตอนการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย
- วันที่สอง- ทำการตรวจสอบภาคสนามเพื่อตรวจทานตามขั้นตอนที่ได้ระบุไว้ในโปรแกรม การแก้ไขโปรแกรมการควบคุมคุณภาพอาจเกิดขึ้นถ้าจำเป็นในกรณีที่การดำเนินการตรวจสอบนี้กระทำโดยผู้ที่ได้รับการแต่งตั้งอย่างเป็นทางการในเขตพื้นที่นั้นๆ การดำเนินการข้างต้นอาจใช้เวลาเพียงวันเดียว

5.9 คณะผู้ตรวจจะทำการแนะนำเมื่อสิ้นวันที่สองในช่วงของการสัมภาษณ์ขั้นตอนสุดท้ายว่าโปรแกรมของท่านจะผ่านหรือตก ท่านอาจจะเริ่มดำเนินการคู่ขนานไปกับผู้ตรวจหลังจากการตรวจสอบประสบความสำเร็จ หากแต่ท่านจะยังไม่สามารถทำการตีตราผลิตภัณฑ์ของท่านจนกว่าจะได้รับตราจาก ASME หรือ คณะกรรมการแห่งชาติ โดยปรกติแล้วจะใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์

| **Section I** | | | |
|---|---|---|---|
| | A | การประกอบหม้อน้ำโรงไฟฟ้า | |
| | S | หม้อน้ำกำลัง | |
| | M | หม้อน้ำขนาดเล็ก | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | PP | งานท่อกำลัง | |
| | E | หม้อน้ำไฟฟ้า | |
| | V | วาล์วนิรภัยของหม้อน้ำ | |
| **Section IV** | | | |
| | H | หม้อน้ำสำหรับงานให้ความร้อน และ หม้อเหล็กหล่อน้ำสำหรับงานให้ความร้อน | |
| | HLW | ฮีตเตอร์แบบเส้นสำหรับให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ดื่มได้ | |
| | HV | หม้อน้ำสำหรับงานให้ความร้อน พร้อม “Safety valve” | |
| **Section VIII**, Division 1 | | | |
| | U | ภาชนะรับแรงดัน | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | UM | ภาชนะรับแรงดันขนาดเล็ก | |
| | UV | วาล์วนิรภัยสำหรับภาชนะแรงดัน | |
| **Section VIII**, Division 2 | | | |
| | U2 | ภาชนะรับแรงดัน | |
| **Section VIII**, Division 3 | | | |
| | U3 | ภาชนะรับแรงดัน | |
| **Section XI** | | | |
| | RP | ภาชนะความดันที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยไฟเบอร์กล๊าส | |
| **National Board Inspection Code** | | | |
| | R | การซ่อม การดัดแปลงภาชนะความดัน หม้อน้ำ และงานท่อที่มีการตีตรา ASME Board มาก่อน | |

หมายเหตุ

U = กฎการก่อสร้างของภาชนะรับแรงดันตาม **Division 1**

U2 = กฎการก่อสร้างของภาชนะรับแรงดันตาม **Division 2**

U3 = กฎการก่อสร้างของภาชนะรับแรงดันตาม **Division 3**

# บทที่ 6
# ความเสียหายของหม้อน้ำ

สำหรับเนื้อหาของบทนี้กล่าวถึงความเสียหาย และสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหม้อน้ำ โดยแบ่งเนื้อหาในการพิจารณาตามชิ้นส่วนหลักของหม้อน้ำ ดังนี้

- ความเสียหายของท่อรับความร้อน (Deterioration of Heater Tubes)
- ความเสียหายของท่อหม้อน้ำ (Deterioration of Boiler Tube)
- ความเสียหายทางกลของชิ้นส่วนอื่นๆ (Deterioration Mechanisms of other Components)

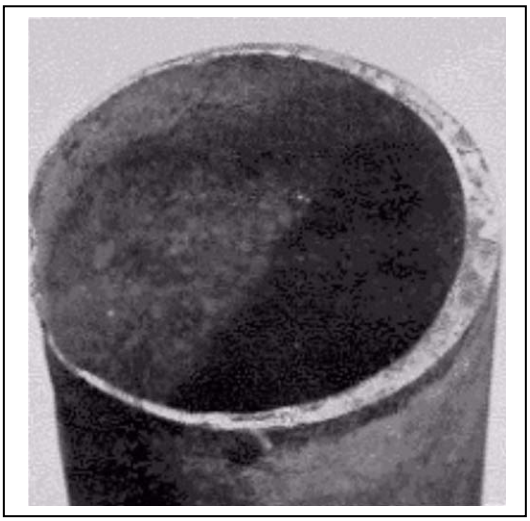
## 6.1 การเกิดความเสียหายของท่อรับความร้อน (Heater Tubes)

ท่อรับความร้อน (Heater Tube) สามารถเกิดความเสียหายได้ ทั้งจากภายในและภายนอกของท่อโดยสามารถอธิบายกลไกความเสียหาย (การเสื่อมสภาพ) ที่เกิดขึ้นไว้ในหัวข้อต่อไปนี้

### 6.1.1 การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายในท่อ (Internal Tube Corrosion)

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายในของท่อเกิดขึ้นโดยสาเหตุหลักๆจากส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition) ของของเหลวที่ใช้ อุณหภูมิที่ใช้งาน อุณหภูมิของโลหะ ความเร็วของของไหล และส่วนประกอบทางโลหะของท่อ (Tube Metallurgy) โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับของสารประกอบ ซัลเฟอร์ (Sulfur Compounds) และกรดอินทรีย์ (Organic Acids) ในของเหลวจะมีอิทธิพลต่อชนิดของการกัดกร่อนและอัตราการเกิดการกัดกร่อนบนผิวภายในท่อ (Heater Tube) เป็นอย่างมาก นอกจากนี้อัตราการกัดกร่อนยังสามารถเกิดขึ้นได้รุนแรงยิ่งขึ้นเมื่อมีองค์ประกอบของสารประกอบประเภทอื่นมาเสริมอีก เช่น สารประกอบประเภทคลอไรด์ (Chloride) หรือไฮโดรเจน (Hydrogen)

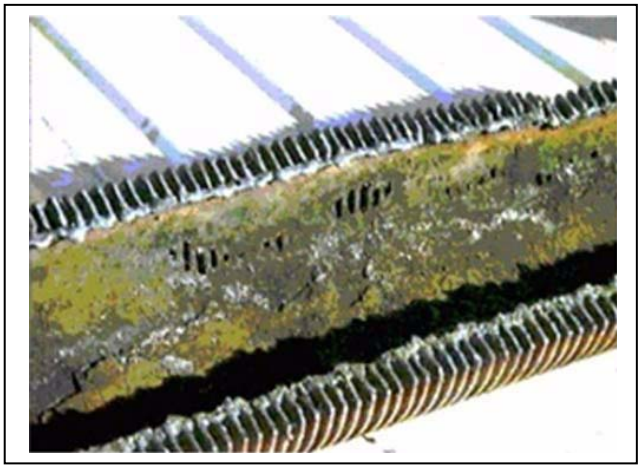
สำหรับอิทธิพล ของอุณหภูมิของเหลวและอุณหภูมิของโลหะ ต่ออัตราการเกิดการกัดกร่อนจะพบได้ในบริเวณที่ค่าอุณหภูมิของผิวท่อที่มีค่าสูงๆ โดยเฉพาะตรงบริเวณด้านที่สัมผัสกับเปลวไฟ (ด้าน Fire Side) ซึ่งจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง (Heat Flux) และจะมีลักษณะการกัดกร่อนดังตัวอย่างในรูปที่ 6.1



**รูปที่ 6.1** แสดงพื้นผิวด้านที่สัมผัสกับเปลวไฟการกัดกร่อน

ในรูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างของการเกิดการกัดกร่อนในด้านที่สัมผัสกับเปลวไฟ (Fire Side) ทางด้านซ้ายของท่อ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความแตกต่างของอัตราการถ่ายเทความร้อนในแต่ละตำแหน่ง

สำหรับกรณีอิทธิพลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นและของไหลมีสารประกอบประเภทซัลเฟอร์ละลายอยู่ อัตราการกัดกร่อนจะสูงเพิ่มขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิของการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นถึง 750$^{o}$F (399 $^{o}$C) แต่เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นสูงมากว่า 750 $^{o}$F (399 $^{o}$C) พบว่าอัตราการกัดกร่อนจะลดลงอันเนื่องมาจากเกิดความเสถียรของโลหะซัลไฟด์ (Sulfide)



**รูปที่ 6.2** แสดงถึงความเสียหายภายในของท่อสำหรับถ่ายเทความร้อนแบบครีบ โดยเป็นผลมาจาก การกัดกร่อนใน สภาวะ High-Temperature Sulfidic

ในรูปที่ 6.2 แสดงถึงท่อที่เกิดการถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อน (Convection Tube) ที่เสียหายจากการเกิดการกัดกร่อนภายใน จากการกัดกร่อนของซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิสูง (High – Temperature Sulfidic Attack)

นอกจากการกัดกร่อนจากกลไกต่างๆ ที่กล่าวถึงดังข้างต้นแล้วยังพบว่า ในกรณีที่ค่าความเร็วของของไหลมีค่าสูง และภายในของไหลมีอนุภาคของสารต่างๆปนเปื้อนอยู่ หรือแม้แต่ในสภาวะที่มีการไหลเป็นแบบสองสถานะ (2 – Phase Flow) ก็จะทำให้อัตราการกัดกร่อนมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน

ความเสียหายของท่อรับความร้อนที่เป็นผลมาจากการกัดกร่อนโดยทั่วไปจะเกิดเนื่องจากค่าความเค้นที่เกิดขึ้นตรงบริเวณนั้นๆ มีค่าสูงเกินกว่าค่าความต้านทานการเสียหายของวัสดุ โดยเป็นผลมาจากความหนาของท่อมีค่าลดลงจากการกัดกร่อน ณ อุณหภูมิในการใช้งานโดยความเสียหายที่เกิดขึ้น จะแสดงให้เห็นในรูปของ การรั่วเป็นรูเล็ก ๆ หรือแตกเป็นรูปปากปลา (Fish Mouth) ดังแสดงในรูปที่ 6.3

**รูปที่ 6.3** แสดงความเสียหายรูป Fish Mouth

### 6.1.2 การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายนอกท่อ (External Tube Corrosion)

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายนอกของท่อโดยทั่วไปจะเป็นผลเนื่องจากค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกท่อ (Heater Atmosphere and Temperature) โดยจะเกิดในรูปของการเป็นสนิม (Rusting) และการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) โดยอากาศที่สภาพอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ จะพบว่าจะมีค่าออกซิเจนสูงเกินกว่าปริมาณออกซิเจนปกติ ที่ต้องการใช้เพื่อ

การเผาไหม้เชื้อเพลิง (ของ Burner) และค่าอัตราการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation Rate) ของโลหะจะเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น (อ้างอิงจาก API Std 530 : แสดงข้อมูลการเกิดออกซิเจน) การเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) อาจสามารถเกิดเฉพาะตำแหน่งเป็นจุดหรือเกิดเป็นแนวยาวทั้งความยาวท่อ โดยการเกิดการออกซิเดชั่นที่มากเกินปกติมักจะเกิดผลจากการใช้งานท่อเกินค่าที่แนะนำไว้ทำให้ผนังท่อมีค่าอุณหภูมิสูงที่ใช้งาน

นอกจากการกัดกร่อนที่กล่าวมาแล้วบางครั้งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น ยังเกิดจากสาเหตุอื่นได้อีก เช่น การทำงานในสภาวะที่ออกซิเจนไม่เพียงพอ (Insufficient Oxygen) หรือกรณีที่เชื้อเพลิงมีมากเกินไป (Fuel-Rich) โดยขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของเชื้อเพลิง ซึ่งในกรณีนี้การกัดกร่อนจะเกิดจากปรากฏการณ์ Sulfidation และ Canburization โดยในกรณีที่เชื้อเพลิงมีปริมาณของสารซัลเฟอร์ (Sulfer) อยู่สูงจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนจากกรดได้ (Acid Attack) เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้มีซัลเฟอร์ (Sulfur) อยู่สูงๆ ภายหลังการเผาไหม้ สารประกอบที่เกิดขึ้นที่ผิวนอกของท่อก็คือสารซัลเฟต (Sulfate) นั่นเอง

คราบซัลเฟต (Sulfate) นี้โดยปกติ จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายในช่วงทำงาน แต่เมื่อคราบซัลเฟตเหล่านี้เย็นตัวมันจะสามารถดูดกลืนและซึมซับความชื้นจากอากาศได้สูงมาก ทำให้เกิดกรดซัลฟิลลิค (Sulfuric Acid) ซึ่งจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นภายในเนื้อโลหะ โดยตัวอย่างการเกิดการกัดกร่อนสามารถดูได้จากรูปที่ 6.4

**รูปที่ 6.4** แสดงการสูญเสียเนื้อโลหะและการเกิดหลุมบนผิว ของท่อเมื่อพบกับความชื้นและเกิดคราบสนิม

ในกรณีที่เชื้อเพลิงมีธาตุวานาเดียม (High Vanadium) ผสมอยู่ค่อนข้างสูง พบว่า เมื่อเนื้อโลหะที่ใช้งานมีค่าอุณหภูมิอยู่สูงเกินกว่าค่าอุณหภูมิวิกฤติ (Critical Point) คืออยู่ในช่วง 1200°F (649°C) ถึง 1400°F (760°C) ก็จะก่อให้เกิดคราบของสารประกอบวานาเดียม (Vanadium Compound) ที่ผิวของโลหะ และทำให้ผิวของโลหะถูกกัดกร่อนจนบางลง

### 6.1.3 Creep และ Stress Rupture

ความเสียหายแบบ Creep และ Stress Rupture เป็นกลไกความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูง ประกอบกับระดับของค่าความเค้นหรือความดัน (Stress Level) และชนิดของวัสดุ โดยเมื่อค่าอุณหภูมิของโลหะมีค่าสูงเกินระดับการเกิดการ Creep ประกอบกับตัวโลหะมีค่าเค้นสูงมากพอ จะทำให้เกิดการยืดหรือขยายตัวของโลหะอย่างต่อเนื่อง และจะก่อให้เกิดการแตกร้าวภายหลังการใช้งานไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง

ความเสียหายชนิด Stress rupture หรือ Short time overheat เป็นผลมาจากค่าการขยายหรือยืดตัวของโลหะ จะเพิ่มขึ้นตามระดับของอุณหภูมิและความดันจนก่อให้เกิดความเสียหายโดยผลจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะก่อให้เกิดค่าการขยายตัว(Strain)อย่างรวดเร็ว ส่วนค่าความดันที่มีผลกับตัวท่อ จำแนกได้ 2 ชนิดดังนี้

- ค่าความดันที่ก่อให้เกิดความเค้นตามแนวเส้นรอบวง(Hoop Stress) อันเนื่องมาจากค่าความดันใช้งาน ซึ่งโดยปกติแล้วจะก่อให้เกิดการแตกแบบปากปลา (Fish mount)

**รูปที่ 6.4** การแตกแบบปากปลา (Fish mount)

- ส่วนค่าความดันที่ก่อให้เกิดความเค้นตามแนวแกน(Longitudinal Stress) ที่เกิดเนื่องจากการติดตั้งตัวรับท่อที่ไม่เพียงพอหรือการออกแบบ การสร้างที่ไม่เหมาะสมก็ถือเป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความเค้นที่สูงเกินปกติ ซึ่งโดยปกติแล้วจะก่อให้เกิดการแตกแบบหน้าต่างเปิด(Open window)

**รูปที่ 6.5** การแตกแบบหน้าต่างเปิด(Open window)

(สำหรับเนื้อหาเกี่ยวกับ Creep และ Stress Rupture อย่างละเอียดสามารถหาอ่านได้จาก API IRE บทที่ I)

ค่าอุณหภูมิของโลหะถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อชนิดและความรุนแรงของการเกิดความเสียหาย/เสื่อมสภาพ (Deterioration) ของท่อรับความร้อน (Heater Tube) โดยสาเหตุหลัก ๆ ของการกระจายตัวของอุณหภูมิและความเค้นที่ไม่สม่ำเสมอของเนื้อโลหะมักก่อให้เกิดCreep ขึ้น โดยสามารถสังเกตุลักษณะภายนอกที่ก่อให้เกิด Creep ได้ดังนี้

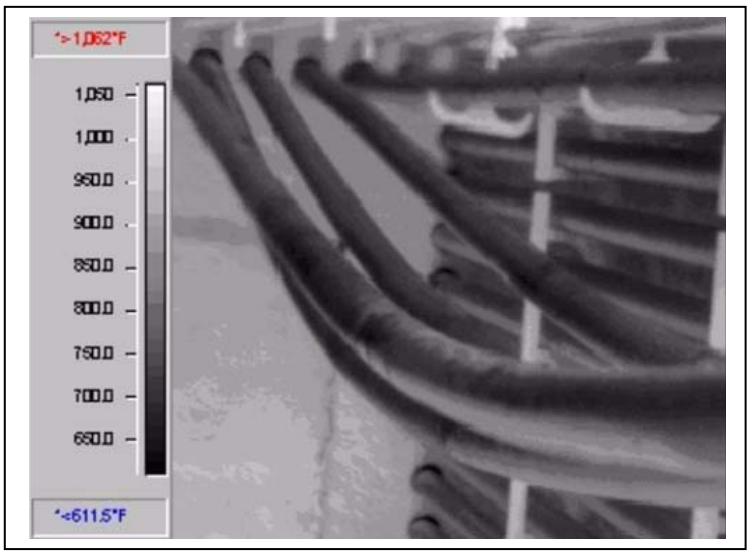
**ก) Sagging : (การหย่อน/ห้อยของท่อ)**

การหย่อนตัวหรือห้อยตัวของท่อ (Sagging) ที่มากเกินโดยปกติ เกิดจากการลดลงของความแข็งแรงของท่อที่เกิดจากค่าความร้อนที่สูงเกินไป หรือบางครั้งอาจเกิดจากการติดตั้งตัวแขวน (Hanger) ที่มีระยะที่ไม่เหมาะสม ในรูปที่ 6.4 แสดงตัวอย่างของท่อปิดหลังคา (Roof Tube) ที่มีค่าการหย่อนตัว/ห้อยตัวที่มากเกินไป โดยเป็นผลมาจากความเสียหายของตัวแขวนรับท่อ (Tube Hanger)

**ข) Bowing การบิดตัว**

การบิดตัวที่มากเกินปกติ โดยทั่วไปจะเกิดจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิของเนื้อโลหะ เป็นผลกระทบจากเปลวไฟหรือการสะสมของเขม่าถ่านภายในท่อหรือบางครั้งเกิดจากที่ด้านหนึ่งของท่อได้รับความร้อนมากกว่าอีกด้านทำให้เกิดการขยายตัวในบริเวณด้านที่ร้อนกว่าจนเกิดการบิดตัว การบิดตัวของท่อบางครั้งอาจเกิดจากการเชื่อมต่อท่อ (Binding of Tube)

ในแผงท่อ (Tube Sheet) หรือจากการแขวนท่อที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการขยายตัวตามแนวยาว หรือแม้แต่การเลือกใช้ท่อที่ความยาวไม่เหมาะสมก็ถือเป็นสาเหตุหนึ่งได้




**รูปที่ 6.6** แสดงการหย่อนตัวของท่อน้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากความเสียหายที่ตัวแขวนท่อ (Tube Hanger)

**ค) การบวมของท่อ (Bulging)**

การบวมของท่อ โดยทั่วไปเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการได้รับความร้อนมากเกินไปของท่อ (Overheating) อย่างต่อเนื่องภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกันมาเป็นเวลานาน จนในที่สุดก่อให้เกิดการ Creep และ Stress Rupture ขึ้นได้ ซึ่งขนาดและปริมาณ ของการบวมจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและประเภทของความเสียหายที่เกิดขึ้นว่าเป็นการ Creep หรือ Overstress โดยถ้าการบวมที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการเกิด Overstress (Short-Term Overheating) และภายหลังค่าอุณหภูมิและความดันกลับไปสู่ค่าปกติ โดยทั่วไปแล้วถือว่าอายุการใช้งานของท่อแทบจะไม่ลดลง แต่ถ้าการบวม (Bulging)ที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องจากการ Creep (Long-Term Overheating) จะทำให้อายุการใช้งานของท่อลดลง ซึ่งโดยปกติแล้วผลของการบวมจะเป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างมากในการพิจารณาความเสียหายเมื่อเทียบกับการหย่อนตัว (Sagging) หรือการบิดตัว (Bowing)

### 6.1.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะ (Metallurgical Change)

เมื่อเหล็กได้รับอุณหภูมิสูง ๆ ติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆสามารถทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยผลของการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นได้หลายเงื่อนไข รวมถึงการเกิดการเพิ่มขึ้นของธาตุคาร์บอน (Carburization) การสูญเสียคาร์บอน(Decarburizaton),การรวมตัวของคาร์บอน

เป็นเม็ดกลม (Spheroidization) และ การเกิดเกรนขยายตัว(Graingrowth) โดยเงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้จะนำไปสู่กลไกลการสูญเสียความแข็งแรงหรือทำให้ค่า ความเปราะ/เหนียวของโลหะเปลี่ยนไป (Ductility) และในที่สุดก่อให้เกิดความเสียหายแก่เนื้อวัสดุได้

**ตัวอย่าง** โลหะที่ใช้ทำท่อไฟใหญ่หรือท่อน้ำ จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงวัสดุเหนียวไปเป็นวัสดุเปราะ (Ductile-to-Brittle) ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 300ºF (149 ºC) โดยปรากกฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุคาร์บอน (Carburization) และมักเกิดการแตกหักแบบเปราะได้ในช่วงอุณหภูมินี้ (สามารถดูรายละเอียดเนื้อหาเพิ่มเติมได้จาก API IRE บทที่ II)

สำหรับโลหะ 410 Stainless Steel จะมีช่วงของการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นแบบ Alpha–Prime (Alpha ferrite) ที่ 885ºF(474ºC) แล้วก่อให้เกิดปรากฏการณ์ Alpha–Prime Embrittlement (Ferrite phase ก่อตัวใน Martensitic phase) หรือ 885ºF-Embrittlement โดยขึ้นอยู่กับชนิดธาตุที่มีอยู่ในส่วนประกอบ (Composition) โดยตัวโครงสร้างแบบ Alpha – Prime จะมีส่วนสำคัญอย่างมากในการลดค่าความเหนียว (Toughness) ของโลหะเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 200ºF (93ºC)

### 6.1.5 การกัดเซาะ (Erosion)

ของไหลที่มีความเร็วสูงที่ไหลที่ผ่านผิวสัมผัสท่อ จะก่อให้เกิดการกัดเซาะ (Erosion) อย่างมากต่อท่อและข้อต่อต่าง ๆ โดยการกัดเซาะในท่อจะเป็นผลมาจากความเร็วของของไหลเป็นหลัก ในขณะที่การเกิดการกัดเซาะหรือกัดกร่อนในข้อต่อ/วาล์ว ต่าง ๆ จะเป็นผลร่วมระหว่างความเร็วและการกระแทก (Impingement)

### 6.1.6 ความล้าจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ( Thermal Fatigue)

เมื่อโลหะมีการใช้งานอยู่ภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมาอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีช่วงของการเปลี่ยนแปลงกว้างมาก ๆ จะก่อให้เกิดการเสียหายเนื่องจากความล้าอันเป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal Fatigue) โดยรอยแตกจะเริ่มเกิดจากผิวของวัสดุที่มีค่าความดัน/ความเค้นสูงๆ โดยจะค่อยๆโตขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรก และขยายตัวอย่างรวดเร็วในตอนหลัง

ความล้าจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะพบได้บ่อย ๆ ในตำแหน่งดังนี้

1. บริเวณที่โลหะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่แตกต่างกัน เช่น บริเวณจุดต่อจากการเชื่อมหรือบริเวณที่มีการรับและถ่ายเทความร้อนไป-มา เช่น บริเวณ Tube Fin
2. บริเวณท่อที่มีการไหลแบบสองสถานะ (2-Phase Flow)
3. บริเวณจุดเชื่อมต่อที่ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ แล้วทำให้เกิดการขยายตัวทางความร้อน

### 6.1.7 Thermal Shock

Thermal Shock จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุอย่างรวดเร็วทั้งจากร้อนไปเย็น หรือจากเย็นไปร้อน โดยค่าความเค้นนี้เป็นผลมาจากการเกิดการขยายตัวที่ไม่เท่ากันอย่างรวดเร็วของชิ้นส่วนต่าง ๆ และก่อให้เกิดการยืดตัวหรือหดตัว ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการเสียหายได้

โดยปกติแล้วโลหะที่มีขนาดหนามากๆ จะได้รับผลกระทบจากการเกิด Thermal Shock มากกว่าโลหะแผ่นบาง และสำหรับการแก้ปัญหาไม่ให้เกิดความเสียหายแบบนี้สามารถทำได้โดยการให้ความร้อน (Heating) หรือทำการหล่อเย็น (Cooling) ตัวโลหะให้มีอุณหภูมิสม่ำเสมอก่อนการใช้งาน

### 6.1.8 Liquid Metal Cracking/ Embrittlement

Liquid Metal Cracking เป็นรูปแบบหนึ่งการแตกร้าวเนื่องจากสภาวะแวดล้อม โดยที่ เนื้อโลหะเหลวจะแทรกตัวเข้าไปตามขอบเกรน ตัวอย่างของโลหะที่แสดงพฤติกรรมแบบนี้ได้แก่ อลูมิเนียม สังกะสี และแคดเมียม

ข้อควรระวังในการซ่อมบำรุง ควรหลีกเหลี่ยงอย่านำโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าไปสัมผัสกับผิวของโลหะ Stainless Steel ตัวอย่างเช่น การนำ Marking Pen ที่ประกอบด้วย Zinc (สังกะสี) และ Galvanized (หรือ Aluminum) ไปขีดทำเครื่องหมายบนท่อ

### 6.1.9 Polythionic Acid Stress Corrosion Cracking

Heater (ท่อรับความร้อน) ที่ใช้ในกระบวนการ Hydro-Desulfurization, Hydro-forming , Hydro-cracking และในกระบวนการที่คล้ายๆกันนี้ โดยปกติจะเป็นท่อแบบ Austenitic Strainless Steel Tube และใช้ในกระบวนการ Reactor Feed หรือ Recycled Gas ที่ผสมด้วย Hydrogen Sulfide และ Sulfur compound ทำให้ท่อ Austenitic Stainless Steel นี้ได้รับผลกระทบจากความเสียหายแบบ Polythionic Acid Stress Corrosion Cracking โดย Polythionic Acid จะเกิดจากเมื่อคราบ Sulfide ไปสัมผัสออกซิเจนและน้ำในท่อ Stainless Steel ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเกิน 800 ºF (427 ºC) ในระหว่างการใช้งาน การประกอบหรือระหว่างการบำรุงรักษา ซึ่งโดยทั่วไปจะมีโอกาสในการเกิดสูงขึ้นเมื่อมีน้ำและอากาศอยู่ด้วยกัน โดยการเสียหายหรือการแตก จะสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเหมือนการเกิดการกัดกร่อนจากกรดในบริเวณ Grain Boundary ของโลหะ Stainless Steel

รอยแตก (Cracking) จะสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากภายในและภายนอกของท่อโดยจะสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วถ้าในกระบวนการมีสารประกอบซัลเฟอร์ (Sulfur Compound) ที่อยู่ในรูปของ Sulfide Scales ประกอบอยู่ด้วย อย่างไรก็ตาม การแตกร้าวจะเกิดขึ้นบริเวณผิวนอกของท่อถ้าภายในห้องเผาไหม้ มีปริมาณเชื้อเพลิงที่มากเกินไป และในเชื้อเพลิงมีสารซัลเฟอร์ (Sulfur) ผสมอยู่มากเพียงพอ

สำหรับมาตรการป้องกันไม่ให้เกิด Polythionic Aicid Stress Corrosion Cracking สามารถทำได้ดังนี้

ก) Stabilized Grades ของ Stainless steel (ตัวอย่างเช่น Type 321 หรือ Type 347) จะมีความต้านทานต่อการเกิด Sensitization (ในที่นี้เป็นการเกิดการรวมตัวของ Cr และ C ในเนื้อโลหะ) แต่อย่างไรก็ตามวัสดุเหล่านี้จะกลายเป็นตัว Sensitized ได้ภายหลังสัมผัสกับอุณหภูมิสูง ไปนาน ๆ การทำ Thermal stabilization heat treatment จะช่วยลดการเกิดได้เป็นอย่างดี

ข) การป้องกันไม่ให้โลหะสัมผัสถูกออกซิเจนและความชื้น จะเป็นวิธีอย่างดีในการป้องกันไม่ให้เกิด Polythionic Acid โดยสามารถทำได้โดยการเติมก๊าซที่ไม่ทำปฏิกิริยา เช่น การเติมไนโตรเจนเพื่อรักษาให้ท่อมีความดันอยู่เสมอ

ค) การล้างด้วยสารละลาย Soda Ash Solution จะสามารถลดสภาวะความเป็นกรดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการล้าง (Tube, Header หรือส่วนต่างๆ ) จะใช้สารละลายความเข้มข้น 2 wt.% Soda Ash ($Na_2CO_3$) แล้วทำการไหลเวียนสารละลายให้ไหลเวียนภายใน นอกจากนี้ยังอาจมีการเติม สารละลายโซเดียมไนเตรท (Sodium Nitrate) ที่ความเข้มข้น 0.5 wt.% เข้าไปในสารละลายเพื่อทำการยับยั้งการเกิด Chloride Cracking อีกด้วย

ง) การป้องกันไม่ให้เกิดการสัมผัสกับความชื้น โดยการรักษาอุณหภูมิของท่อให้อยู่สูงกว่า Dew point เพื่อป้องกันการ Forming ตัวของสนิม โดยเป็นวิธีที่นิยมใช้กับผิวนอกของท่อที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพ ซึ่งอาจทำได้โดยการจุดหัวพ่นไฟโดยตั้งไว้ต่ำสุดเพื่อเป็นการให้ความร้อนแก่ระบบ (ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิต่ำกว่า Dew point) ก็ได้

### 6.1.10 Metal Dusting

Metal Dusting ถือได้ว่าเป็นรูปแบบที่เลวร้ายที่สุดของกระบวนการ Carburization โดยสามารถทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อโลหะอย่างรวดเร็ว เกิดทั้งใน Ferritic Alloy และ Austenitic Alloys กลไกความเสียหายที่เกิดขึ้น จะปรากฏให้เห็นเป็นหลุม (Pitting) หรือเป็นร่อง (Grooving) ตามผนังท่อด้านในของท่อ

สภาวะแวดล้อม (Enviroment) ที่มี High Carbon Activity มากเกินกว่า 1 ppm และมีออกซิเจนน้อย มีแนวโน้มจะก่อให้เกิดความเสียหายประเภทนี้ได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงเกินพอให้เกิดการสูญเสียคาร์บอน (Carbon Diffusion) จากตัวโลหะพื้นฐาน ตัวอย่างเช่น สำหรับโลหะ Alloy ทั่ว ๆ ไป จะมีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 800º F (427º E) ถึง 1400 F (760º c)

ในการป้องกันโลหะ Alloy ต่อการเกิด Dusting สามารถทำได้โดยการสร้างชั้น Adherent Protective, Self Annealing Oxidation Layer บนผิวของวัสดุ และ โดยทั่วไปแล้วโลหะ Nickel – Based Alloy จะสามารถทนต่อการเกิด Metal Dusting Environment ได้ดีกว่า Iron Base Alloy ตัวอย่างเช่น โลหะ Alloy ของไฮโดรเจนเป็นโลหะตัวหนึ่งที่ทนทานต่อสภาวะการกัดกร่อนแบบนี้ได้ดี

### 6.1.11 Mechanical Deterioration (การเสียหายทางกล)

การเสียหายเชิงกลเป็นตัวการหนึ่งที่ทำให้อายุการใช้งานท่อ และข้อต่อต่าง ๆ ลดลง เป็นสาเหตุหลักตัวหนึ่งที่ทำให้เกิดการรั่วใน Tube Rolls , Rolled Joints , Tube - Fitting และความเสียหายระหว่างการทำความสะอาด โดยการรั่วใน Tube Rolls อาจเป็นผลมาจากกระบวนการม้วนท่อที่ผิดพลาดจากคนงานที่ทำการติดตั้ง หรือเกิดจากความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิ

(Thermal Upset) ในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้พื้นผิวที่มีการเจียรนัย (Machined Surface) ของ หน้าแปลนอุด (Plug- type header fitting) สามารถเสียหายได้จากอุปกรณ์ทำความสะอาด Cleaning Tools) ส่วนการทำความสะอาดด้วย Steam – Air Decoking สามารถทำให้เกิด Oxidation อย่างรุนแรง และทำให้จุดเชื่อมต่อต่างๆเกิดความเสียหายได้

การใช้แรงที่ไม่เหมาะสมในการติดตั้ง จะส่งผลให้รอยแตกเกิดการขยายตัว และก่อให้เกิดการสึกหรอที่สูงมาก หรือการบิดตัวของ U- Bend Seats, Fitting Ear , Holding section caps casting หรือ forging defect จะก่อให้เกิด Crack ใน fitting body หรือที่ฐานของ fitting ears การ Overheating ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิด Crack ใน fitting

การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ก็เป็นตัวการหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายได้ โดยปกติแล้วท่อจะเกิดการขยายตัว เมื่อได้รับความร้อน และเมื่อไม่มีพื้นที่ ให้เกิดการยืดตัวก็จะก่อให้เกิดความเค้นขึ้น ซึ่งบางครั้งก็มีค่าสูงมากพอที่ทำให้เกิดการเสียรูปต่ออุปกรณ์ Tube และ Fitting จนเสียหายได้

### 6.1.12 ความเสียหายในส่วน Reformer Heaters

#### 6.1.12.1 Tubes and Pigtails

Reformer heater tubes และ pigtails จะง่ายต่อการเกิด creep และ stress rupture อันเนื่องมาจาก high Thermal และ Mechanical stress และอุณหภูมิการใช้งานที่สูง โดยตามความเสียหายจะเกิดเนื่องจาก stress rupture ที่ตำแหน่งที่ร้อนที่สุด และมีค่า stress สูง เช่น บริเวณด้านล่างของท่อ หรือบริเวณทางออก เนื่องจากค่าอุณหภูมิของแก๊สภายในท่อจะสูงขึ้น 500 °F (260 °C) ไปจนถึง 900 °F (482°C) หรือบางครั้งสูงถึง 1400 °F (760 °C) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าแปลงจาก Burner หรือจากการเผาไหม้ มีการสะท้อนรังสีไปโดนที่ตัวท่อก็จะก่อให้เกิดความเสียหายแบบ Stress rupture ที่บริเวณนั้นได้

#### 6.1.12.2 Outlet Headers

จากเอกสารการตรวจสอบของ “API” พบว่า Cast Alloy header ที่ประกอบจาก High carbon material จะเกิดการแตกในบริเวณใกล้ Junction inlet (ทางเข้า-ทางออก laterals tee และ elbow) เนื่องจาก Embrittlement ของ Carbide precipitation

วัสดุที่เกิด Embrittlement จากการใช้งาน ไม่ควรนำไปใช้ในสภาวะที่มีการยืดตัว เพราะจะทำให้เกิดการแตกได้ และผลของ Embrittlement นี้จะยากต่อการเชื่อมซ่อม เว้นเสียแต่จะมีการอบอ่อนและเชื่อมด้วย Ductile Weld Materials ต้องมีการอุ่นชิ้นงานก่อนที่จะทำการเชื่อม

จากเอกสารการตรวจสอบของ “API” ยังพบว่า Header ที่ทำด้วย High Alloy แม้จะใช้สถานที่อุณหภูมิสูงจนเกือบ 570 °F ถึง 1400 °F (760 °C ) ก็ยังคงมีการใช้งานที่ดีไม่ค่อยพบความเสียหาย โดยยังคงรักษาค่าความเหนียว (Ductility) และทนต่อการเกิด Creep ได้ดี

สำหรับ Header ที่ผลิตจาก Carbon Steel หรือ Low Cr-Mo ควรทำการก่ออิฐทนไฟเพื่อรักษาอุณหภูมิของโลหะให้ต่ำพอที่จะเพื่อต้านทานต่อ High - temperature hydrogen attack เนื่องจากปกติแล้ววัสดุทั่วไปจะไม่ทนต่อ Hydrogen attack ที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นการการก่ออิฐทนไฟ จะช่วยป้องกันสภาวะนี้ได้ และข้อแนะในการก่ออิฐทนไฟควรรักษาสภาวะความชื้นให้มีค่าต่ำที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการกัดกร่อนของ Carbonic acid ต่อเหล็ก

# 6.2 การเกิดความเสียหายของหม้อน้ำ (Deterioration of Boiler)

โดยปกติแล้วความเสียหายของหม้อน้ำมีลักษณะเหมือนกับชิ้นส่วน Heater Tube อย่างไรก็ตาม ชิ้นส่วนท่อของหม้อน้ำ (Boiler Tube) มักเกิดความเสียหายเชิงกลทั้งจากภายในท่อและภายนอกท่อ โดยเราสามารถสรุปได้ดังนี้

### 6.2.1 Internal Corrosion

การกัดกร่อนของท่อจะมีสาเหตุหลักมาจากน้ำ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำที่ใช้ในหม้อน้ำ โดยชนิดการเกิดการกัดกร่อนด้านน้ำ (Water Side ) จะประกอบไปด้วย Caustic Corrosion , Ductile Acid Corrosion, Oxygen Pitting (หรือ Localize Corrosion) และ Stress Corrosion Cracking

ตัวแปรที่สำคัญของความรุนแรงของการกัดกร่อนในด้านน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารกัดกร่อนที่เจือปนอยู่ โดยตะกอน(Deposit) จะเป็นตัวป้องกันการถ่ายเทความร้อน และก่อให้เกิด Localize Overheating ขึ้น

สำหรับการกัดกร่อนและชนิดของการกัดกร่อน ที่จะเกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของสารปนเปื้อนที่ขึ้นอยู่กับในน้ำป้อนช่วงระยะเวลาที่สารเคมีไม่สมดุล

Caustic corrosion (caustic gouging) สามารถเกิดได้ง่ายเนื่องจากตะกอน (deposition) ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนของ feed water โดยเฉพาะสาร Sodium hydroxide (NaOH) จะทำให้ค่า pH มีระดับสูงขึ้น และที่สภาวะนี้ชั้น protective oxide layer ของเหล็ก($Fe_2O_3$, Magnetite layer)จะสามารถละลาย และทำให้อัตราการกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

การกัดกร่อนใต้ตะกอน(Under deposit corrosion) ซึ่งโดยปกติแล้วตะกอนจะมีการสะสมในบริเวณที่ไม่มีการไหล(Stagnant) หรือการไหลไม่ต่อเนื่อง และตะกรัน(Scale)จะเกิดในบริเวณที่เกิดฟลักซ์ความร้อนสูง (High heat flux) เป็นผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุของโลหะในบริเวณใต้ตะกอนหรือตะกรันนั้น ส่งผลให้ความหนาวัสดุมีค่าลดลง จนทำให้ผนังของท่อเกิดเป็นร่องการกัดกร่อน หรือมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ ดูได้จากตัวอย่างดังรูปที่ 6.7

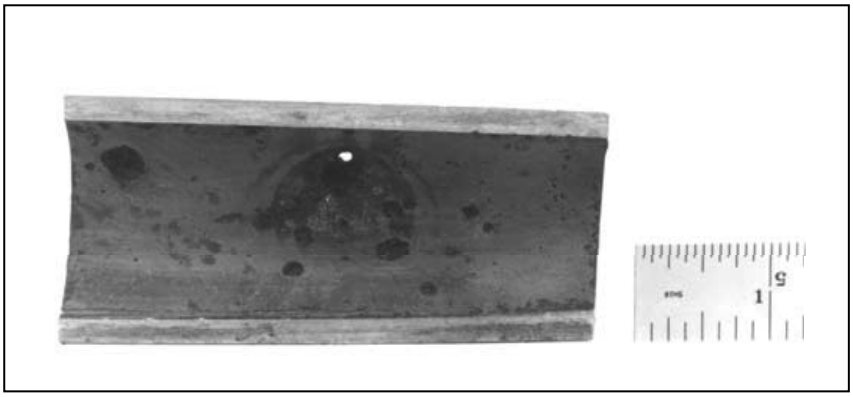
Hydrogen Damage สามารถเกิดขึ้นได้ ถ้าหม้อน้ำมีสภาวะการใช้งานที่น้ำมีค่า pH ต่ำ ๆ อาจมีสาเหตุมาจากการเจือปนของสารละลายกรด(acid chemical) จากสารเคมีปรับสภาพน้ำ (Chemical treatment) นอกจากนี้การปนเปื้อนของสารละลายเกลือ(NaCl) ซึ่งพบในน้ำหล่อเย็นของคอนเดนเซอร์หรือเกลือในการล้าง “Resin” หรือจากสาเหตุอื่นที่ทำให้น้ำเติมของหม้อน้ำมีค่า pH ต่ำกว่า 7 ได้ ฉะนั้นการควบคุมน้ำในหม้อน้ำควรจะกระทำเป็นระบบปิด และมีการตรวจเช็คอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการป้องกันไม่ให้เกิด Hydrogen damage

บ่อยครั้งที่ความเสียหายของท่อน้ำ เกิดลักษณะของ pitting หรือการกัดกร่อนเฉพาะจุด (localized corrosion) ซึ่งเป็นผลมาจาก Oxygen attack ที่อยู่ทางด้านน้ำ(Water side) ตัวอย่างเช่น

Pitting corrosion ของอุปกรณ์ Economizer โดยทั่วไปแล้วจะเป็นผลมาจากการควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำป้อนไม่เหมาะสม ในกรณีที่ไม่ได้ใช้งานหม้อน้ำและต้องการเก็บรักษาหม้อน้ำโดยป้องกันการเกิด Oxygen pitting อย่างเต็มรูปแบบ ให้เติมน้ำผสม Oxygen Scavenger ไว้ให้เต็มแล้วเติมก๊าซไนโตรเจน(Purge) ไว้ให้เต็มบริเวณช่องว่างของอากาศ ในรูปที่ 6.8 แสดงถึงผิวในขั้วท่อน้ำที่ถูก Oxygen pitting จนทะลุผนัง

**รูปที่ 6.7** แสดง Localized Tube Wall Loss Caused by Caustic Gouging

ในขณะที่ท่อแบบ Austenitic tube ที่ใช้ทำท่อ Superheater และท่อ reheater มักจะเสียหายจาก stress corrosion cracking แต่สำหรับท่อ Ferritic tube มักเกิดความเสียหายจากการกัดกร่อนหรือการกัดเซาะในบริเวณที่ใช้ทำ De-superheater หรือ Soot blowing



**รูปที่ 6.8** แสดงถึง Boiler Tube ที่ปรากฏลักษณะของการกัดกร่อนที่ผนังท่อโดยเป็น Localized Oxygen Pit

### 6.2.2 External Corrosion

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงและค่าอุณหภูมิของโลหะในการใช้งาน ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปริมาณการกัดกร่อน ในด้านไฟ(Fire side)สามารถจำแนกได้เป็นLow - temperature corrosion และ High–temperature corrosion (โดยปกติอุณหภูมิสูงกว่า 280 °C)โดยการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นมักจะเกิดขึ้นในด้าน สัมผัสไอเสีย (Flue-gas side) ของ Economizer และท่อของอุปกรณ์อุ่นอากาศ (Air-Preheater tube) ซึ่งความรุนแรงของการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณของซัลเฟอร์-ออกไซด์ ที่อยู่ในก๊าซไอเสีย(flue gas) แล้วถูกทำให้เย็นลงถึงจุด Dew-point temperature การกัดกร่อนจะมีแนวโน้มรุนแรงยิ่งขึ้น ฉะนั้นการรักษาอุณหภูมิของแก๊สใน Economizer และ preheater ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 325°F (163°C) จะป้องกันไม่ให้เกิดการควบแน่นของสารละลายกรด

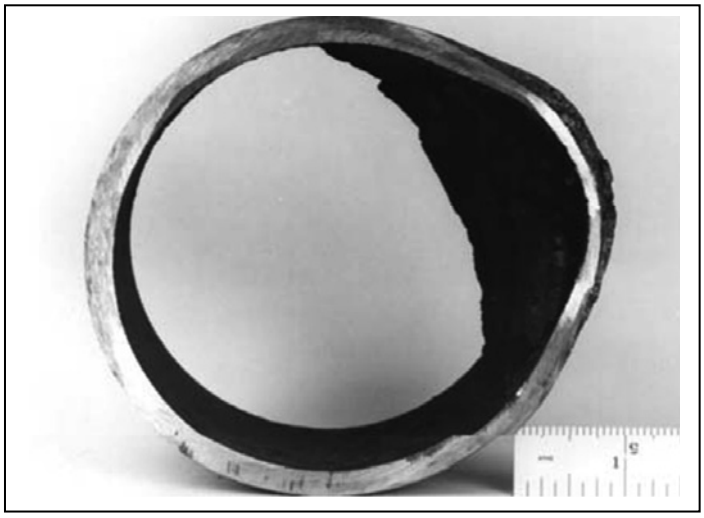
สำหรับค่าอุณหภูมิ Dew–point ที่แท้จริง สามารถคำนวณได้จากส่วนประกอบของ Flue gas ถ้าทราบถึงปริมาณองค์ประกอบของธาตุในเชื้อเพลิง

การกัดกร่อนภายนอกของชิ้นส่วนของหม้อน้ำจะสังเกตุเห็นได้อย่างชัดเจน สำหรับหม้อน้ำที่ขาดการบำรุงรักษามานาน โดยความเข้มข้นของกรดขึ้นกับปริมาณซัลเฟอร์ที่อยู่ในขี้เถ้าและจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรวดเร็วต่อชิ้นส่วนเหล่านี้

### 6.2.3 Creep และ Stress Rupture

การ Overheat ถือได้ว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหม้อน้ำ โดยการเกิด Overheat จะส่งผลให้เกิด Oxidation corrosion ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นการเร่งอัตราการกัดกร่อน และทำให้เนื้อของวัสดุบางลง ก่อให้เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจาก Stress rupture

ถึงแม้ว่าในการใช้งานหม้อน้ำในสภาวะปกติ จะก่อให้เกิดการ Overheat ได้ก็ตาม แต่ส่วนมากพบว่าการเกิด Overheat มักเป็นผลมาจากสภาวะการใช้งานที่ผิดปกติ เช่น ระบบน้ำป้อนผิดปกติ หรือค่าอุณหภูมิของแก๊สจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ที่สูงมากเกินไป ที่ซึ่งเงื่อนไขต่าง ๆ เหล่านี้จะก่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำในท่อผิดปกติ หรือบางครั้งก็เกิดการขัดขวางการไหลของน้ำ (หน้าที่ของน้ำในหม้อน้ำ ไม่ได้ใช้ในการผลิตอน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ยังทำหน้าที่เป็นสารหล่อเย็นเนื้อโลหะในขณะใช้งาน) ดังนั้นการไหลที่ไม่สะดวกก็ย่อมทำให้โลหะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ นอกจากนี้ในกรณีที่มีการเร่งไฟ (Over firing) ซึ่งความไม่สม่ำเสมอของเปลวไฟจาก Burner จะเกิดการปะทะของเปลวไฟกับผนังท่อไฟ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิด Short - term overheat ได้ โดยจะส่งผลให้เกิด High temperature oxidation corrosion กับเนื้อโลหะ แล้วทำให้ชิ้นส่วนรับความดันเกิดการบิดตัวและสูญเสียความแข็งแรงจนเกิด Stress rupture ในที่สุด ดังรูปที่ 6.9 และ 6.10 เป็นตัวอย่างของท่อของหม้อน้ำที่เกิดการเสียหายจากการเกิด Overheating



**รูปที่ 6.9** แสดง Short-Term Boiler Tsube Failureที่เกิดจากตะกรันด้านน้ำส่งผลให้เกิด Overheating และท้ายสุดเกิดการบวมของผนังท่อ

บางครั้งการทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ Steam – separator จะส่งผลให้เกิดการสะสมของสารละลายในน้ำ (Solid solution) ที่มาจากน้ำของหม้อน้ำ โดยเฉพาะในท่อของอุปกรณ์ Super heater และส่งผลให้ท่อเกิดความเสียหายจากการเกิด overheating ได้

**รูปที่ 6.10** แสดง Longer-term Boiler Tube Failure เนื่องจากการขาดการไหลเวียนของของไหลที่เพียงพอในท่อ และก่อให้เกิด Oxidation corrosion แล้วเกิด Stress Rupture ในที่สุด

สำหรับอุปกรณ์ที่ผลิต Superheat จะเกิดการ Overheat และเกิดความเสียหายได้ในช่วงการเริ่มต้น (start up) โดยในขณะนั้นน้ำในหม้อน้ำเพิ่งเริ่มกำเนิดไอน้ำไม่นาน จึงไม่สามารถสร้างไอน้ำให้เพียงพอต่อการหล่อเย็นท่อ Superheater และในขณะเดียวกันมีการเร่งไฟมากเกิน จนไปให้ท่อ เกิดการบิดงอ และเกิด Oxidation ต่อท่อโลหะ และส่งผลให้เกิดความเสียหายในที่สุด

### 6.2.4 Mechanical Deterioration (ความเสียหายทางกลของอุปกรณ์หม้อน้ำ)

ความเสียหายทางกล (กายภาพ) ของชิ้นส่วนของหม้อน้ำมีสาเหตุมาจากหลาย ๆ ส่วนได้ดังนี้

ก) ความล้า (Fatigue) เป็นผลมาจากการขยายตัวและหดตัวในขณะใช้งาน

ข) ความเค้นที่ผิดปกติ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ และความดันอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีของ ผนังดรัมที่หนา (Thick- walled drum)

ค) การใช้อุปกรณ์ทำความสะอาดที่ไม่เหมาะสม

ง) การใช้ Tube ม้วนที่ผลิตมาไม่เหมาะสม

จ) การติดตั้งไม่เหมาะสม

ฉ) ภาระกรรม (Load) จากภายนอกที่สูงเกินไป เช่น จากการต่อท่อ (Connected Piping) แรงลม แผ่นดินไหว และแหล่งภาระกรรมอื่นๆ ในลักษณะคล้ายๆ กัน

ช) การสึกหรอของชิ้นส่วนทางกล

ซ) การระเบิดในห้องเผาไหม้

ฌ) การสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสม

ญ) การรั่วของไอน้ำอันเนื่องมาจากการใช้ปะเก็นที่ไม่เหมาะสม แล้วส่งผลให้ไอน้ำรั่วมาสัมผัสกับผนัง และแท่นรองรับ

ฎ) การกัดกร่อนที่ผนังด้านนอกของท่อในขณะเปิดการซ่อมบำรุง

# 6.3 การเกิดความเสียหายของชิ้นส่วนอื่น ๆ (Deterioration Mechanism of Other Components)

### 6.3.1 General (ชิ้นส่วนทั่วไป)

สำหรับชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับความดัน รวมถึงอิฐทนไฟที่บุภายในห้องเผาไหม้ หรือส่วนรองรับ (Supporting) ต่างๆ สามารถเกิดการเสียหายได้จากการเกิด Overheat โดยการรับอุณหภูมิที่สูงเกินไป ซึ่งโดยปกติแล้ว จะเกิดจากสภาวะการใช้งานที่ไม่เหมาะสม หรืออาจเป็นผลมาจากความเสียหายของส่วนป้องกันส่วนอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าอิฐภายในหม้อน้ำ เกิดการเสียหายจากการสึกหรอ การสึกกร่อน หรืออื่น ๆ จะส่งผลให้ผนังส่วนที่บางของหม้อน้ำเกิดฟลักซ์ความร้อนที่สูงเกินปกติ จนทำให้โครงสร้างได้รับความเสียหายได้แล้วส่งผลให้หม้อน้ำเสียหายในต่อมา

### 6.3.2 Tube Hangers และ Supports

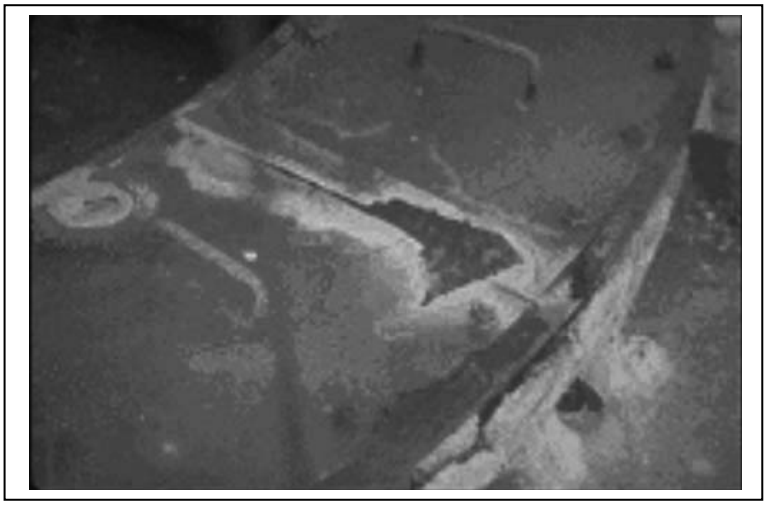
Hanger และ Support มักทำจากโลหะผสมทนความร้อน Heat resistant alloy โดยเลือกจากวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง และสามารถต้านทานต่อการเกิด Creep พร้อมทั้งต้านทานต่อการกัดกร่อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว อุปกรณ์เหล่านี้มักได้จากการหล่อ และอย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้ควรมีการเปลี่ยนตามอายุการใช้งานเพื่อให้มีสภาพพร้อมใช้งานอยู่เสมอ

การเสียหายของอุปกรณ์ Tube Hanger และ Support มาจากหลายสาเหตุ เช่น จากการเกิด Stress หรือ Creep rupture การเสียหายทางกล การกัดกร่อน หรือจากการหล่อที่ไม่ได้คุณภาพ

### 6.3.3 Casing และ โครงสร้างเหล็ก

สารกัดกร่อนจะเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีประกอบไปด้วย ซัลเฟอร์ และ วานาเดียม โดยความเสียหายจากซัลเฟอร์นั้นจะเป็นผลมาจากการกัดกร่อนเนื่องจากกรดอุณหภูมิไม่สูง โดยโลหะเหล็กจะสัมผัสกับแก๊สร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากการเสียหายของอิฐทนไฟหรือฉนวนที่ใช้บุผนัง หรือเมื่อหม้อน้ำมีการทำงานที่สภาวะความดันเป็นบวก โดยเมื่อแก๊สสัมผัสกับความชื้นใน

อากาศจะก่อให้เกิดการก่อตัวของกรดซัลฟุริกบนผิวของโลหะ และก่อให้เกิดการกัดกร่อน ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 6.11 แสดงการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบริเวณ Header Box



**รูปที่ 6.11** แสดงการกัดกร่อนจาก Flue Gas ในส่วนรับการแผ่รังสีใน Header Box

ในการสร้างหม้อน้ำโดยส่วนมากแล้ว จะออกแบบให้ห้องเผาไหม้มีการทำงานที่ความดันเป็นลบ(Negative Pressure) เนื่องจากการใช้งานที่สภาวะความดันของการเผาไหม้ เช่น ความดันมีค่าบวกจะส่งผลให้Flue Gasเกิดการรั่วและส่งผลให้เปลือกของหม้อน้ำเกิดการกัดกร่อนได้

### 6.3.4 Firebox และ Ductwork Liners ในห้องเผาไหม้

เปลวไฟ และ อุณหภูมิ ถือเป็นสาเหตุหลักของความเสียหายของวัสดุในห้องเผาไหม้ในหม้อน้ำ โดยความรุนแรงของความเสียหายจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการใช้งานหม้อน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการทำงานของหม้อน้ำ

จุดประสงค์ของการก่ออิฐทนไฟหม้อภายในหม้อน้ำ นอกจากเพื่อป้องกันความร้อนที่จะมีผลต่อตัวโครงสร้างของหม้อน้ำ แล้วยังเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อน้ำด้วย แต่กระนั้นความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยมีปัจจัยร่วมเนื่องจากอิฐทนไฟก็สามารถเกิดขึ้นได้ เช่น Fluxing

Fluxing จะเกิดขึ้นได้เมื่อ ขี้เถ้าและเชื้อเพลิง เกิดการสัมผัสกับ อิฐทนไฟ ที่อุณหภูมิที่สูงเพียงพอจนก่อให้เกิด slag ซึ่งบางครั้งอยู่ในรูปของของไหล โดย Metal oxides ของสารจำพวก vanadium , molybdenum และ Sodium เป็น “fluxing agent” ซึ่ง slag ต่าง ๆ ดังกล่าวจะก่อให้เกิดความเสียหายได้อย่างน้อย 3 แบบคือ

**ก) Melting**

เมื่อ Flux เกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้ผิวหน้าของอิฐทนไฟแปรสภาพเป็นของเหลวและไหลลงไปตามแรงโน้มถ่วง ซึ่งส่งผลให้ผนังของอิฐทนไฟบางลง

**ข) Penetration**

Flux สามารถแทรกซึมไปภายในเนื้อของอิฐทนไฟ ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติของอิฐทนไฟเกิดการเปลี่ยนแปลง

**ค) Chemical action**

Flux สามารถทำปฏิกิริยากับอิฐทนไฟ และส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีเสื่อมลง

กล่าวโดยสรุปแล้ว ผลกระทบทั่วไปของการเกิด Slag นี้จะทำให้ความหนาของอิฐทนไฟและคุณสมบัติด้านการเป็นฉนวนของมันมีค่าลดลง และส่งผลให้ชิ้นส่วนด้านหลังอิฐทนไฟต้องรับอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั่นเอง

### 6.3.5 Structures

Foundation Settlement อาจก่อให้เกิดความเสียหายที่ร้ายแรงต่อหม้อน้ำได้ ถ้าในตอนการสร้างเกิดความเค้นภายในตกค้างสูง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการประกอบชิ้นส่วนภายในที่ซับซ้อน การต่อท่อภายนอกหม้อน้ำ หรือแม้กระทั่งการก่ออิฐทนไฟที่ไม่เหมาะสม จนส่งผลให้โครงสร้างของหม้อน้ำต้องรับภาระความเค้น ที่สูงจนเกินไป และส่งผลให้เกิดความเสียหายได้

โดยปกติแล้วความเสียหายของโครงสร้างภายนอกของหม้อน้ำที่สามารถพบได้มีดังนี้

ก) ปล่องอาจเกิดการเสียหายโดย Overturn

ข) ท่ออากาศ และท่อไอเสียอาจเกิดการเสียหาย โดยผลจากการแตกที่มุมหรือรอยต่อ

ค) การแตกที่ Expansion joints

ง) ขอยึดสลิงอาจจะหลวมหรือขาด

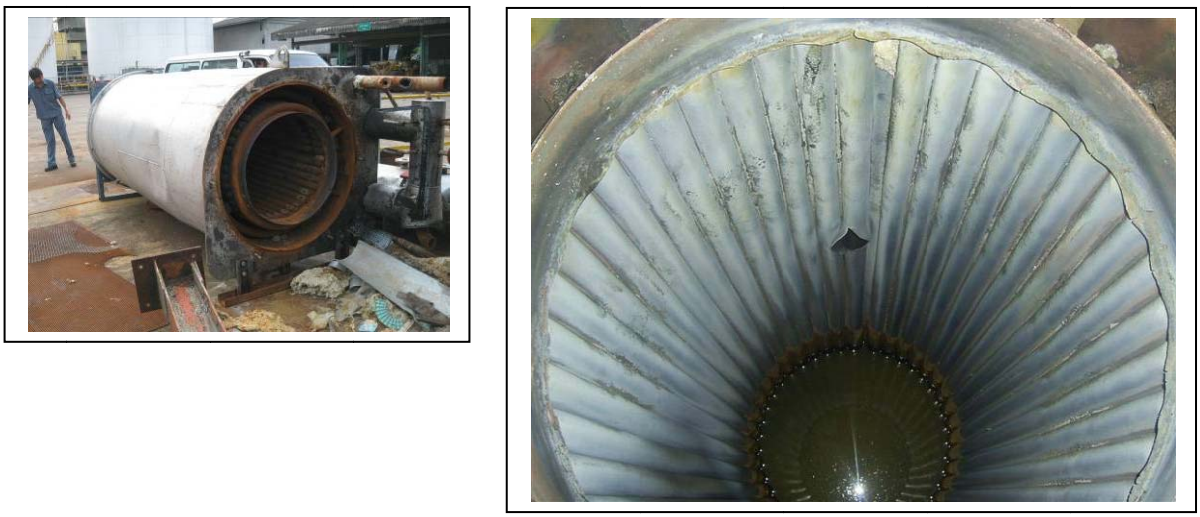
จ) ท่อส่ง(Pipe) และ ท่อรับความร้อน (Tube) อาจถูก Overstressed แล้วเสียหาย

ฉ) Anchor bolts ของปล่องไฟอาจถูกขันจนเกิด Overstressed แล้วเสียหาย

# 6.4 ตัวอย่างการความเสียหายที่เกิดจาก “Short Time Overheat”

**ข้อมูลเบื้องต้น** : หม้อน้ำความดันสูงถูกติดตั้งในชุดกลั่นน้ำมัน หลังจากใช้งานประมาณ 2 ปี พบว่าท่อภายน้ำภายในหม้อน้ำเกิดการระเบิดระหว่างการใช้งาน

หม้อน้ำนี้เป็นหม้อน้ำชนิด “Water tube boiler” ความดันและอุณหภูมิใช้งานเท่ากับ 95 บาร์และ 305 $^{\circ}$Cตามลำดับ ความสามารถในการผลิตไอเท่ากับ 2,436 กิโลกรัม/ชั่วโมง



**รูปที่ 6.12** หม้อน้ำความดันสูงระเบิด

**การตรวจพินิจ (Visual inspection)** รอยแตกของท่อมีลักษณะเป็นรูป “ปากปลา” และปวมเป่งออกมา

**รูปที่ 6.13** รอยแตกของท่อมีลักษณะเป็นรูป “ปากปลา” และมีรอยร้าวเล็กที่ขอบผิวแตก

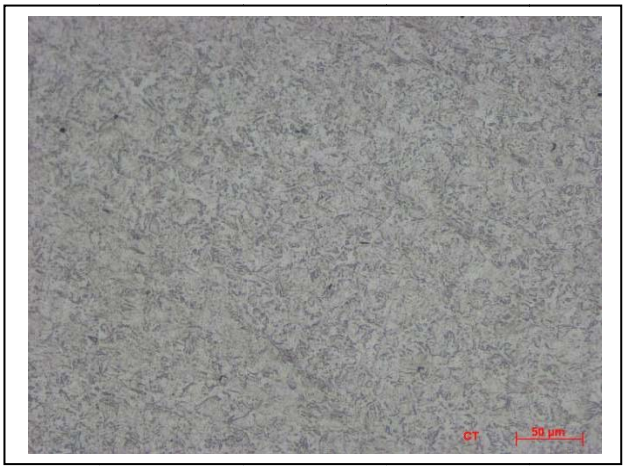
**รูปที่ 6.14** ความหนาของผิวแตกไม่มีการลดลง

ความหนาบริเวณขอบของรอยแตกมีการลดลงน้อยมาก รูปที่ 6.11 และ 6.12

**การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค**

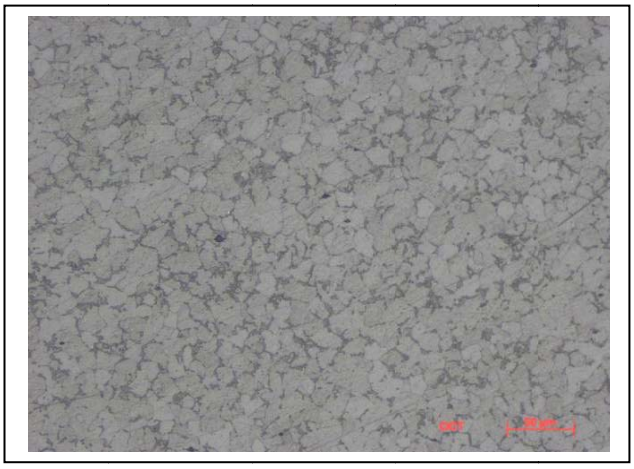
ลักษณะโครงสร้างของโลหะบริเวณท่อที่เกิดการแตกมีโครงสร้างเป็นแบบเพิลไลท์เล็กๆ และอซิกูลาเฟอร์ไรท์ซึ่งอาจเป็นเทมเปอร์มาเทนไซส์ โดยรูปที่ 6.13 แสดงท่อแตกมีโครงสร้างเป็นเพิร์ลไลท์และเฟอร์ไรท์เล็กๆ และรูปที่ 6.14 แสดงภาพความหนาของท่อที่เสียหายซึ่งจะสังเกตุเห็นว่าความหนาของผิวแตกไม่ลดลง โดยจากการถ่ายภาพโครงสร้างพบว่ามีลักษณะเป็นแบบเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์ ดังรูปที่รูปที่ 6.15

จากการรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบการเปลี่ยนเฟสของโครงสร้างโลหะ ซึ่งเป็นผลจากการได้รับอุณหภูมิที่สูงเกิน 723 $^{o}$C แล้วเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว และจากนั้นมีการเย็นตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนจากโครงสร้างปกติของท่อไปเป็นโครงสร้างแบบมาร์เทนไซต์ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของ “Short term overheat” ของหม้อน้ำโดยสาเหตุหลักสามารถเกิดจากหลายสาเหตุระหว่างการใช้งานเช่น การบล็อกของท่อหรือการหล่อเย็นของท่อน้อย หรือเกิดการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าปกติ จากการสัมผัสเปลวไฟ




**รูปที่ 6.15** โครงสร้างเทมเปอร์มาเทนไซส์

**รูปที่ 6.16** โครงสร้างเป็นเพิลไลท์และเฟอร์ไรท์เล็กๆ



**รูปที่ 6.17** โครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์-เพิลไลท์

**การวิเคราะห์ส่วนผสมของวัสดุ** ผลการทดสอบส่วนผสมของวัสดุของทุกชิ้นงานทดสอบไม่พบความแตกต่างที่เด่นชัด ซึ่งส่วนผสมของวัสดุของชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้น สอดคล้องกับวัสดุ St. 37.8 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าคุณภาพ รูปที่ 6.16 ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเสียหายหลัก

| | Fe | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Cu | Al | V | W | Ti | Nb | B | S | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NCT .1 | 98.51 | 0.159 | 0.237 | 0.593 | 0.19 | 0.186 | 0 | 0.081 | 0.014 | 0.01 | 0 | 0 | 0.001 | 0.002 | 0.017 | 0.006 |
| NCT .3 | 98.49 | 0.155 | 0.229 | 0.586 | 0.193 | 0.169 | 0 | 0.083 | 0.034 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0.008 | 0.032 | 0.023 |
| NCT .4 | 98.54 | 0.144 | 0.226 | 0.561 | 0.175 | 0.183 | 0 | 0.091 | 0.014 | 0.007 | 0.021 | 0 | 0 | 0.001 | 0.015 | 0.02 |
| Avg | 98.51 | 0.153 | 0.231 | 0.58 | 0.186 | 0.179 | 0 | 0.085 | 0.021 | 0.008 | 0.007 | 0 | 0 | 0.004 | 0.021 | 0.017 |
| StDev | 0.022 | 0.006 | 0.005 | 0.014 | 0.008 | 0.008 | 0 | 0.005 | 0.009 | 0.001 | 0.01 | 0 | 0 | 0.003 | 0.007 | 0.008 |
| CT .1 | 98.53 | 0.13 | 0.228 | 0.57 | 0.179 | 0.19 | 0 | 0.092 | 0.015 | 0.004 | 0.032 | 0 | 0 | 0.008 | 0.012 | 0.007 |
| CT .2 | 98.52 | 0.132 | 0.208 | 0.563 | 0.179 | 0.18 | 0 | 0.09 | 0.022 | 0.008 | 0.044 | 0 | 0 | 0.002 | 0.027 | 0.022 |
| CT .3 | 98.54 | 0.134 | 0.23 | 0.584 | 0.183 | 0.182 | 0 | 0.081 | 0.026 | 0.007 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.011 | 0.021 |
| Avg | 98.53 | 0.132 | 0.222 | 0.572 | 0.18 | 0.184 | 0 | 0.088 | 0.021 | 0.006 | 0.025 | 0 | 0 | 0.005 | 0.017 | 0.017 |
| StDev | 0.009 | 0.002 | 0.01 | 0.008 | 0.002 | 0.005 | 0 | 0.005 | 0.004 | 0.002 | 0.019 | 0 | 0 | 0.003 | 0.007 | 0.007 |
| OCT .6 | 98.61 | 0.134 | 0.203 | 0.502 | 0.161 | 0.194 | 0 | 0.117 | 0.038 | 0.004 | 0 | 0 | 0.001 | 0.002 | 0.016 | 0.02 |
| OCT .8 | 98.49 | 0.129 | 0.204 | 0.529 | 0.164 | 0.187 | 0 | 0.117 | 0.033 | 0.003 | 0.086 | 0 | 0 | 0.006 | 0.024 | 0.027 |
| OCT .10 | 98.56 | 0.155 | 0.212 | 0.543 | 0.172 | 0.184 | 0 | 0.108 | 0.024 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.019 | 0.019 |
| Avg | 98.56 | 0.139 | 0.206 | 0.525 | 0.166 | 0.189 | 0 | 0.114 | 0.032 | 0.003 | 0.029 | 0 | 0 | 0.004 | 0.019 | 0.022 |
| StDev | 0.05 | 0.011 | 0.004 | 0.017 | 0.005 | 0.004 | 0 | 0.004 | 0.006 | 0 | 0.04 | 0 | 0 | 0.001 | 0.004 | 0.003 |

**รูปที่ 6.18** ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมของวัสดุ

# ภาคผนวก ก

# กฎกระทรวง ประกาศ และกฎหมายที่เกี่ยวกับหม้อน้ำ

**ภาคผนวก ก-1**

# กฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549

# กฎกระทรวง

กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ
หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน
พ.ศ. ๒๕๔๙

---

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖ และมาตรา ๘ (๒) (๓) (๔) (๖) (๗) และ (๘) แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ และมาตรา ๕๐ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิก

(๑) (๕) และ (๖) ของข้อ ๖ ข้อ ๘ และข้อ ๙ แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕

(๒) ข้อ ๒ และข้อ ๓ แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ ๓ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕

ข้อ ๒ ในกฎกระทรวงนี้

“หม้อน้ำ (boiler)” หมายความว่า

(๑) ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาณความจุเกิน ๒ ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่น น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า ๑.๕ เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล หรือ

(๒) ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ ๘ ตารางเมตรขึ้นไป

"หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน" หมายความว่า ภาชนะปิดที่ภายในบรรจุของเหลวซึ่งมีคุณสมบัติในการรับและถ่ายเทความร้อนได้ โดยรับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่น เพื่อนำไปถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยของเหลวจะไหลเวียนตลอดเวลาเพื่อรับและถ่ายเทความร้อนได้อย่างต่อเนื่อง

"ภาชนะรับแรงดัน (pressure vessel)" หมายความว่า

(๑) ภาชนะปิดที่มีความกดดันภายในภาชนะและภายนอกภาชนะแตกต่างกันมากกว่า ๑.๕ เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า ๑๐๓ มิลลิเมตร หรือ

(๒) ถังปฏิกิริยา (reactor)

## หมวด ๑
## การออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบการผลิต

ข้อ ๓ ผู้ประกอบกิจการโรงงานผลิต ประกอบ ดัดแปลง หรือสร้างหม้อน้ำหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

(๑) จัดให้มีการออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบการผลิต

(๒) จัดทำเอกสารคู่มือการใช้งาน การตรวจสอบ และการบำรุงรักษา และ

(๓) จัดทำรายงานข้อมูลการผลิต การตรวจสอบ และการทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

ทั้งนี้ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

## หมวด ๒
## การติดตั้ง

ข้อ ๔ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องติดตั้งหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดันที่ได้รับการออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบการผลิตตามข้อ ๓

หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดันที่ติดตั้งตามวรรคหนึ่ง หากนำเข้าจากต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นภาชนะใหม่หรือภาชนะที่ผ่านการใช้งานแล้ว ต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๕ หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดันที่ติดตั้งเพื่อใช้งาน ต้องมีอุปกรณ์ความปลอดภัยตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๖ สถานที่ติดตั้ง การติดตั้ง การตรวจสอบและทดสอบหลังการติดตั้ง และการเคลื่อนย้ายหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๗ ระบบท่อต้องได้รับการออกแบบ การคำนวณ และควบคุมการติดตั้งตามมาตรฐานที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา โดยวิศวกรที่ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

ข้อ ๘ โรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ ต้องติดตั้งอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดหรือปรับสภาพน้ำในระบบหม้อน้ำ หรือปรับสภาพน้ำเข้าหม้อน้ำ เพื่อให้น้ำมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๙ โรงงานที่มีการติดตั้งหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องจัดทำรายงานข้อมูลการติดตั้ง การตรวจสอบและทดสอบหลังการติดตั้ง และการเคลื่อนย้ายตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

## หมวด ๓
## การใช้งาน

ข้อ ๑๐ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องจัดทำและดำเนินการตามแผนการบำรุงรักษาหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน รวมถึงอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๑๑ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องใช้งานที่ความดันไม่เกินกว่าความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (maximum allowable working pressure)

สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกินกว่าอุณหภูมิอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด

ข้อ ๑๒ หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ถังพักไอน้ำ ระบบท่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อน

ข้อ ๑๓ หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดันที่โครงสร้างรับแรงดันหรืออุปกรณ์ความปลอดภัยชำรุดไม่สามารถใช้งานได้ หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งานต้องหยุดการใช้งานทันทีและแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบภายในสิบวันนับแต่วันที่พบความชำรุดเสียหาย

กรณีที่โครงสร้างรับแรงดันหรืออุปกรณ์ความปลอดภัยชำรุดและจะนำกลับมาใช้งานใหม่ต้องได้รับการซ่อมแซมและตรวจสอบตามวิธีการที่กำหนดในข้อ ๑๖

ข้อ ๑๔ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบหรือทดสอบความปลอดภัยตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๑๕ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ต้องจัดส่งรายงานผลการตรวจสอบความปลอดภัยให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบภายในสามสิบวันนับแต่วันที่ทำการตรวจสอบหรือทดสอบตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

## หมวด ๔
## การซ่อมแซมและดัดแปลง

ข้อ ๑๖ การดำเนินการซ่อมแซมและดัดแปลง การตรวจสอบและทดสอบหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๑๗ ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดส่งรายงานผลการดำเนินการซ่อมแซม และดัดแปลง และผลการตรวจสอบและทดสอบหลังจากที่ได้ซ่อมแซมและดัดแปลงหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อนการใช้งาน ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด ๕
การยกเลิกการใช้งาน

ข้อ ๑๘ การยกเลิกการใช้งานหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือภาชนะรับแรงดัน ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องดำเนินการตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด ๖
บุคลากรประจำโรงงาน

ข้อ ๑๙ คนงาน วิศวกร หรือสถาปนิกที่ปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม การออกแบบ การผลิต การใช้งาน การตรวจสอบหรือทดสอบ หรือการซ่อมแซมหรือดัดแปลงหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือภาชนะรับแรงดัน ต้องมีคุณสมบัติและต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ให้ไว้ ณ วันที่ ๓๐ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๔๙
สุริยะ จึงรุ่งเรืองกิจ
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

หมายเหตุ :- เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรการความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้หม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและภาชนะรับแรงดัน เพื่อคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานดังกล่าวให้เหมาะสมกับสถานการณ์ในปัจจุบัน จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้

**ภาคผนวก ก-2**

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2549

# ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

พ.ศ. ๒๕๔๙

---

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๓ ข้อ ๔ ข้อ ๖ ข้อ ๙ ข้อ ๑๔ ข้อ ๑๕ ข้อ ๑๖ ข้อ ๑๗ ข้อ ๑๘ และ ข้อ ๑๙ แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๙ ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

“ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน” หมายความว่า คนงานประจำโรงงานที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงาน การตรวจสอบและบำรุงรักษาประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

“วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ” หมายความว่า วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรที่รับผิดชอบการใช้หม้อน้ำซึ่งมีอัตราการผลิตไอน้ำตั้งแต่ ๒๐ ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป ควบคุมดูแลผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำและจัดทำแผนการใช้งาน การบำรุงรักษาให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยและข้อกำหนดสำหรับหม้อน้ำ

“วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน” หมายความว่า วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้งและควบคุมการติดตั้งตรวจทดสอบ วิเคราะห์และจัดทำรายงานความปลอดภัยในการใช้งานของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ไขให้ถูกต้อง เป็นไปตามหลักวิศวกรรม

“วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน” หมายความว่า วิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและรับรองแบบ ควบคุมตรวจสอบ กำกับดูแลการสร้าง การซ่อมแซม หรือการดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามแบบและรายละเอียดที่ผ่านการรับรอง

“หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน” หมายความว่า นิติบุคคลที่มีขอบเขตการปฏิบัติงานอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดังต่อไปนี้

(๑) ตรวจสอบและรับรองแบบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

(๒) ตรวจพิสูจน์หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ที่นำเข้าจากต่างประเทศตามข้อ ๑๒

(๓) ตรวจสอบ ควบคุม กำกับดูแลการสร้าง การซ่อมแซม หรือการดัดแปลง หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้เป็นไปตามแบบ และรายละเอียด ที่ผ่านการรับรองจากหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(๔) ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง และการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และเครื่องอุปกรณ์ส่วนควบให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรม

(๕) ตรวจทดสอบ วิเคราะห์และจัดทำรายงานความปลอดภัยในการใช้งานของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ไขให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

## หมวด ๑
## บุคลากรประจำโรงงาน วิศวกร และหน่วยรับรองวิศวกรรม ด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ ๒ ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ที่ระบุในประกาศกระทรวงนี้ ต้องมีคุณสมบัติหน้าที่ความรับผิดชอบเป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ๑ และต้องขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

ข้อ ๓ การจัดฝึกอบรม หลักสูตรการฝึกอบรม และการสอบมาตรฐานของผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ๒

หมวด ๒

การออกแบบ

ข้อ ๔ ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องจัดให้มีการออกแบบและคำนวณหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่จะทำการสร้างให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน ASME, JIS, EN หรือมาตรฐานเทียบเท่า และต้องจัดให้มีหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนทำการตรวจสอบและรับรองแบบ พร้อมทั้งเก็บรักษาแบบและหนังสือรับรองแบบนั้นไว้ภายในโรงงานเพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบได้

ความในวรรคแรก มิให้ใช้บังคับกับหม้อน้ำประเภทไหลผ่านทางเดียว (Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน ๑๐ ตารางเมตร ความดันใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure)ไม่เกิน ๑๐ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่การคำนวณ การออกแบบให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรมโดยมีหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนทำการตรวจสอบและรับรองแบบ

หมวด ๓

การสร้างและการตรวจสอบการสร้าง

ข้อ ๕ ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องทำการสร้าง หรือดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ได้รับการออกแบบและตรวจรับรองแบบ โดยหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเท่านั้น

ข้อ ๖ ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องใช้วัสดุในการสร้างตามมาตรฐานตามที่ได้รับการออกแบบนั้น และมีเอกสารรับรองคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้ในการสร้าง (Mill Certificate) เฉพาะส่วนที่รับแรงดันที่สามารถสอบกลับแหล่งที่มาได้

ข้อ ๗ ลวดเชื่อมที่ใช้ในการสร้าง ต้องเหมาะสมกับประเภทของวัสดุที่ใช้ในการสร้างและเป็นไปตามมาตรฐานลวดเชื่อม

ข้อ ๘ ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องดำเนินการควบคุมและตรวจสอบการสร้าง ดังต่อไปนี้

(๑) จัดให้มีช่างเชื่อม ที่มีความชำนาญในการเชื่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยเฉพาะและได้รับการรับรองตามมาตรฐานการเชื่อม

(๒) จัดให้มีเอกสารแสดงขั้นตอนการเชื่อม (Welding Procedure) เพื่อให้เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบได้

(๓) จัดทำเอกสารบันทึกการดำเนินการทุกขั้นตอนในกระบวนการสร้างและการตรวจสอบพร้อมให้เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบได้ และต้องเก็บรักษาไว้อย่างน้อย ๑๐ ปี

(๔) จัดให้มีการตรวจสอบกระบวนการสร้าง หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ทั้งนี้ต้องไม่เป็นวิศวกรรายเดียวกับที่ดำเนินการรับรองแบบในข้อ ๔

(๕) หลังจากผ่านการตรวจสอบตาม (๔) แล้ว ให้ติดตั้งแผ่นโลหะ (Name Plate) ที่ตัวหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนอย่างหนาแน่นถาวรในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเจน และอย่างน้อยที่สุดต้องมีการแสดงข้อมูลต่อไปนี้เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษลงบนแผ่นโลหะ ดังนี้

ก. สำหรับหม้อน้ำ

(๑) ชื่อและประเทศของบริษัทผู้ผลิต

(๒) เลขทะเบียน วิศวกรหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และตรวจสอบการสร้าง

(๓) เดือน ปี ที่ผลิต

(๔) มาตรฐานการสร้าง

(๕) ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (Maximum allowable working pressure)

(๖) อัตราการผลิตไอน้ำ

(๗) ความดันทดสอบ

(๘) หมายเลขเครื่อง (Serial Number)

(๙) รุ่น (Model)

ข. สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(๑) ชื่อและประเทศของบริษัทผู้ผลิต

(๒) เลขทะเบียน วิศวกร หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและตรวจสอบการสร้าง

(๓) เดือน ปี ที่ผลิต

(๔) มาตรฐานการสร้าง

(๕) ค่าความร้อนที่สามารถผลิตได้ (Capacity Output)

(๖) อัตราการไหลต่ำสุด (Minimum Flow Rate)

(๗) หมายเลขเครื่อง (Serial Number)

(๘) รุ่น (Model)

ข้อ ๙ ในการสร้าง หากกระบวนการสร้างทำให้คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป เช่น การเชื่อม หรือการดัดโค้ง ให้ทำการอบคลายเครียดผลิตภัณฑ์ (Stress relief )

ข้อ ๑๐ ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดทำรายงานการสร้าง (Manufacturing Data Report) และส่งรายงานการได้รับการรับรองแบบและรายงานการตรวจสอบการสร้างให้กรมโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้ให้เป็นไปตามแบบและวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

## หมวด ๔
## การติดตั้ง

ข้อ ๑๑ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่จะติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเป็นผู้ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่าง ๆ

ข้อ ๑๒ การนำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศมาใช้ในโรงงาน ต้องเป็นหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานสากล ได้แก่ มาตรฐาน ASME, JIS, EN

หรือเทียบเท่าและได้รับการตรวจพิสูจน์จากหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ทั้งนี้ ในกรณีที่เป็นหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ใช้งานแล้วต้องมีเอกสารประวัติการใช้งาน การซ่อมแซมและการตรวจสอบด้วย

ความในวรรคแรก มิให้ใช้บังคับกับหม้อน้ำประเภทไหลผ่านทางเดียว (Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน ๑๐ ตารางเมตร ความดันใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure) ไม่เกิน ๑๐ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่การคำนวณ การออกแบบ การสร้างให้เป็นไปตามหลักวิศวกรรม โดยมีวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำหรือหม้อน้ำที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ทำการตรวจพิสูจน์

ข้อ ๑๓ สถานที่ติดตั้งและฐานรากหม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

(๑) หม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ติดตั้งในอาคารต้องมีระยะห่างจากเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบหม้อน้ำและหม้อต้ม ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่า ๒.๕ เมตร และห่างจากผนังอาคาร หม้อน้ำ และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และเพดานไม่น้อยกว่า ๑.๕ เมตร ยกเว้นหม้อน้ำแบบไหลผ่านทางเดียว (Once Through Boiler) ที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนไม่เกิน ๑๐ ตารางเมตร และความดันใช้งานสูงสุดไม่เกิน ๑๐ กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ ระยะดังกล่าวต้องเพียงพอต่อการบำรุงรักษาและตรวจสอบ

(๒) สถานที่ติดตั้งต้องมีทางเข้าออกอย่างน้อย ๒ ทาง มีความกว้างอย่างน้อย ๐.๖ เมตร ความสูงอย่างน้อย ๒ เมตร และต้องปราศจากสิ่งกีดขวางทางเข้าออก

(๓) ในกรณีที่จำเป็นต้องเก็บเชื้อเพลิงไว้ในบริเวณสถานที่ติดตั้ง ต้องเก็บอยู่ห่างจากหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่า ๑ เมตร

(๔) ฐานรากสถานที่ติดตั้งหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดต้องมั่นคงแข็งแรง

ข้อ ๑๔ การทดสอบก่อนการใช้งาน

(๑) ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบภายนอกภายใน และการทำงานของระบบการควบคุม

ก่อนการใช้งานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวก ๓ โดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และจัดส่งต้นฉบับรายงานให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน ๓๐ วัน หลังจากทำการตรวจสอบความปลอดภัย

(๒) หม้อน้ำที่นำชิ้นส่วนมาประกอบ ณ สถานที่ใช้งานต้องทำการตรวจสอบตามแนวเชื่อมส่วนรับแรงดัน ภายใต้การควบคุมดูแลของวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อม หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

## หมวด ๕
## การใช้งาน

ข้อ ๑๕ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ ๑๖ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องแสดงใบอนุญาตผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ไว้ ณ ที่เปิดเผยและเห็นได้ง่ายในบริเวณที่ติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ ๑๗ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำที่มีกำลังการผลิตไอน้ำเครื่องละตั้งแต่ ๒๐ ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป นอกจากจะต้องดำเนินการตามข้อ ๑๖ แล้ว ต้องจัดให้มีวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบการใช้งานหม้อน้ำตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

ข้อ ๑๘ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ ต้องจัดให้มีการตรวจสอบหม้อน้ำโดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เป็นประจำอย่างน้อยปีละ ๑ ครั้ง ในเรื่องต่อไปนี้

(๑) ตรวจสอบภายนอก

(๒) ตรวจสอบภายใน

(๓) ตรวจสอบการทำงานของระบบการควบคุม และอุปกรณ์ความปลอดภัย

ทั้งนี้ หลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสอบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ๓

สำหรับหม้อน้ำที่มีอัตราการผลิตไอน้ำเครื่องละตั้งแต่ ๒๐ ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป ที่มีการออกแบบโครงสร้าง การสร้างและใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายตามมาตรฐานสากล หากประสงค์จะตรวจสอบภายใน ทุกระยะเวลาเกินกว่า ๑ ปีแต่ไม่เกิน ๕ ปีต่อการตรวจสอบหนึ่งครั้งก็ให้กระทำได้ ทั้งนี้ ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด และได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน

ข้อ ๑๙ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจทดสอบความปลอดภัยระหว่างการใช้งาน โดยวิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เป็นประจำอย่างน้อยปีละ ๑ ครั้ง ในเรื่องต่อไปนี้

(๑) ตรวจสอบภายนอก

(๒) ตรวจสอบภายใน

(๓) ตรวจสอบการทำงานของระบบการควบคุม และอุปกรณ์ความปลอดภัย

ทั้งนี้ หลักเกณฑ์ และวิธีการตรวจสอบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ๓

สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่มีการออกแบบ การสร้างและมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายตามมาตรฐานสากล หากประสงค์จะตรวจสอบภายใน ทุกระยะเวลาเกินกว่า ๑ ปีแต่ไม่เกิน ๓ ปีต่อการตรวจทดสอบหนึ่งครั้ง ก็ให้กระทำได้ ทั้งนี้ ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด และได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อน

ข้อ ๒๐ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบคุณภาพของของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อนเป็นประจำทุก ๖ เดือน และเก็บรักษาไว้ในโรงงาน เพื่อให้เจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบได้

ข้อ ๒๑ หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ที่หยุดใช้งานติดต่อกันนานกว่า ๖ เดือน หากจะนำมาใช้อีกครั้ง ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีการตรวจสอบตามที่กำหนดในภาคผนวก ๓ ก่อนทำการใช้งาน

ข้อ ๒๒ ในกรณีที่ผู้ประกอบกิจการโรงงาน หรือส่วนราชการ มีความประสงค์ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมดำเนินการตรวจทดสอบความปลอดภัยระหว่างการใช้งานของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เมื่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมพิจารณาแล้ว เห็นว่ามีความเหมาะสมให้วิศวกรเครื่องกลผู้ซึ่งเป็นวิศวกรตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกรมีอำนาจในการดำเนินการตรวจสอบได้ โดยวิศวกรเครื่องกลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวได้รับการยกเว้นไม่ต้องขึ้นทะเบียนตามข้อ ๒

ข้อ ๒๓ ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบตามข้อ ๑๘ ข้อ ๑๙ หรือข้อ ๒๑ ตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด และจัดส่งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน ๓๐ วัน นับแต่วันที่เสร็จสิ้นการตรวจสอบ

## หมวด ๖
## การซ่อมแซมและดัดแปลง

ข้อ ๒๔ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หากประสงค์จะทำการซ่อมแซม หรือดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนส่วนที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนที่รับความดัน ต้องดำเนินการดังนี้

(๑) จัดให้มีวิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อม หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ควบคุมดูแลการซ่อมแซม หรือ ดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(๒) ดำเนินการให้เป็นไปตามหมวด ๓

(๓) ภายหลังการซ่อมแซมหรือดัดแปลงหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีการตรวจสอบและทดสอบภายใต้การควบคุม ดูแลของหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือวิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ทั้งนี้ หลักเกณฑ์ และวิธีการตรวจสอบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ๓

(๔) จัดส่งรายงานผลการดำเนินงานซ่อมแซม ดัดแปลงและผลการตรวจสอบหลังการซ่อมแซมและดัดแปลงไปให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน ๓๐ วัน หลังจากซ่อมแซมและดัดแปลงแล้วเสร็จ ทั้งนี้ให้เป็นไปตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

หมวด ๗
การยกเลิกการใช้หม้อน้ำ
หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ ๒๕ การยกเลิกการใช้งานหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อเคลื่อนย้ายหรือทำลาย ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบก่อนดำเนินการเคลื่อนย้ายหรือทำลายไม่น้อยกว่า ๓๐ วันทำการ

ทั้งนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดสามร้อยหกสิบห้าวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๙
โฆสิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

**ภาคผนวก 1**

**หน้าที่และคุณสมบัติของบุคลากรประจำโรงงาน วิศวกร**

**และหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน**

**<u>ส่วนที่ 1</u>** ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

**<u>หน้าที่</u>**

(1) ควบคุม ดูแลประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนตลอดเวลาที่ปฏิบัติงานในหน้าที่

(2) ตรวจความเรียบร้อยของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนก่อนเดินเครื่องและขณะเดินเครื่อง

(3) ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ และค่าควบคุมต่าง ๆ ตามช่วงระยะเวลา พร้อมจัดทำและเก็บรักษาบันทึกรายงานประจำวัน พร้อมที่จะให้เจ้าหน้าที่ตรวจดูได้ตลอดเวลา

(4) ควบคุม ดูแลคุณภาพน้ำป้อน และน้ำภายในหม้อน้ำให้เป็นไปตามประกาศ เรื่องคุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

(5) ให้หยุดใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนทันที เมื่อพบข้อบกพร่องของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายร้ายแรงและแจ้งให้วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ หรือผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

**<u>คุณสมบัติ</u>**

(1) ต้องผ่านการอบรมและสอบตามหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่ระบุในภาคผนวก 2 หรือ

(2) ต้องมีคุณวุฒิได้รับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างกลโรงงาน หรือช่างยนต์ หรือช่างเทคนิคอุตสาหกรรม หรือช่างเทคนิคการผลิต หรือสาขาอื่นที่มีวิชาการเรียนภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ เกี่ยวกับไอน้ำ ความร้อน การเผาไหม้ การประหยัดพลังงาน ความแข็งแรงของวัสดุ รวมกันไม่น้อยกว่า 9 หน่วยกิต

**<u>ส่วนที่ 2</u>** วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ มีหน้าที่ดังนี้

**<u>หน้าที่</u>**

(1) ควบคุม กำกับดูแลให้บุคลากรต่าง ๆ ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ ปฏิบัติงานตามมอบหมาย

(2) อำนวยการ วางแผน จัดทำแผน และดำเนินการตามแผนในการใช้งาน การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อน้ำให้มีความมั่นคงแข็งแรงปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และสนับสนุนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

(3) จัดให้มีการตรวจทดสอบเพื่อความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำ ตามที่กฎหมายกำหนด

(4) ควบคุมการแก้ไข และซ่อมแซมหม้อน้ำให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยต่อการใช้งาน

(5) ให้หยุดการใช้งานหม้อน้ำทันที เมื่อพบข้อบกพร่องของหม้อน้ำซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายร้ายแรง และแจ้งให้ผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

(6) รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

**คุณสมบัติ**

(1) ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาต

(2) ไม่เป็นผู้ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

**ส่วนที่ 3** วิศวกรตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

**หน้าที่**

(1) ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่าง ๆ สำหรับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนใหม่ก่อนการติดตั้ง พร้อมจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

(2) ตรวจทดสอบความปลอดภัยภายหลังการติดตั้งและตรวจทดสอบความปลอดภัยประจำปีของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย โดยถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุในภาคผนวก 3 พร้อมทั้งจัดทำรายงานผลการตรวจทดสอบตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

(3) หากตรวจสอบพบว่า หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ประกอบกิจการโรงงาน และกรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบทันที

(4) รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

**คุณสมบัติ**

(1) ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาต

(2) ไม่เป็นผู้ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

**ส่วนที่ 4** วิศวกรควบคุมการสร้าง หรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

**หน้าที่**

(1) ตรวจพิสูจน์ความถูกต้องในการออกแบบสำหรับการผลิต หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนของวิศวกรผู้ออกแบบ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองแบบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการ

โรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนโดยอย่างน้อยต้องมีการระบุมาตรฐานการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบ อัตราการผลิตไอหรือค่าความร้อนที่ผลิตได้ ชนิดของเชื้อเพลิง รุ่น (Model) ในหนังสือรับรองแบบ ทั้งนี้ผู้ออกแบบและผู้ตรวจพิสูจน์แบบต้องไม่เป็นบุคคลเดียวกัน และไม่เป็นผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานเดียวกัน

(2) ตรวจสอบการสร้าง หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมจัดทำรายงานการตรวจสอบการสร้างส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดย

(ก) ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิตหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

(ข) ตรวจสอบสภาพโรงงานที่สร้างหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน รวมทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

(ค) ตรวจสอบคุณสมบัติของบุคลากรให้เหมาะสมกับข้อกำหนดในงานที่ปฏิบัติ

(3) ตรวจพิสูจน์การคำนวณ การออกแบบ การสร้าง หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองการตรวจพิสูจน์ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีความประสงค์ใช้หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนดังกล่าว

(4) จัดทำสรุปรายงานผลการดำเนินการตาม (1) ถึง (3) ตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด จัดส่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมทุก 6 เดือน ทั้งนี้ กรณีมีการดำเนินการตาม (1) ให้แนบสำเนาหนังสือรับรองแบบด้วย

(5) หากตรวจสอบพบว่า การออกแบบ การผลิต หรือการซ่อมแซม หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ออกแบบ หรือผู้ประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

(6) รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

**<u>คุณสมบัติ</u>**

(1) ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาต

(2) ไม่เป็นผู้ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมและยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

**<u>ส่วนที่ 5</u>** หน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

**<u>หน้าที่</u>**

(1) ตรวจพิสูจน์ความถูกต้องในการออกแบบสำหรับการผลิต หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนของวิศวกรผู้ออกแบบ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองแบบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยอย่างน้อยต้องมีการระบุมาตรฐานการออกแบบ วิศวกรผู้ออกแบบ อัตราการผลิตไอหรือค่าความร้อนที่ผลิตได้ ชนิดของเชื้อเพลิง รุ่น(Model) ในหนังสือรับรองแบบ ทั้งนี้ผู้ออกแบบและผู้ตรวจพิสูจน์แบบต้องไม่เป็นบุคคลเดียวกัน และไม่เป็นผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานเดียวกัน

(2) ตรวจสอบการสร้าง หรือซ่อมแซมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พร้อมจัดทำรายงานการตรวจสอบการสร้างส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดย

(ก) ตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิต การทดสอบรอยบกพร่องจากกระบวนการผลิตหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

(ข) ตรวจสอบสภาพโรงงานที่ผลิตหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนรวมทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

(ค) ตรวจสอบคุณสมบัติของบุคลากรให้เหมาะสมกับข้อกำหนดในงานที่ปฏิบัติ

(3) ตรวจพิสูจน์การคำนวณ การออกแบบ การสร้าง หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศ พร้อมจัดทำหนังสือรับรองการตรวจพิสูจน์ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีความประสงค์ใช้หม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนดังกล่าว

(4) ตรวจสอบแบบแปลนการติดตั้ง รวมถึงระบบท่อต่าง ๆ สำหรับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนใหม่ก่อนการติดตั้ง พร้อมจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

(5) ตรวจทดสอบความปลอดภัยภายหลังการติดตั้ง และตรวจทดสอบความปลอดภัยประจำปีของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย โดยถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุในภาคผนวก 3 พร้อมทั้งจัดทำรายงานผลการตรวจทดสอบตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด ส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

(6) สรุปรายงานผลการดำเนินการตาม (1) ถึง (3) ตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด จัดส่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมทุก 6 เดือน ทั้งนี้กรณีมีการดำเนินการตาม (1) ให้แนบสำเนาหนังสือรับรองแบบด้วย

(7) หากตรวจสอบพบว่า การออกแบบ การผลิต การซ่อมแซม หรือการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด หรือไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งผู้ออกแบบ หรือผู้ประกอบกิจการโรงงานทราบทันที

(8) รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในการปฏิบัติหน้าที่

**<u>คุณสมบัติ</u>**

(1) เป็นนิติบุคคลที่จดทะเบียนภายใต้กฎหมายไทย และมีทุนจดทะเบียนไม่น้อยกว่า 1 ล้านบาท

(2) มีสำนักงานที่แน่นอน สถานที่ปฏิบัติงานที่เหมาะสมและมีพื้นที่เพียงพอเพื่อใช้ในการเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบและตรวจสอบ

(3) มีวิศวกรเครื่องกลที่มีคุณสมบัติและคุณวุฒิดังนี้ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 คน

(ก) ได้รับอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร และไม่อยู่ระหว่างการพักใช้ใบอนุญาต

(ข) มีประสบการณ์ด้านงานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่า 3 ปี

(4) มีผู้ชำนาญการที่ผ่านการฝึกอบรมเกี่ยวกับการทดสอบแบบไม่ทำลาย ได้แก่ การทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง การทดสอบด้วยผงแม่เหล็ก การทดสอบด้วยสารแทรกซึม จากสถาบันที่เชื่อถือได้ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 คน

(5) มีเครื่องมือทดสอบและตรวจสอบดังนี้

(ก) ชุดเครื่องมือตรวจสอบแนวเชื่อมเหล็ก

(ข) เครื่องมือวัดความหนาโลหะ

(ค) เครื่องมือทดสอบลิ้นนิรภัย

(ง) เครื่องมือทดสอบเกจวัดความดัน

(จ) เครื่องอัดน้ำความดันสูง

(6) มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมประเภทนิติบุคคลจากสภาวิศวกร

(7) ไม่เป็นหน่วยงานที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมและยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

(8) เป็นหน่วยงานที่ผู้บริหารไม่เป็นบุคคลเดียวกับผู้บริหารของหน่วยงานที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม และยังไม่พ้นกำหนดระยะเวลา 3 ปีนับจากวันที่ถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

**ภาคผนวก 2**

**การจัดฝึกอบรม หลักสูตรการฝึกอบรมและการสอบมาตรฐาน**

**<u>ส่วนที่ 1</u>** การจัดฝึกอบรม

1. การจัดฝึกอบรมหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องดำเนินการโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือหน่วยงานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมาย หรือหน่วยงานจัดฝึกอบรมที่ขึ้นทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม
2. คุณสมบัติของหน่วยงานจัดฝึกอบรม

   หน่วยงานจัดฝึกอบรม ต้องเป็นมหาวิทยาลัย หรือหน่วยงานภาครัฐ หรือองค์กรเอกชน ที่จดทะเบียนภายใต้กฎหมายไทยที่มีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

   (1) มีประสบการณ์ในการจัดฝึกอบรมให้บุคคล หรือหน่วยงานภายนอกต่างๆ ไม่น้อยกว่า 1 ปี

   (2) มีวิทยากรที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามข้อ 3 ทั้งนี้ต้องมีจำนวนเพียงพอในการบรรยายตามหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

   (3) มีบุคลากรที่ทำหน้าที่บริหารจัดการการฝึกอบรม ซึ่งมีคุณวุฒิไม่ต่ำกว่าปริญญาตรีอย่างน้อย 1 คน

   (4) ไม่ใช่หน่วยงานที่ถูกเวียนชื่อเป็นผู้ละทิ้งงาน

   (5) ไม่มีปัญหาด้านการเงิน

   (6) ไม่เป็นหน่วยงานที่ถูกเพิกถอนสิทธิหรือใบรับรองการจัดฝึกอบรม
3. คุณสมบัติของวิทยากร

   (1) ต้องจบปริญญาตรีขึ้นไปในด้านวิศวกรรมศาสตร์หรือวิทยาศาสตร์ที่มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและมีประสบการณ์ในหัวข้อที่บรรยายไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือ

   (2) ต้องจบประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์ ช่างกลโรงงาน ช่างเทคนิคอุตสาหกรรม หรือช่างไฟฟ้าโดยมีประสบการณ์เกี่ยวกับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและหัวข้อที่บรรยายไม่น้อยกว่า 5 ปี หรือ

   (3) ช่างชำนาญการโดยมีประสบการณ์เกี่ยวกับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและหัวข้อที่บรรยายไม่น้อยกว่า 10 ปี หรือ

   (4) เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานของรัฐซึ่งปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและมีประสบการณ์ในหัวข้อที่บรรยายไม่น้อยกว่า 3 ปี
4. การยื่นคำขอเป็นหน่วยงานจัดฝึกอบรมให้ยื่นต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยหลักฐานดังต่อไปนี้

(1) หลักฐานการจดทะเบียนนิติบุคคล

(2) รายชื่อกรรมการบริหาร

(3) รายชื่อบุคลากรที่ทำหน้าที่บริหารจัดการการฝึกอบรม พร้อมเอกสารหลักฐานแสดงคุณสมบัติ

(4) รายชื่อวิทยากร เอกสารหลักฐานแสดงคุณสมบัติของวิทยากรและหนังสือยืนยันการเป็นวิทยากรให้กับหน่วยงาน

(5) เอกสารประกอบการฝึกอบรมที่มีเนื้อหาวิชาตรงกับหัวข้อและวัตถุประสงค์ในหลักสูตรผู้ควบคุมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

(6) แผนการดำเนินการและเป้าหมายการจัดอบรมประจำปี โดยระบุสถานที่จัดฝึกอบรม

(7) อัตราค่าลงทะเบียน

(8) แผนที่หรือเอกสารแสดงที่ตั้งของหน่วยงานโดยสังเขป

(9) อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

5. หน่วยงานจัดฝึกอบรมต้องแจ้งแผนการดำเนินการประจำปี ภายในวันที่ 31 มกราคม ของทุกปี
6. หน่วยงานจัดฝึกอบรมต้องแจ้งกำหนดการจัดฝึกอบรม พร้อมแนบรายชื่อวิทยากรต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ทุกครั้งไม่น้อยกว่า 15 วันทำการก่อนการจัดฝึกอบรม
7. หน่วยงานจัดฝึกอบรม ต้องจัดให้มีผู้เข้ารับการฝึกอบรมในหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ครั้งละไม่เกิน 70 คน และจัดให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีการลงชื่อเข้าอบรมทั้งภาคเช้าและบ่ายตลอดหลักสูตรการฝึกอบรม
8. ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ของกรมโรงงานอุตสาหกรรมมีอำนาจเข้าไปในสถานที่จัดฝึกอบรมของหน่วยงานจัดฝึกอบรม เพื่อประโยชน์ในการควบคุมและกำกับดูแลการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด
9. หน่วยงานจัดฝึกอบรม ต้องจัดให้มีการฝึกอบรมตามหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนตามที่กำหนดในส่วนที่ 2
10. หน่วยงานจัดฝึกอบรมต้องออกใบรับรองให้ผู้เข้ารับการอบรมที่ผ่านการสอบมาตรฐานหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยให้ระบุชื่อหน่วยงานจัดฝึกอบรม เลขทะเบียนหน่วยงานจัดฝึกอบรม ชื่อหลักสูตร ชื่อสกุลผู้ผ่านการอบรม วันเดือนปีที่อบรม ลงในใบรับรอง
11. หน่วยงานฝึกอบรม ต้องรายงานสรุปผลการฝึกอบรมพร้อมแนบรายชื่อ และข้อมูลผู้สำเร็จการฝึกอบรมต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทราบภายใน 15 วัน นับแต่วันที่เสร็จสิ้นการฝึกอบรม
12. การขึ้นทะเบียนเป็นหน่วยงานจัดฝึกอบรมผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน มีผลใช้บังคับ 3 ปีนับตั้งแต่วันที่ขึ้นทะเบียน หากหน่วยงานจัดฝึกอบรมมีความประสงค์จะดำเนินการต่อไป ให้ยื่นคำขอต่ออายุทะเบียนต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนวันที่หมดอายุไม่น้อยกว่า 30 วัน

13. กรณีที่ตรวจสอบพบว่า หน่วยงานจัดฝึกอบรมฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามกฎหมายนี้ ให้อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายมีอำนาจสั่งการดังต่อไปนี้
    (1) มีหนังสือเตือนให้ปฏิบัติให้ถูกต้องภายในระยะเวลาที่กำหนด
    (2) เพิกถอนสิทธิการจัดฝึกอบรมเป็นการชั่วคราว
    (3) เพิกถอนใบรับรองการเป็นหน่วยงานจัดฝึกอบรม

**<u>ส่วนที่ 2</u>** หลักสูตรการฝึกอบรมผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

1. หลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน มีระยะเวลาการฝึกอบรมจำนวน 36 ชั่วโมง ประกอบด้วยภาคทฤษฎี 30 ชั่วโมง การดูงานภาคสนาม 3 ชั่วโมง และการสอบมาตรฐาน 3 ชั่วโมง
2. หัวข้อ ระยะเวลาในการฝึกอบรมและวัตถุประสงค์ ของหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ให้เป็นไปตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมประกาศกำหนด

**<u>ส่วนที่ 3</u>** การสอบมาตรฐาน

1. การสอบมาตรฐานหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องดำเนินการโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือหน่วยงานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมาย
2. ผู้เข้าสอบมาตรฐานต้องเป็นผู้ที่เข้าอบรมหลักสูตรผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของเวลาเรียนตามหลักสูตรทั้งหมด
3. ผู้เข้าสอบมาตรฐาน ต้องได้คะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 จึงจะถือว่าผ่านการสอบมาตรฐาน

**ภาคผนวก 3**

**หลักเกณฑ์ และวิธีการตรวจทดสอบหม้อน้ำ**
**และหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน**

---

**<u>ส่วนที่ 1</u>** การเตรียมการก่อนการตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

1. ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องจัดเตรียมหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ก่อนการตรวจทดสอบหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและบุคลากร ดังนี้
   1.1 หยุดการใช้หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ล่วงหน้าก่อนการตรวจทดสอบ โดยการหยุดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (ปิด Burner กรณีหม้อน้ำใช้เชื้อเพลิงเหลว หากใช้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น ฟืน ขี้เลื่อย แกลบ ถ่านหิน ฯลฯ ให้นำเชื้อเพลิงพร้อมขี้เถ้าออกจากเตาให้หมด
   1.2 ระบายไอน้ำออกจากหม้อน้ำให้หมด และลดอุณหภูมิภายในหม้อน้ำหรือ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนให้มีอุณหภูมิไม่เกิน 49$^{0}$C ทั้งนี้ การลดอุณหภูมิหม้อน้ำไม่ควรถ่ายน้ำร้อนทั้งหมดทิ้งแล้วเติมน้ำเย็นทันที
   1.3 เปิดประตูเตาหรือฝาด้านหน้า-หลัง หรือช่องเปิดต่าง ๆ ของหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อให้เห็นผิวด้านสัมผัสไฟและทำความสะอาดผิวด้านสัมผัสไฟทั้งหมด ให้ปราศจากเขม่าขี้เถ้า
   1.4 ระบายน้ำออกจากหม้อน้ำให้หมด เปิดช่องคนลอด ช่องมือลอด ช่องทำความสะอาดและทำความสะอาดภายในหม้อน้ำ
   1.5 จัดเตรียมปะเก็นของส่วนต่าง ๆ เช่น ช่องคนลอด ช่องมือลอด ฝาหน้า-หลัง และหน้าแปลนต่าง ๆ เพื่อสำหรับเปลี่ยนใหม่ภายหลังจากการเปิดตรวจทดสอบหรือทำความสะอาด
   1.6 จัดให้ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และผู้ที่เกี่ยวข้องอยู่อำนวยความสะดวกหรือให้ข้อมูลแก่วิศวกร และรับทราบคำแนะนำจากวิศวกรในวันตรวจทดสอบ
   1.7 กรณีที่มีการใช้หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป โดยมีระบบท่อร่วมกันให้ตัดแยกระบบท่อไอน้ำของหม้อน้ำ หรือท่อน้ำมันของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ที่กำลังใช้งานออกจากระบบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่จะตรวจทดสอบ
   1.8 จัดเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น บันทึกประจำวันการใช้งานหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ประวัติการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษา รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเข้าหม้อน้ำ รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน หรือเอกสารที่จำเป็นเพื่อประกอบการตรวจทดสอบ
   1.9 ถอดชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการตรวจทดสอบตามคำร้องขอของผู้ตรวจทดสอบ

2. ผู้ตรวจทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน จะต้องทบทวนประวัติหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อประกอบการพิจารณาตรวจทดสอบ การสืบค้นปัญหาและการวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยให้พิจารณาจากข้อมูลตามข้อ 1.8
3. ผู้ประกอบกิจการโรงงานและวิศวกรผู้ตรวจทดสอบจะต้องคำนึงถึงอันตรายต่าง ๆ และดำเนินการให้เกิดความปลอดภัยส่วนบุคคลในขณะตรวจสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ในเรื่องดังต่อไปนี้
   3.1 ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้เพียงพอต่อการใช้งาน และต้องระมัดระวังอันตรายต่าง ๆ ในบริเวณทำงาน และอันตรายที่อาจเกิดจากการตรวจทดสอบ
   3.2 ต้องจัดให้มีการป้องกันการเริ่มทำงานของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยการตัดแยกระบบพลังงานเพื่อป้องกันอันตรายจากการจ่ายพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานอื่น ๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ตรวจทดสอบในระหว่างการตรวจทดสอบ
   3.3 ต้องจัดให้มีการระบายอากาศภายในห้องเผาไหม้หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือบริเวณที่อับอากาศ (Confined Space) อย่างเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ตรวจทดสอบ

**<u>ส่วนที่ 2</u>** การตรวจสอบสภาพภายนอก (External Inspection)

ผู้ตรวจทดสอบต้องดำเนินการดังนี้

1. ตรวจดูสภาพการติดตั้งหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และระบบท่อ ความถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ความเหมาะสมของพื้นที่ติดตั้ง
2. ตรวจสอบสภาพภายนอก หากพบสิ่งผิดปกติให้ถอดฉนวนออกบางส่วนเพื่อตรวจสภาพเปลือกหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือโครงสร้างภายในฉนวน
3. ตรวจสอบสภาพการรั่วซึมของส่วนต่าง ๆ ของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน
4. ตรวจสอบสภาพรอยร้าวในส่วนต่าง ๆ ของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน
5. ตรวจสอบจำนวน ขนาด การติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัย เพื่อให้มีความสมบูรณ์ตามหลักวิศวกรรมและถูกต้องตามที่กฎหมายกำหนด

**<u>ส่วนที่ 3</u>** การตรวจสอบสภาพภายใน (Internal Inspection)

ผู้ตรวจทดสอบต้องดำเนินการดังนี้

1. ตรวจสอบสภาพผิวด้านสัมผัสไฟ และด้านสัมผัสน้ำ เช่น ผนังเตา ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) ท่อไฟใหญ่ ท่อไฟเล็ก (Smoke Tube) ผนังหน้า-หลัง (End Plate) ท่อน้ำ (Water Tube) ท่อของเหลว อุปกรณ์อุ่นน้ำ(Economizer) อุปกรณ์อุ่นอากาศ (Air Pre-heater) ของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยให้ตรวจสอบดังต่อไปนี้

1.1 ตรวจสอบการบิดเบี้ยว การยุบตัวหรือการเสียรูป การแตกร้าวของรอยเชื่อม การรั่วซึม และต้องตรวจสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว ความหนา เพื่อประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดัน

1.2 ตรวจสอบการบิดเบี้ยว การเสียรูปหรือความผิดปกติเนื่องจากความร้อน(Overheat)

1.3 ตรวจสอบสภาพการผุกร่อน การกัดกร่อนของผิวด้านสัมผัสน้ำ และด้านสัมผัสไฟ

1.4 สำหรับหม้อน้ำ ตรวจสอบสภาพของตะกรันและการสะสมของโคลนตะกอน โดยความหนาของตะกรันที่ตรวจพบต้องไม่มากกว่า 1/16 นิ้ว (1.5 มิลลิเมตร)

1.5 ตรวจสอบสภาพปูนทนไฟ อิฐทนไฟ หรือฉนวนกันความร้อน

1.6 ตรวจสอบความหนาและความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดัน และสภาพรอยเชื่อมต่าง ๆ โดยวิธีการและเครื่องมือตรวจสอบให้อยู่ในดุลยพินิจของผู้ตรวจสอบ

1.7 ตรวจสอบสภาพเหล็กยึดโยงต่างๆ

1.8 ตรวจสอบการอุดตันของท่อทางเข้าและออกต่างๆ

2. ตรวจทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดันของหม้อน้ำ ด้วยการอัดน้ำ (Hydrostatic Test) โดยน้ำที่ใช้อัดทดสอบหม้อน้ำต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 49$^{0}$C ในการตรวจทดสอบให้ดำเนินการดังนี้

2.1 กรณีหม้อน้ำ สร้างใหม่ หรือมีการดัดแปลง ซ่อมแซม หรือเปลี่ยนโครงสร้างรับความดัน ให้วิศวกรผู้ตรวจทดสอบทำการอัดน้ำที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure หรือ MAWP) และคงความดันไว้ไม่น้อยกว่า 10 นาที จากนั้นให้ลดความดันลงเหลือเท่ากับ 1 เท่า หรือไม่เกิน 1.25 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP) แล้วตรวจสอบการรั่วซึมในส่วนต่างๆ

2.2 กรณีการตรวจทดสอบความดันด้วยการอัดน้ำประจำปี (Annual Hydrostatic Test) ให้วิศวกรผู้ตรวจทดสอบทำการอัดน้ำที่ความดันไม่ต่ำกว่า 1 เท่า หรือไม่เกิน 1.25 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP) และต้องมีการตรวจสอบการรั่วซึม โดยในการนี้ให้คงความดันไว้จนกว่าการตรวจสอบการรั่วซึมจะแล้วเสร็จ

2.3 ในการดำเนินการตามข้อ 2.1 หรือข้อ 2.2 หากไม่ทราบข้อมูลความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP) ให้วิศวกรอัดน้ำทดสอบที่ความดันไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันใช้งานสูงสุด (Maximum Working Pressure หรือ MWP) และคงความดันไว้ไม่น้อยกว่า 30 นาที เพื่อตรวจสอบการรั่วซึมในส่วนต่าง ๆ

2.4 ปรับตั้งการทำงานลิ้นนิรภัย (Safety Valve) ของหม้อน้ำให้ระบายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 1.03 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (MAWP)

**<u>ส่วนที่ 4</u>** การตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบการควบคุมและอุปกรณ์ความปลอดภัย (Functional Test)

ผู้ตรวจทดสอบจะต้องตรวจสอบสภาพ ความเหมาะสม ความครบถ้วน ความถูกต้องในการทำงานของอุปกรณ์ส่วนควบ อุปกรณ์ ระบบความปลอดภัยตามที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

**<u>ส่วนที่ 5</u>** การดำเนินการภายหลังการตรวจสอบ และความรับผิดชอบของผู้ตรวจสอบ

1. ผู้ตรวจทดสอบต้องจัดให้มีการถ่ายภาพที่แสดงถึงการตรวจทดสอบภายใน และหรือภายนอกหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนซึ่งกระทำโดยผู้ตรวจทดสอบ โดยให้แนบภาพถ่ายท้ายรายงานผลการตรวจทดสอบ
2. ผู้ตรวจทดสอบ ต้องจัดทำเอกสารรายงานผลการตรวจทดสอบความปลอดภัยหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน แล้วจัดส่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานพร้อมกับสำเนาใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม และสำเนาหนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจทดสอบหรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยรับรองสำเนาถูกต้อง
3. กรณีพบว่าโครงสร้าง ส่วนประกอบหรือระบบการทำงานของหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดมีข้อบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์เชิงวิศวกรรม วิศวกรตรวจทดสอบ หรือหน่วยรับรองวิศวกรรมด้านหม้อน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องบันทึกข้อบกพร่อง หรือความไม่สมบูรณ์พร้อมคำแนะนำวิธีการแก้ไขข้อบกพร่องและความไม่สมบูรณ์นั้นให้แก่ผู้ประกอบกิจการโรงงาน

**ภาคผนวก ก-3**

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับ หม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ.2549

# ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

พ.ศ. ๒๕๔๙

---

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๕ แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๙ ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ตามประกาศนี้ อุปกรณ์หรือระบบความปลอดภัยและการติดตั้ง ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานหม้อน้ำ มาตรฐานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนหรือมาตรฐานความปลอดภัยที่เกี่ยวข้อง ในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานใดกำหนดให้ใช้อุปกรณ์หรือระบบความปลอดภัยและการติดตั้งตามหลักวิศวกรรมในกรณีที่อุปกรณ์ หรือระบบความปลอดภัย หรือการติดตั้งไม่เป็นไปตามประกาศนี้ ต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## หมวด ๑
## อุปกรณ์ และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ

---

ข้อ ๒ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการติดตั้งหรือใช้หม้อน้ำ ต้องจัดให้มีอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ ดังนี้

๒.๑ เครื่องสูบน้ำป้อนหม้อน้ำ

๒.๑.๑ ต้องสามารถสูบน้ำป้อนหม้อน้ำที่ปริมาณไม่น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุด

๒.๑.๒ ต้องสามารถสูบน้ำป้อนหม้อน้ำที่ความดันไม่น้อยกว่า ๑.๑ เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (Maximum Allowable Working Pressure : MAWP)

๒.๒ ลิ้นนิรภัย

๒.๒.๑ ต้องติดตั้งอย่างน้อย ๑ ชุด และในกรณีที่หม้อน้ำมีพื้นที่ผิวรับความร้อนมากกว่า ๕๐ ตารางเมตร ต้องติดตั้งอย่างน้อย ๒ ชุด

๒.๒.๒ ต้องสามารถระบายไอน้ำที่ความดันออกแบบหม้อน้ำได้ไม่น้อยกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุดและต้องระบายไอน้ำได้มากกว่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงสูงสุด (Maximum Firing Rate)

๒.๒.๓ ต้องสามารถทดสอบการทำงานได้ในขณะใช้งาน

๒.๒.๔ ต้องไม่มีลิ้นปิดเปิดคั่นระหว่างหม้อน้ำกับลิ้นนิรภัยและต้องไม่มีลิ้นปิดเปิด หรือปลั๊กอุดที่ท่อทางออกของลิ้นนิรภัย

๒.๒.๕ ต้องปรับตั้งลิ้นนิรภัยให้ระบายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน ๑.๐๓ เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุดของหม้อน้ำ (MAWP)

๒.๒.๖ การต่อท่อระบายไอน้ำออกจากลิ้นนิรภัย ต้องมีขนาดและวิธีการติดตั้งที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

๒.๒.๗ ต้องจัดให้มีการป้องกันอันตรายหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ เนื่องจากความดัน ความร้อนและเสียงซึ่งเกิดจากการระบายไอน้ำของลิ้นนิรภัย

๒.๓ อุปกรณ์แสดงระดับน้ำ เช่น หลอดแก้ว แท่งแก้ว แถบแม่เหล็ก เป็นต้น

๒.๓.๑ ต้องติดตั้งอย่างน้อย ๑ ชุด

๒.๓.๒ ต้องติดตั้งครอบป้องกันอันตราย ในกรณีอุปกรณ์แสดงระดับน้ำเป็นแบบหลอดแก้วและหลอดแก้วต้องเป็นชนิดนิรภัย

๒.๓.๓ ต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับน้ำต่ำสุด ระดับน้ำปกติและระดับน้ำสูงสุดให้เห็นชัดเจน

๒.๓.๔ ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิด ที่ท่อระหว่างหม้อน้ำกับอุปกรณ์แสดงระดับน้ำ โดยขนาดของท่อและลิ้นปิดเปิดต้องไม่น้อยกว่า ๑๕ มิลลิเมตร

๒.๓.๕ ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิดและต่อท่อระบายใต้อุปกรณ์แสดงระดับน้ำไปยังที่ที่ปลอดภัยและสามารถมองเห็นน้ำหรือไอน้ำที่ระบายออก

๒.๔ ลิ้นกันกลับ (Check Valve หรือ Non Return Valve)

๒.๔.๑ ต้องติดตั้งที่ท่อป้อนน้ำระหว่างเครื่องสูบน้ำกับหม้อน้ำ อย่างน้อย ๑ ชุด โดยให้อยู่ใกล้หม้อน้ำมากที่สุด และมีขนาดไม่เล็กกว่าท่อป้อนน้ำ

ในกรณีที่หม้อน้ำมีการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นน้ำ (Economizer)ให้ติดตั้งลิ้นกันกลับระหว่างเครื่องสูบน้ำและอุปกรณ์อุ่นน้ำ

๒.๔.๒ ในกรณีที่หม้อน้ำใช้เครื่องสูบน้ำ ๒ เครื่องต่อท่อป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับเพิ่มอีก ๑ ชุด ที่ท่อส่งน้ำของเครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่อง

๒.๔.๓ ในกรณีที่หม้อน้ำ ๒ เครื่องต่อท่อจ่ายไอน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อจ่ายไอน้ำของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง

๒.๕ มาตรวัดความดันไอน้ำ (Pressure Indicator หรือ Pressure Gauge)

๒.๕.๑ ต้องติดตั้งอย่างน้อย ๑ ชุด

๒.๕.๒ ต้องติดตั้งท่อไส้ไก่ (Siphon) หรือท่อรูปตัวยู (U-Shape) ระหว่างหม้อน้ำและมาตรวัดความดันไอน้ำ

๒.๖ ลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ (Blow down Valve)

๒.๖.๑ ต้องติดตั้งอย่างน้อย ๑ ชุด

๒.๖.๒ ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า ๒๐ มิลลิเมตร และไม่มากกว่า ๖๕ มิลลิเมตร

๒.๖.๓ ต้องติดตั้งบริเวณจุดต่ำสุดของหม้อน้ำ และอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกต่อการใช้งาน

๒.๖.๔ ต้องจัดให้มีการป้องกันอันตรายหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ เนื่องจากความดัน ความร้อนและเสียง ซึ่งเกิดจากการระบายน้ำร้อนออกจากลิ้นระบายใต้หม้อน้ำ

๒.๗ ฉนวนกันความร้อน

๒.๗.๑ ต้องหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ตัวหม้อน้ำ ลิ้นจ่ายไอน้ำ (Main Steam Valve) ท่อจ่ายไอน้ำ ถังพักไอน้ำ ผนังห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง (ในกรณีห้องเผาไหม้อยู่นอกหม้อน้ำ) รวมทั้งถังเก็บน้ำร้อน ปล่องไอเสียและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำ ซึ่งมีอุณหภูมิผิวตั้งแต่ ๘๕ องศาเซลเซียสขึ้นไป และติดตั้งอยู่ในระดับความสูงหรือบริเวณที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้อยู่ใกล้เคียง

๒.๗.๒ ผิวฉนวนกันความร้อน ต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน ๖๐ องศาเซลเซียสในขณะใช้หม้อน้ำ

๒.๘ ลิ้นจ่ายไอน้ำ

๒.๘.๑ ต้องเป็นชนิดปิดเปิดช้า เช่น โกล์บวาล์ว (Globe Valve)

๒.๘.๒ ต้องติดตั้งที่ด้านบนของตัวหม้อน้ำ ถังพักไอน้ำ (Steam Header) โดยติดตั้งให้ใกล้กับโครงสร้างรับความดันมากที่สุด

๒.๙ เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ

๒.๙.๑ ต้องติดตั้งอย่างน้อย ๑ ชุด

๒.๙.๒ ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงานอย่างน้อย ดังนี้

(๑) ต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย เมื่อระดับน้ำต่ำผิดปกติ (Low Water Alarm) โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง

สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากเครื่องควบคุมระดับน้ำ โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

(๒) ต้องตัดวงจรพัดลมช่วยเผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤต (Low Water Cut-off) ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งใช้พัดลมช่วยเผาไหม้และป้อนเชื้อเพลิงแบบควบคุมด้วยคน

(๓) ต้องตัดวงจรการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤตในกรณีที่ใช้เครื่องพ่นไฟ (Burner) หรืออุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบป้อนเชื้อเพลิงและอากาศอัตโนมัติ

๒.๑๐ สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure Switch)

๒.๑๐.๑ ต้องติดตั้งอย่างน้อย ๑ ชุด โดยไม่มีลิ้นปิดเปิดคั่นระหว่างหม้อน้ำกับสวิตช์ควบคุมความดัน

๒.๑๐.๒ ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงานอย่างน้อย ดังนี้

(๑) ต้องตัดวงจรการทำงานทั้งหมดของเครื่องพ่นไฟ หรืออุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแบบป้อนเชื้อเพลิงและป้อนอากาศ (Force Draft Fan) อัตโนมัติ เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงจุดวิกฤต (High Pressure Cut off)

ในกรณีนี้เมื่อความดันไอน้ำต่ำลงถึงจุดที่ตั้งไว้ สวิตช์ควบคุมความดันต้องไม่สามารถต่อวงจรให้อุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงทำงานใหม่แบบอัตโนมัติ

(๒) ต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย เมื่อความดันไอน้ำสูงถึงจุดวิกฤต โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง

สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากสวิตช์ควบคุมความดันโดยตรงและต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

๒.๑๑ อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (Flame Detector) สำหรับเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ

๒.๑๑.๑ ต้องเป็นชนิดที่สามารถตรวจจับรังสีความร้อนหรือคลื่นแสงหรืออุณหภูมิของห้องเผาไหม้ ตรงตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อน้ำ

๒.๑๑.๒ ต้องติดตั้งที่เครื่องพ่นไฟหรือห้องเผาไหม้และให้ทำหน้าที่ตัดวงจรการทำงานของเครื่องพ่นไฟ ในกรณี ดังนี้

(๑) เมื่อตรวจพบเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ในขณะวงจรไล่อากาศอัตโนมัติของเครื่องพ่นไฟกำลังทำงาน (Pre Purge)

(๒) เมื่อตรวจไม่พบเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ในขณะที่วงจรไล่อากาศอัตโนมัติทำงานสิ้นสุดลง และวงจรป้อนเชื้อเพลิงกำลังทำงานแต่จุดไฟไม่ติด หรือจุดไฟติดแล้วแต่เปลวไฟดับไป

๒.๑๒ มาตรวัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย

ต้องติดตั้งที่ปล่องไอเสียบริเวณใกล้ทางออกของหม้อน้ำมากที่สุด อย่างน้อย ๑ ชุด

๒.๑๓ อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิปล่องไอเสีย (Flue Gas Thermostat)

๒.๑๓.๑ ต้องติดตั้งที่ปล่องไอเสียบริเวณใกล้ทางออกของหม้อน้ำมากที่สุด อย่างน้อย ๑ ชุด

๒.๑๓.๒ ต้องติดตั้งให้มีหน้าที่การทำงาน เมื่ออุณหภูมิปล่องไอเสีย สูงเกินอุณหภูมิที่กำหนดโดยต้องต่อวงจรการทำงานของสัญญาณเตือนภัย โดยสัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง

สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติจากสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิโดยตรง โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

๒.๑๔ บันไดและทางเดินสำหรับหม้อน้ำ

หม้อน้ำที่สูงเกิน ๓ เมตรจากพื้นถึงเปลือกด้านบน ต้องติดตั้งบันไดและทางเดินพร้อมราวจับและขอบกันตก

## หมวด ๒
## อุปกรณ์และระบบความปลอดภัย
## สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

ข้อ ๓ ในหมวดนี้

"ของเหลว" หมายถึง ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อนำความร้อน (Heat Transfer Medium หรือ Thermal Fluid หรือ Thermo Fluid หรือ Thermic Fluid หรือ Thermal Oil หรือ Thermo Oil หรือ Hot Oil) เช่น น้ำมันจากปิโตรเลียม (Mineral Oil) ของเหลวกึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetic Fluid) ของเหลวสังเคราะห์ (Synthetic Fluid) หรือของเหลวอื่น ๆ ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำและจุดเดือดสูงกว่าน้ำ โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน

ข้อ ๔ ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการติดตั้งหรือใช้หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนต้องจัดให้มีอุปกรณ์และระบบความปลอดภัยอย่างน้อย ดังนี้

๔.๑ ถังรับการขยายตัว (Expansion Tank)

๔.๑.๑ ปริมาณความจุของถัง

กรณีของเหลวในระบบทั้งหมด น้อยกว่า ๑๐๐๐ ลิตร ถังต้องรองรับปริมาณของเหลวที่ขยายตัวได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ ๕๐ ของปริมาณของเหลวในระบบทั้งหมด

กรณีของเหลวในระบบทั้งหมด ตั้งแต่ ๑๐๐๐ ลิตรขึ้นไป ถังต้องรองรับปริมาณของเหลวที่ขยายตัวได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ ๓๐ ของปริมาณของเหลวในระบบทั้งหมด

๔.๑.๒ ต้องติดตั้งถังในตำแหน่งที่สูงกว่าท่อหรืออุปกรณ์ที่มีของเหลวและอยู่สูงสุดในระบบ ไม่น้อยกว่า ๑.๕ เมตร ยกเว้นระบบที่ใช้ก๊าซเฉื่อยเพิ่มความดันหน้าเครื่องสูบของเหลว

๔.๑.๓ ต้องติดตั้งเครื่องควบคุมระดับของเหลวในถังรับการขยายตัว และให้ส่งสัญญาณเตือนภัย เป็นแสงหรือเสียง เมื่อระดับของเหลวต่ำกว่าปกติ

๔.๑.๔ กรณีที่มีของเหลวในระบบตั้งแต่ ๑๐๐๐ ลิตรขึ้นไป ต้องจัดให้มีท่อระบายของเหลวไหลล้น (Overflow Pipes) จากถังรับการขยายตัวลงสู่ถังเก็บของเหลว

๔.๑.๕ ต้องติดตั้งท่อสำหรับของเหลวขยายตัว(Expansion Pipe) ระหว่างจุดต่ำสุดของถังรับการขยายตัว กับ ท่อทางดูดของเครื่องสูบของเหลวหมุนเวียน

๔.๒ ถังเก็บของเหลว (Storage Tank หรือ Drain Tank)

๔.๒.๑ ต้องติดตั้งถังเก็บของเหลวในกรณีที่มีของเหลวในระบบตั้งแต่ ๑๐๐๐ ลิตรขึ้นไป

๔.๒.๒ ต้องติดตั้งเครื่องสูบของเหลว สำหรับเติมของเหลวเข้าสู่ระบบหรือถ่ายของเหลวออกจากระบบสู่ถังเก็บ โดยใช้สวิตช์ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบของเหลวแบบปิดเปิดด้วยมือ

ห้ามเติมของเหลวเข้าสู่ระบบ ในขณะที่ของเหลวในระบบมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าจุดเดือดของน้ำ

๔.๓ เครื่องสูบของเหลวหมุนเวียน (Circulating Pump)

๔.๓.๑ ต้องติดตั้งลิ้นปิดเปิดที่ท่อทางเข้าและออกของเครื่องสูบของเหลว

๔.๓.๒ ต้องมีอัตราการไหลและความดันเพียงพอต่อการหมุนเวียนของเหลวผ่านท่อรับความร้อน โดยไม่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของของเหลว (Film Temperature) สูงเกินค่าที่ยอมได้

๔.๓.๓ ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง ต้องติดตั้งเครื่องสูบของเหลวที่ใช้กำลังจากเครื่องยนต์ อย่างน้อย ๑ ชุด และต้องสามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ทันทีเมื่อไฟฟ้าดับหรือต้องจัดให้มีระบบไฟฟ้าสำรอง สำหรับป้อนมอเตอร์เครื่องสูบของเหลวหมุนเวียน พร้อมทั้งจัดให้มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับควบคุมอุณหภูมิที่ผิวของของเหลวไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิที่ของเหลวนั้นสามารถรองรับได้

๔.๓.๔ กรณีที่เครื่องสูบของเหลวไม่ทำงาน ต้องตัดระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยอัตโนมัติ

๔.๔ ไส้กรอง (Strainer)

ต้องติดตั้งไส้กรองที่ท่อทางดูดของเครื่องสูบของเหลว โดยมีขนาดไม่เล็กกว่าท่อของเหลว

๔.๕ อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Sensor) เครื่องอ่านค่าและควบคุมอุณหภูมิของเหลว (Temperature Indicator and Controller)

๔.๕.๑ ต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ ที่ท่อทางเข้าของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ท่อทางออกของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและที่ปล่องไอเสีย

๔.๕.๒ ต้องติดตั้งให้ตัดระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและส่งสัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติ เมื่ออุณหภูมิของของเหลวที่ท่อทางออกของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนสูงถึงจุดที่กำหนด

สัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัย ต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติ โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

๔.๕.๓ ต้องทำหน้าที่ส่งสัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิปล่องไอเสียสูงผิดปกติ

สัญญาณเตือนภัยให้แสดงเป็นแสงและเสียง สำหรับวงจรแสงเตือนภัยต้องติดตั้งให้ทำงานด้วยสวิตช์ตัดต่อแบบอัตโนมัติ โดยต้องไม่มีสวิตช์ตัดต่อการทำงานแบบปิดเปิดด้วยมือ

๔.๖ มาตรวัดความดันของเหลว

๔.๖.๑ ต้องติดตั้งที่ท่อทางเข้าและท่อทางออกของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน โดยมาตรวัดความดันต้องอ่านค่าได้อย่างน้อย ๑.๕ เท่าของความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด

๔.๖.๒ ต้องติดตั้งที่ท่อทางดูด ระหว่างเครื่องสูบของเหลวหมุนเวียนกับไส้กรองโดยมาตรวัดความดัน ต้องอ่านค่าได้ทั้งค่าความดันและค่าสุญญากาศ

๔.๗ ลิ้นนิรภัย

๔.๗.๑ ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องสูบของเหลวที่ท่อทางเข้าของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องติดตั้งลิ้นนิรภัย (Safety Relief Valve) ที่ท่อทางออกของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และท่อทางออกของลิ้นนิรภัยให้ต่อเข้าสู่ถังรับการขยายตัวหรือถังเก็บของเหลว รวมทั้งต้องไม่มีลิ้นปิดเปิดที่ท่อทางเข้าและออกของลิ้นนิรภัย

๔.๗.๒ การติดตั้งลิ้นนิรภัยตามข้อ ๔.๗.๑ ต้องอยู่ในระดับที่สูงกว่าถังรับการขยายตัวหรือถังเก็บของเหลว

๔.๘ เครื่องวัดการไหลของของเหลว

๔.๘.๑ ต้องติดตั้งที่ท่อทางออกของท่อรับความร้อนทุกท่อของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

๔.๘.๒ ต้องส่งสัญญาณให้ตัดระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงและส่งสัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติ เมื่อการไหลของของเหลวของท่อรับความร้อนท่อใดท่อหนึ่งต่ำถึงจุดวิกฤต

๔.๘.๓ ในกรณีที่ของเหลวในระบบมีอัตราการไหลต่ำกว่าร้อยละ ๕๐ ของอัตราการไหลออกแบบ ต้องส่งสัญญาณให้เครื่องควบคุมการทำงานของระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงทำงานที่ตำแหน่งไฟอ่อนเท่านั้น

๔.๙ ฉนวนกันความร้อน

๔.๙.๑ ต้องจัดให้มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ตัวหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ท่อส่งของเหลว อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอุณหภูมิเกินกว่า ๘๕ องศาเซลเซียส

๔.๙.๒ อุณหภูมิของผิวฉนวนต้องไม่สูงกว่า ๖๐ องศาเซลเซียส ในขณะใช้งานหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน

๔.๑๐ อุปกรณ์ไล่ก๊าซ (Air Venting)

ต้องติดตั้งที่ระบบท่อ ในบริเวณที่มีก๊าซสะสม

๔.๑๑ บันไดและทางเดิน

ต้องติดตั้งบันไดและทางเดินพร้อมราวจับและขอบกันตก สำหรับหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน หรือถังรับการขยายตัวที่สูงเกิน ๓ เมตร

ทั้งนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดสามร้อยหกสิบห้าวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๙
โฆสิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

**ภาคผนวก ก-4**

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549

# ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

## เรื่อง คุณสมบัติของน้ำสำหรับหม้อน้ำ

## พ.ศ. ๒๕๔๙

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๘ แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๙ ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีการใช้งานหม้อน้ำต้องปรับสภาพน้ำสำหรับหม้อน้ำ ดังนี้

๑. คุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำ (Boiler feed water) ให้เป็นไปตามเกณฑ์ ดังนี้

| รายการ | ค่าเกณฑ์ควบคุม | หน่วย |
|---|---|---|
| pH value | 5.8 - 9.5 | - |
| Total Hardness | ไม่เกิน 10 | ppm as $CaCO_3$ |

๒. คุณภาพน้ำในหม้อน้ำ (Boiler water) ให้เป็นไปตามเกณฑ์ดังนี้

| รายการ | ค่าเกณฑ์ควบคุม | หน่วย |
|---|---|---|
| pH value | 8.5 - 11.8 | - |
| Total Dissolved Solid (TDS) | ไม่เกิน 3,500 | ppm |

ทั้งนี้ ให้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันถัดจากวันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๙
โฆสิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

**ภาคผนวก ก-5**

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกนอกโรงงาน พ.ศ. 2548

# ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน

พ.ศ. ๒๕๔๙

---

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๑๖ แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๘ ลงวันที่ ๔ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๔๘

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

“อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน” หมายความว่า อากาศที่ระบายออกจากปล่องหรือช่องหรือท่อระบายอากาศของโรงงานไม่ว่าจะผ่านระบบบำบัดหรือไม่ก็ตาม

“น้ำมันหรือน้ำมันเตา” ให้หมายความรวมถึง ผลพลอยได้ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ด้วย

“ถ่านหิน” ให้หมายความรวมถึง ผลพลอยได้ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ด้วย

“เชื้อเพลิงชีวมวล” หมายความว่า เชื้อเพลิงที่ได้มาจากอินทรีย์สารหรือสิ่งมีชีวิต รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตร การปศุสัตว์และการทำป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน เศษไม้ แกลบ ฟาง ชานอ้อย ต้นและใบอ้อย ใยปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว ใยมะพร้าว เศษพืช มูลสัตว์ ก๊าซชีวภาพ กากตะกอน หรือของเสียจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น

“เชื้อเพลิงอื่น ๆ” หมายความว่า เชื้อเพลิงอื่นใดนอกเหนือจากที่ระบุไว้ในประกาศนี้ แต่ไม่รวมถึงเชื้อเพลิงที่ได้กำหนดค่าการระบายปริมาณสารเจือปนในอากาศไว้เป็นการเฉพาะ

“ระบบปิด” หมายความว่า ระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและหรือวัตถุดิบที่มีการออกแบบให้มีการควบคุมปริมาตรอากาศและสภาวะแวดล้อมในการเผาไหม้ เช่น หม้อเผาปูนซีเมนต์ หม้อน้ำ เป็นต้น

"ระบบเปิด" หมายความว่า ระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงและหรือวัตถุดิบที่ไม่มีการออกแบบเพื่อควบคุมปริมาตรอากาศและสภาวะแวดล้อมในการเผาไหม้ เช่น เตาเผาปูนขาว เตาหลอมโลหะแบบคิวโปล่า (Cupola) เป็นต้น

ข้อ ๓ อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณของสารเจือปนแต่ละชนิดไม่เกินที่กำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

| ชนิดของสารเจือปน (หน่วยวัด) | แหล่งที่มาของสารเจือปน | ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ | |
|---|---|---|---|
| | | ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง | มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง |
| ๑. ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ | | |
| | - น้ำมันหรือน้ำมันเตา | - | ๒๔๐ |
| | - ถ่านหิน | - | ๓๒๐ |
| | - เชื้อเพลิงชีวมวล | - | ๓๒๐ |
| | - เชื้อเพลิงอื่น ๆ | - | ๓๒๐ |
| | ข. การถลุง หล่อหลอม รีดดึง และ/หรือผลิต อลูมิเนียม | ๓๐๐ | ๒๔๐ |
| | ค. การผลิตทั่วไป | ๔๐๐ | ๓๒๐ |
| ๒. พลวง (Antimony) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | การผลิตทั่วไป | ๒๐ | ๑๖ |
| ๓. สารหนู (Arsenic) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | การผลิตทั่วไป | ๒๐ | ๑๖ |
| ๔. ทองแดง (Copper) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | การผลิตทั่วไป | ๓๐ | ๒๔ |
| ๕. ตะกั่ว (Lead) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | การผลิตทั่วไป | ๓๐ | ๒๔ |
| ๖. ปรอท (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | การผลิตทั่วไป | ๓ | ๒.๔ |
| ๗. คลอรีน (Chlorine) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | การผลิตทั่วไป | ๓๐ | ๒๔ |
| ๘. ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | การผลิตทั่วไป | ๒๐๐ | ๑๖๐ |

| ชนิดของสารเจือปน (หน่วยวัด) | แหล่งที่มาของสารเจือปน | ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ | |
|---|---|---|---|
| | | ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง | มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง |
| ๙. กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) (ส่วนในล้านส่วน) | การผลิตทั่วไป | ๒๕ | - |
| ๑๐. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) (ส่วนในล้านส่วน) | การผลิตทั่วไป | ๑๐๐ | ๘๐ |
| ๑๑. คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) (ส่วนในล้านส่วน) | การผลิตทั่วไป | ๘๗๐ | ๖๙๐ |
| ๑๒. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) (ส่วนในล้านส่วน) | ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้<br>- น้ำมันหรือน้ำมันเตา<br>- ถ่านหิน<br>- เชื้อเพลิงชีวมวล<br>- เชื้อเพลิงอื่น ๆ<br>ข. การผลิตทั่วไป | <br>-<br>-<br>-<br>-<br>๕๐๐ | <br>๙๕๐<br>๗๐๐<br>๖๐<br>๖๐<br>- |
| ๑๓. ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of nitrogen) (ส่วนในล้านส่วน) | แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้<br>- น้ำมันหรือน้ำมันเตา<br>- ถ่านหิน<br>- เชื้อเพลิงชีวมวล<br>- เชื้อเพลิงอื่น ๆ | <br>-<br>-<br>-<br>- | <br>๒๐๐<br>๔๐๐<br>๒๐๐<br>๒๐๐ |
| ๑๔. ไซลีน (Xylene) (ส่วนในล้านส่วน) | การผลิตทั่วไป | ๒๐๐ | - |
| ๑๕. ครีซอล (Cresol) (ส่วนในล้านส่วน) | การผลิตทั่วไป | ๕ | - |

ข้อ ๔ กรณีโรงงานใช้เชื้อเพลิงร่วมกันตั้งแต่ ๒ ประเภทขึ้นไป อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศไม่เกินค่าที่กำหนด สำหรับเชื้อเพลิงประเภทที่มีสัดส่วนการใช้มากที่สุด

ข้อ ๕ การตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน แต่ละชนิดให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง ให้ใช้วิธี Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๒) การตรวจวัดค่าปริมาณพลวง สารหนู ทองแดง ตะกั่ว และสารปรอท ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๓) การตรวจวัดค่าปริมาณคลอรีน และไฮโดรเจนคลอไรด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Non-Isokinetic หรือวิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Isokinetic ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๔) การตรวจวัดค่าปริมาณกรดกำมะถัน ให้ใช้วิธี Determination of Sulfuric Acid Mist and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๕) การตรวจวัดค่าปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Sulfuric, Carbonyl Sulfide and Carbon Disulfide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๖) การตรวจวัดค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๗) การตรวจวัดค่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources หรือวิธี Determination of Sulfuric Acid Mist and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๘) การตรวจวัดค่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๙) การตรวจวัดค่าปริมาณไซลีน และครีซอล ให้ใช้วิธี Measurement of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. EPA) กำหนดไว้หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

ข้อ ๖ การรายงานผลการตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ ให้รายงานผลดังต่อไปนี้

(๑) ในกรณีที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสียสภาวะจริงในขณะตรวจวัด

(๒) ในกรณีที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง

(ก) ระบบปิดให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ (Excess Air) ร้อยละ ๕๐ หรือ มีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสีย ร้อยละ ๗

(ข) ระบบเปิดให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสีย ณ สภาวะจริงขณะตรวจวัด

ข้อ ๗ ประกาศฉบับนี้ใช้บังคับสำหรับประเภทโรงงานใด ๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดสารเจือปนในอากาศที่ไม่ได้กำหนดค่าการระบายปริมาณสารเจือปนในอากาศไว้เป็นการเฉพาะ

ทั้งนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๙
โฆสิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

**ภาคผนวก ก-6**

ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ พ.ศ. 2534

# ประกาศกระทรวงมหาดไทย

## เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๒ (๗) แห่งประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ ๑๐๓ ลงวันที่ ๑๖ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๑๕ กระทรวงมหาดไทยจึงกำหนดสวัสดิการเกี่ยวกับความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยในการทำงานสำหรับลูกจ้างไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้เรียกว่า "ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ"

ข้อ ๒ ให้ยกเลิกหมวด ๒ ความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ แห่งประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ลงวันที่ ๒๓ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๑๙

ข้อ ๓ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดเก้าสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๔ ในประกาศนี้

"นายจ้าง" หมายความว่า ผู้ซึ่งตกลงรับลูกจ้างเข้าทำงานโดยจ่ายค่าจ้างให้ และหมายความรวมถึงผู้ซึ่งได้รับมอบหมายให้ทำงานแทนนายจ้าง ในกรณีที่นายจ้างเป็นนิติบุคคลหมายความว่า ผู้มีอำนาจกระทำการแทนนิติบุคคลนั้น และหมายความรวมถึงผู้ซึ่งได้รับมอบหมายให้ทำงานแทนผู้มีอำนาจกระทำการแทนนิติบุคคล

“ลูกจ้าง” หมายความว่า ผู้ซึ่งตกลงทำงานให้แก่นายจ้างเพื่อรับค่าจ้างไม่ว่าจะเป็นผู้รับค่าจ้างด้วยตนเองหรือไม่ก็ตาม

“หม้อน้ำ” หมายความว่า ภาชนะปิดที่ใช้ผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำที่มีความดันสูงกว่าบรรยากาศ โดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรือจากไฟฟ้าหรือจากพลังงานนิวเคลียร์

“หม้อน้ำทำความร้อน” หมายความว่า หม้อน้ำที่ใช้ผลิตไอน้ำความดันไม่เกิน ๑ บาร์ หรือไอน้ำอุณหภูมิไม่เกิน ๑๒๐ องศาเซลเซียส หรือน้ำร้อนความดันไม่เกิน ๑๐ บาร์

“หม้อน้ำมือสอง” หมายความว่า หม้อน้ำที่เปลี่ยนทั้งเจ้าของและที่ติดตั้งหลังจากใช้ครั้งแรก

“หม้อน้ำที่ย้ายที่ติดตั้ง” หมายความว่า หม้อน้ำที่ถอดออกจากที่ตั้งเดิมและติดตั้งอีกครั้ง ณ ที่เดิมหรือติดตั้ง ณ ที่ติดตั้งใหม่โดยไม่เปลี่ยนเจ้าของ

“ผู้ควบคุม” หมายความว่า ผู้ที่นายจ้างจัดให้มีหน้าที่ควบคุมการทำงานและการใช้หม้อน้ำ

“การดัดแปลง” หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงหม้อน้ำที่เป็นการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดที่สำคัญไปจากการออกแบบเดิม ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หม้อน้ำ

“การตรวจทดสอบ” หมายความว่า การตรวจอย่างละเอียดด้วยสายตา และเครื่องมือทั้งภายในและภายนอกหม้อน้ำโดยเปิดฝาต่าง ๆ

ในขณะหยุดใช้งานหม้อน้ำ รวมถึงการตรวจการทำงานของอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ตลอดจนการทดสอบเกี่ยวกับความแข็งแรงของหม้อน้ำ

หมวด ๑

ข้อกำหนดทั่วไป

ข้อ ๕ ประกาศกระทรวงมหาดไทยฉบับนี้มิให้ใช้บังคับแก่หม้อน้ำทำความร้อนแบบท่อขดที่ไม่มีที่พักไอ เว้นแต่

(๑) มีที่พักไอ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อน้ำหรือหลอดน้ำเกิน ๑๙ มิลลิเมตร

(๒) ความจุของน้ำเกิน ๒๓ ลิตร

(๓) อุณหภูมิของน้ำเกิน ๑๗๗ องศาเซลเซียส

(๔) ในหลอดน้ำมีไอน้ำเกิดขึ้น

ข้อ ๖ ให้นายจ้างที่ใช้หม้อน้ำจัดหาหม้อน้ำและส่วนประกอบต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ISO ASME JIS DIN BS หรือมาตรฐานอื่นที่กรมแรงงานรับรอง

ข้อ ๗ ให้นายจ้างที่ใช้หม้อน้ำมือสองหรือที่ย้ายที่ตั้งใหม่ซึ่งได้มาตรฐานตามข้อ ๖ ต้องกำหนดความดันที่อนุญาตให้ใช้ได้สูงสุดเสียใหม่ตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม โดยอัดน้ำทดสอบด้วยความดัน ๑.๕ เท่าของความดันที่ปรับตั้งลิ้นนิรภัยให้เปิด แต่ไม่เกิน ๑.๕ เท่าของความดันสูงสุดที่ออกแบบ ถ้าความดันที่ใช้งานอยู่ระหว่าง ๔ หรือ ๕ บาร์ ให้อัดน้ำทดสอบด้วยความดัน ๘ บาร์ หรือถ้าความดันใช้งานต่ำกว่า ๔ บาร์ลงไป

ให้อัดน้ำด้วยความดันเป็น ๒ เท่าของความดันที่ใช้งานสูงสุด ทั้งนี้ ให้พิจารณาสภาพของหม้อน้ำประกอบด้วย ผลการทดสอบต้องได้รับการรับรองจากวิศวกรที่มีวุฒิตามข้อ ๓๙ และเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อให้พนักงานเจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบได้

ข้อ ๘ เมื่อเกิดอุบัติเหตุที่มีผลกระทบกระเทือนต่อการใช้งานของหม้อน้ำซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อลูกจ้าง ให้นายจ้างแจ้งให้กรมแรงงานทราบโดยทันที ในกรณีเกิดอุบัติเหตุร้ายแรง เช่น เกิดการระเบิด ต้องแจ้งโดยด่วนทางโทรศัพท์ โทรเลข หรือใช้บุคคลส่งข่าว

ข้อ ๙ ให้นายจ้างจัดทำป้ายระเบียบข้อบังคับเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำ การตรวจอุปกรณ์หม้อน้ำทุกอย่างก่อนลงมือปฏิบัติงาน รวมทั้งวิธีการแก้ไข ข้อขัดข้องต่าง ๆ ติดไว้ในบริเวณห้องหม้อน้ำให้ผู้ควบคุมเห็นได้ชัดเจนพร้อมทั้งชี้แจงให้เข้าใจและถือปฏิบัติ

ข้อ ๑๐ ให้นายจ้างจัดให้มีผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำที่มีคุณวุฒิได้รับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์ หรือช่างกลโรงงาน หรือช่างผู้ชำนาญงานที่ผ่านการทดสอบจากสถาบันของทางราชการ หรือรัฐวิสาหกิจ หรือสถาบันอื่นซึ่งกรมแรงงานรับรองว่าเป็นผู้สามารถควบคุมหม้อน้ำได้ หรือช่างผู้ชำนาญงานที่ปฏิบัติงานภายใต้การควบคุมของวิศวกรเครื่องกลตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมการประกอบวิชาชีพวิศวกรรม

ข้อ ๑๑ ให้นายจ้างจัดให้มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้กับหม้อน้ำให้อยู่ในสภาพใสสะอาดมีตะกอนแขวนลอยและสารละลายน้อย ไม่กระด้าง

และไม่เป็นกรด ให้เหมาะสมกับชนิดและประเภทของหม้อน้ำตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

ข้อ ๑๒ ให้นายจ้างดูแลให้มีการระบายอากาศเพื่อไล่ก๊าซพิษหรือก๊าซไวไฟตลอดเวลาก่อนที่จะให้ลูกจ้างตรวจหรือซ่อมภายในหม้อน้ำ

หมวด ๒

การติดตั้งหม้อน้ำและอุปกรณ์

ข้อ ๑๓ การดำเนินการติดตั้งหม้อน้ำและอุปกรณ์ ให้นายจ้างปฏิบัติตามข้อกำหนดในหมวดนี้

ข้อ ๑๔ จัดให้มีการติดตั้งหม้อน้ำและอุปกรณ์ประกอบและทดสอบก่อนใช้งานโดยวิศวกรเครื่องกลประเภทสามัญวิศวกรหรือวุฒิวิศวกร แล้วแต่กรณีตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมการประกอบวิชาชีพวิศวกรรม

ข้อ ๑๕ การติดตั้งหม้อน้ำและอุปกรณ์ประกอบ

(๑) ให้ติดตั้งหม้อน้ำและอุปกรณ์แยกเป็นสัดส่วนโดยเฉพาะออกจากเครื่องจักรอุปกรณ์และวัสดุอื่น ๆ ไม่น้อยกว่า ๒.๕๐ เมตร

(๒) กรณีติดตั้งหม้อน้ำอยู่ในห้องโดยเฉพาะต้องจัดให้มีระยะห่างระหว่างตัวหม้อน้ำกับผนังห้องโดยรอบไม่น้อยกว่า ๑.๕๐ เมตร

(๓) ถ้าติดตั้งหม้อน้ำมากกว่า ๑ เครื่องต้องจัดให้มีระยะห่างระหว่างเปลือกหม้อน้ำของแต่ละเครื่องไม่น้อยกว่า ๑.๕๐ เมตร

(๔) ต้องจัดให้มีระยะห่างระหว่างเปลือกหม้อน้ำด้านบนถึงเพดานหรือหลังคาไม่น้อยกว่า ๑.๕๐ เมตร

(๕) ต้องจัดให้มีเหล็กยึดโยงท่อที่ต่อจากหม้อน้ำที่มั่นคงแข็งแรงและอยู่ในลักษณะที่สามารถรับการขยายตัวและหดตัวของท่ออย่างเหมาะสมตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

ข้อ ๑๖ หม้อน้ำที่สูงเกิน ๓ เมตร จากพื้นถึงเปลือกหม้อน้ำด้านบน นายจ้างต้องจัดทำบันไดและทางเดินเพื่อให้ผู้ควบคุมซ่อมแซมหรือเดินได้สะดวกปลอดภัย พร้อมกับจัดให้มีราวจับและขอบกั้นของตกและพื้นที่ทำงานทุกชั้นจะต้องจัดให้มีทางออกอย่างน้อยสองทาง

ข้อ ๑๗ ห้องหม้อน้ำหรือห้องควบคุมต้องจัดให้มีทางออกไม่น้อยกว่าสองทางซึ่งอยู่คนละด้านกัน

ข้อ ๑๘ พื้นห้อง ชั้นบันไดและพื้นต่าง ๆ ต้องใช้วัสดุกันลื่นและช่องเปิดที่พื้นต้องมีขอบกั้นของตก

ข้อ ๑๙ ห้องหม้อน้ำต้องจัดให้มีแสงสว่างอย่างเพียงพอ เครื่องวัดต่าง ๆ และอุปกรณ์ประกอบต้องมีแสงสว่างให้เพียงพอที่จะอ่านค่าและควบคุมได้สะดวก สิ่งกีดขวางทางเดินหรือสิ่งกีดขวางพาดต่ำกว่าระดับศีรษะต้องทำเครื่องหมายโดยทาสีหรือใช้เทปสะท้อนแสงติดไว้ให้เห็นได้อย่างชัดเจน

ข้อ ๒๐ จัดให้มีระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉินส่องไปยังทางออก และเครื่องวัดต่าง ๆ รวมทั้งแผงควบคุมให้เห็นอย่างชัดเจนในกรณีเกิดไฟฟ้าดับ

ข้อ ๒๑ จัดให้มีฐานรากที่ตั้งของหม้อน้ำที่มั่นคงแข็งแรงและทนต่อแรงดันหรือแรงกดรวมถึงแรงดันจากการขยายตัวของหม้อน้ำ การออกแบบและคำนวณให้เป็นไปตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

ข้อ ๒๒ จัดให้มีปล่องควันและฐานที่มั่นคงแข็งแรง เป็นไปตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

ข้อ ๒๓ จัดให้มีฉนวนที่เหมาะสมหุ้มเปลือกหม้อน้ำและท่อที่ร้อนทั้งหมด

ข้อ ๒๔ จัดให้มีลิ้นนิรภัยและการติดตั้งที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ISO ASME JIS DIN BS หรือมาตรฐานอื่นที่กรมแรงงานรับรองและต้องปฏิบัติเพิ่มเติมดังนี้

(๑) หม้อน้ำทุกเครื่องต้องมีลิ้นนิรภัยอย่างน้อยหนึ่งตัว แต่ถ้ามีผิวรับความร้อนมากกว่า ๕๐ ตารางเมตร ต้องมีลิ้นนิรภัยอย่างน้อยสองตัว และลิ้นนิรภัยตัวเล็กที่สุดบ่าลิ้นต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า ๑๕ มิลลิเมตร

(๒) ลิ้นนิรภัยทุกตัวที่ตั้งความดันไอออกไว้สูงสุดต้องตั้งไม่เกินร้อยละสิบของความดันที่ใช้อยู่สูงสุด และต้องไม่เกินร้อยละสามของความดันที่อนุญาตให้ใช้ได้สูงสุด

(๓) ห้ามติดตั้งลิ้นหรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ระหว่างหม้อน้ำกับลิ้นนิรภัย และต้องติดตั้งลิ้นนิรภัยให้ใกล้หม้อน้ำมากที่สุด หน้าตัดของท่อส่วนที่ต่อเข้ากับลิ้นนิรภัยต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าหน้าตัดของรูลิ้นนิรภัย

(๔) ท่อระบายไอออกของลิ้นนิรภัยที่ต่อยื่นออกไปให้ต่อประจำลิ้นแต่ละตัว พื้นที่หน้าตัดของท่อระบายต้องมีขนาดเหมาะได้มาตรฐาน และท่อต่อระบายไอออกต้องยึดให้แน่นและไม่แตะกับลิ้น

นิรภัยโดยตรงเพื่อไม่ให้เกิดแรงดันกระทำบนตัวลิ้นนิรภัยไม่ว่าจะอยู่ในสภาพร้อนหรือเย็น

(๕) ท่อระบายไอออกที่ต่อจากลิ้นนิรภัยต้องมีส่วนโค้งงอ ๙๐ หรือ ๔๕ องศา ไม่เกิน ๒ โค้ง ส่วนปลายท่อระบายไอออกต้องไม่มีสิ่งกีดขวางหรืออุดตันและไอที่ระบายออกต้องไม่เป็นอันตรายต่อบุคคลหรืออุปกรณ์อื่น ๆ

ข้อ ๒๕ จัดให้มีมาตรวัดระดับน้ำและการติดตั้งที่เป็นไปตามมาตรฐาน ISO ASME JIS DIN BS หรือมาตรฐานอื่นที่กรมแรงงานรับรอง และต้องปฏิบัติเพิ่มเติมดังนี้

(๑) มาตรวัดระดับน้ำแบบหลอดแก้วต้องเป็นหลอดแก้วนิรภัย มีครอบป้องกันซึ่งสามารถดูระดับน้ำได้ชัดเจน

(๒) กรณีหม้อน้ำมีความสูงและห้องควบคุมจำเป็นต้องอยู่ห่างจากหม้อน้ำและการสังเกตระดับน้ำในหลอดแก้วทำได้ลำบาก จะต้องหาวิธีการที่สามารถสังเกตระดับน้ำในหลอดแก้วได้ อาจใช้กระจกเงาสะท้อน ระบบโทรทัศน์หรือวิธีอื่นที่เหมาะสม

(๓) ต้องติดตั้งสัญญาณแสงและเสียงเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าขีดอันตราย

(๔) ท่อทางน้ำและไอน้ำที่เข้ามาตรวัดระดับน้ำ ต้องมีลิ้นปิด – เปิด คั่นระหว่างหม้อน้ำกับมาตรวัดระดับน้ำ ปลายท่อระบายน้ำของมาตรวัดระดับน้ำ ชุดควบคุมระดับน้ำและก๊อกทดสอบต้องต่อในที่ที่ปลอดภัยและอยู่ในตำแหน่งที่สามารถเห็นหรือได้ยินเสียงได้ชัดเจน

(๕) ท่อหรืออุปกรณ์ประกอบที่ต่อระหว่างหม้อน้ำกับมาตรวัดระดับน้ำต้องให้สั้นที่สุด และต้องระบายน้ำในท่อหรืออุปกรณ์ประกอบออกได้หมด ห้ามต่อเอาไอจากส่วนนี้ไปใช้งาน

ข้อ ๒๖ จัดให้มีมาตรวัดความดันไอน้ำและการติดตั้งที่เป็นไปตามมาตรฐาน ISO ASME JIS DIN BS หรือมาตรฐานอื่นที่กรมแรงงานรับรองและปฏิบัติเพิ่มเติมดังนี้

(๑) จัดให้มีสเกลที่วัดได้ระหว่างหนึ่งเท่าครึ่งถึงสองเท่าของความดันที่ใช้งานสูงสุดและมีขีดสีแดงบอกความดันใช้งานสูงสุดของหม้อน้ำไว้ด้วย เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าปัทม์ของมาตรวัดไอน้ำต้องไม่น้อยกว่า ๑๐๐ มิลลิเมตร

(๒) จัดให้มีการติดตั้งมาตรวัดความดันไอน้ำที่ไม่สัมผัสกับไอน้ำโดยตรง โดยให้มีท่อขดเป็นวงกลมที่มีน้ำขังอยู่ หรืออุปกรณ์อื่นที่ทำงานคล้ายกันเป็นตัวถ่ายทอดแรงดันอีกต่อหนึ่ง

(๓) ดูแลรักษามาตรวัดความดันไอน้ำให้อยู่ในสภาพดีและอ่านค่าได้ถูกต้องชัดเจน

(๔) ติดตั้งมาตรวัดความดันไอน้ำในตำแหน่งที่ไม่มีการสั่นสะเทือนและสะดวกในการเข้าปรับแต่ง และอยู่ในตำแหน่งที่ผู้ควบคุมสามารถมองเห็นได้ชัดเจนโดยไม่มีสิ่งกีดขวางบังสายตาในขณะปฏิบัติงาน

(๕) ติดตั้งมาตรวัดความดันไอน้ำและข้อต่อในบริเวณที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า ๔ องศาเซลเซียส และไม่เกิน ๖๖ องศาเซลเซียส

(๖) ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องเอียงมาตรวัดความดันไอน้ำให้เอียงหน้าลงเพื่อให้เห็นได้ชัดโดยทำมุมไม่เกิน ๓๐ องศาจากแนวดิ่ง

ข้อ ๒๗ จัดให้มีส่วนระบายน้ำทิ้งและการติดตั้งที่เป็นไปตามมาตรฐาน ISO ASME JIS DIN BS หรือมาตรฐานอื่นที่กรมแรงงานรับรองและต้องปฏิบัติเพิ่มเติมดังนี้

(๑) ต้องติดตั้งลิ้นระบายที่หม้อน้ำทุกเครื่อง แต่ละท่อระบายต้องมีลิ้นระบายไม่น้อยกว่า ๒ ตัว โดยติดตั้ง ณ จุดต่ำสุดของหม้อน้ำ ท่อระบายน้ำทิ้งที่ต่อระหว่างหม้อน้ำกับลิ้นระบายต้องให้สั้นที่สุด

(๒) ท่อระบายและข้อต่อต้องติดตั้งในบริเวณที่ไม่ชื้นแฉะหรืออับอากาศอันอาจเกิดการผุกร่อนได้

(๓) ลิ้นปิด – เปิด ท่อระบายต้องอยู่ในตำแหน่งที่เข้าไปปฏิบัติงานได้ง่าย ถ้าติดตั้งอยู่ต่ำมากหรือในบริเวณที่คับแคบเข้าไปปิด – เปิด ไม่สะดวกต้องต่อก้านสำหรับปิด – เปิด ให้สามารถปิด – เปิดได้สะดวกปลอดภัย

(๔) ติดตั้งท่อระบายลงในสถานที่ที่เห็นได้ง่ายเมื่อเกิดการรั่วและปลายท่อระบายต้องต่อลงในที่ที่ปลอดภัยและอยู่ในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นและได้ยินเสียงได้ชัดเจน

(๕) ท่อที่ต่อจากท่อระบายต้องมีเหล็กยึดโยงให้มั่นคงแข็งแรงและต่อในลักษณะที่รับการขยายตัวและหดตัวของท่ออย่างเหมาะสมตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม

ข้อ ๒๘ จัดให้มีสูบน้ำเข้าหม้อน้ำและอุปกรณ์ดังนี้

(๑) เครื่องสูบน้ำเข้าหม้อน้ำต้องสามารถทำความดันได้ไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของความดันใช้งานสูงสุด และมีมาตรวัดความดันติดอยู่ทางท่อส่งของเครื่องสูบน้ำ

(๒) เครื่องสูบน้ำเข้าหม้อน้ำต้องสามารถสูบน้ำเข้าหม้อได้ในปริมาณไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของอัตราการผลิตไอสูงสุดของหม้อน้ำ

(๓) หม้อน้ำที่มีผิวรับความร้อนมากกว่า ๕๐ ตารางเมตร ต้องมีเครื่องสูบน้ำเข้าหม้อน้ำอย่างน้อยสองชุด

(๔) ท่อน้ำเข้าของหม้อน้ำแต่ละเครื่องต้องมีลิ้นกันกลับและลิ้นปิด – เปิดติดตั้งใกล้กับหม้อน้ำ ในกรณีที่มีอุปกรณ์ช่วยประหยัด (Economizer) ติดตั้งกับหม้อน้ำให้ติดตั้งลิ้นดังกล่าว ณ ทางเข้าของอุปกรณ์ช่วยประหยัด

ข้อ ๒๙ ถ้าใช้ปลั๊กหลอมละลาย (Fusible plugs) ต้องปฏิบัติดังนี้

(๑) โลหะผสมที่ใช้ทำปลั๊กหลอมละลายต้องมีคุณสมบัติหลอมละลายระหว่าง ๒๓๐ – ๒๓๒ องศาเซลเซียส สำหรับหม้อน้ำที่มีความดันไม่เกิน ๑๐ บาร์

(๒) ต้องหมั่นตรวจดูสภาพของปลั๊กอยู่เสมอ หากพบว่าอยู่ในสภาพไม่ดีให้ถอดเปลี่ยนใหม่ และห้ามใช้งานเกินกว่าหนึ่งปี

(๓) เกลียวที่ใช้ขันเข้าท่อไฟใหญ่ต้องเป็นลักษณะเรียวลงตรงจุดคอคอดโตไม่น้อยกว่า 9 มิลลิเมตร ความยาวส่วนที่หลอมละลายไม่น้อยกว่า ๒๕ มิลลิเมตร และปลายทางออกด้านไฟไม่น้อยกว่า ๑๒.๕ มิลลิเมตร

ข้อ ๓๐ แผงควบคุมอัตโนมัติและเครื่องวัดต่าง ๆ ของหม้อน้ำต้องติดตั้งไว้ ณ ที่ซึ่งผู้ควบคุมสามารถมองเห็นได้ง่ายและชัดเจน สายไฟฟ้าที่ต่อจากอุปกรณ์ไปยังแผงควบคุมอัตโนมัติและเครื่องวัดต้องร้อยในท่อให้เรียบร้อย

ข้อ ๓๑ ท่อไอน้ำ ท่อน้ำร้อนหรือท่ออื่น ๆ ในระบบต้องออกแบบและติดตั้งตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรม ท่อที่ใช้ต้องเป็นชนิดและแบบที่เหมาะสม

ข้อ ๓๒ กรณีที่มีหม้อน้ำตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปใช้ท่อจ่ายไอร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับที่ท่อหลังลิ้นจ่ายไอของหม้อน้ำแต่ละเครื่อง

หมวด ๓

คณะกรรมการที่ปรึกษาเกี่ยวกับหม้อน้ำ

ข้อ ๓๓ ให้มีคณะกรรมการคณะหนึ่งเรียกว่า “คณะกรรมการที่ปรึกษาเกี่ยวกับหม้อน้ำ” ประกอบด้วยอธิบดีกรมแรงงานเป็นประธานกรรมการ ผู้แทนกรมแรงงานเป็นกรรมการและเลขานุการ และให้อธิบดีกรมแรงงานแต่งตั้งผู้มีประสบการณ์หรือผู้ทรงคุณวุฒิทางวิศวกรรมเครื่องกลที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้หม้อน้ำความดันสูง ผู้มีประสบการณ์หรือผู้ทรงคุณวุฒิทางวิศวกรรมเครื่องกลที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้หม้อน้ำความดันต่ำ วิศวกรที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้หม้อน้ำมาไม่น้อยกว่าห้าปีผู้ผลิตหม้อน้ำ ผู้แทนคณะกรรมการควบคุมการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมหรือวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และผู้ทรงคุณวุฒิอื่น เป็นกรรมการซึ่งทั้งคณะมีจำนวนรวมกันไม่เกินสิบคน

ข้อ ๓๔ คณะกรรมการที่ปรึกษาเกี่ยวกับหม้อน้ำมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

(๑) เสนอความเห็นเกี่ยวกับนโยบายด้านความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ

(๒) เสนอความเห็นเกี่ยวกับการปรับปรุงหรือแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำ

(๓) ให้คำปรึกษาแนะนำแก่กรมแรงงานเกี่ยวกับความปลอดภัยในการติดตั้ง ซ่อมแซม ตรวจ และอื่น ๆ เกี่ยวกับหม้อน้ำ

ข้อ ๓๕ ให้กรรมการที่ปรึกษาเกี่ยวกับหม้อน้ำซึ่งอธิบดีกรมแรงงานแต่งตั้งอยู่ในตำแหน่งคราวละสองปี กรรมการซึ่งพ้นจากตำแหน่งอาจได้รับแต่งตั้งใหม่ได้แต่ต้องไม่เกินสองวาระติดต่อกัน

ข้อ ๓๖ นอกจากการพ้นตำแหน่งตามข้อ ๓๕ กรรมการที่ปรึกษาเกี่ยวกับหม้อน้ำ ซึ่งอธิบดีกรมแรงงานแต่งตั้งจะพ้นจากตำแหน่งเมื่อ

(๑) ตาย

(๒) ลาออก

(๓) อธิบดีกรมแรงงานให้ออก

(๔) เป็นบุคคลล้มละลาย

(๕) เป็นคนไร้ความสามารถหรือคนเสมือนไร้ความสามารถ

(๖) ได้รับโทษจำคุกโดยคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุก เว้นแต่เป็นโทษสำหรับความผิดที่ได้กระทำโดยประมาทหรือความผิดลหุโทษ

ข้อ ๓๗ ในกรณีที่กรรมการที่ปรึกษาเกี่ยวกับหม้อน้ำซึ่งอธิบดีกรมแรงงานแต่งตั้ง พ้นจากตำแหน่งก่อนวาระ อธิบดีกรมแรงงานอาจแต่งตั้ง

ผู้อื่นเป็นกรรมการแทนได้ และให้ผู้ที่ได้รับแต่งตั้งอยู่ในตำแหน่งเท่ากับวาระที่เหลืออยู่ของกรรมการซึ่งตนแทน

กรณีที่กรรมการที่ปรึกษาเกี่ยวกับหม้อน้ำซึ่งอธิบดีกรมแรงงานแต่งตั้งดำรงตำแหน่งครบวาระแล้วแต่ยังไม่มีการแต่งตั้งกรรมการขึ้นใหม่ ให้กรรมการเดิมปฏิบัติหน้าที่ต่อไปจนกว่าจะมีการแต่งตั้งกรรมการขึ้นใหม่ การแต่งตั้งต้องให้แล้วเสร็จภายในสามสิบวันนับแต่วันที่กรรมการเดิมครบวาระ

ข้อ ๓๘ การประชุมคณะกรรมการที่ปรึกษาเกี่ยวกับหม้อน้ำต้องมีกรรมการมาประชุมไม่น้อยกว่ากึ่งหนึ่งของจำนวนกรรมการทั้งหมดจึงเป็นองค์ประชุม

มติที่ประชุมต้องถือเสียงข้างมาก กรรมการคนหนึ่งมีเสียงหนึ่งในการลงคะแนน ถ้าคะแนนเสียงเท่ากันให้ประธานในที่ประชุมออกเสียงเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งเสียงเป็นเสียงชี้ขาด

หมวด ๔

การควบคุม

ข้อ ๓๙ ให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจทดสอบและรับรองความปลอดภัยในการใช้งานของหม้อน้ำอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง โดยวิศวกรเครื่องกลประเภทสามัญวิศวกร วุฒิวิศวกรหรือผู้ได้รับอนุญาตพิเศษให้ตรวจทดสอบหม้อน้ำได้แล้วแต่กรณีตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมการประกอบวิชาชีพวิศวกรรม แล้วเก็บเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำไว้เพื่อให้พนักงานเจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบได้ตลอดเวลา

กรณีมีการซ่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของหม้อน้ำต้องเป็นไปตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรมทั้งการเลือกใช้วัสดุ เทคนิคและวิธีการซ่อม ภายหลังการซ่อมต้องจัดให้มีวิศวกรตรวจทดสอบก่อนใช้งานโดยบุคคลผู้มีคุณวุฒิดังกล่าวข้างต้น แล้วเก็บเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำไว้เป็นประวัติของหม้อน้ำนั้น ๆ เพื่อให้พนักงานเจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบได้

ข้อ ๔๐ นายจ้างที่ดัดแปลงหม้อน้ำต้องจัดให้มีวิศวกรที่มีคุณสมบัติตามข้อ ๓๙ ออกแบบควบคุมและรับรองความปลอดภัยของหม้อน้ำพร้อมทั้งเก็บรายละเอียดการดัดแปลงไว้เป็นประวัติของหม้อน้ำเพื่อให้พนักงานเจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบได้

ข้อ ๔๑ ในกรณีพนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจพบว่าหม้อน้ำชำรุดหรือบกพร่องอยู่ในสภาพไม่ปลอดภัยในการใช้งาน พนักงานเจ้าหน้าที่อาจเตือนให้นายจ้างปรับปรุง ซ่อมแซม แก้ไขให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยปลอดภัยตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรมภายในระยะเวลาที่กำหนดก่อนใช้งานต่อไป หรือให้ลดความดันใช้งานลงจนปลอดภัย และถ้าหม้อน้ำใดอยู่ในสภาพที่ชำรุดทรุดโทรมมากเนื่องจากหมดอายุใช้งานไม่สมควรที่จะให้ใช้งานอีกต่อไป ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ออกคำสั่งห้ามใช้

คำเตือนหรือคำสั่งดังกล่าวข้างต้นให้พนักงานเจ้าหน้าที่ปิดสำเนาไว้ ณ บริเวณหม้อน้ำให้เห็นได้ชัดเจน

ข้อ ๔๒ เมื่อนายจ้างพบหรือได้รับแจ้งว่ามีการชำรุดเสียหายของหม้อน้ำที่มีผลต่อความปลอดภัยในการใช้งาน จะต้องหยุดใช้หม้อน้ำนั้นทันทีจนกว่าจะได้มีการแก้ไขให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยเสียก่อน

ข้อ ๔๓ ห้ามนายจ้างให้ลูกจ้างใช้หม้อน้ำที่อยู่ในสภาพที่ไม่ปลอดภัยในการใช้งาน

หมวด ๕

การคุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

ข้อ ๔๔ ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างที่ทำงานเกี่ยวกับหม้อน้ำสวมใส่แว่นตา หน้ากาก เครื่องป้องกันเสียง ที่ป้องกันความร้อน รองเท้าพื้นยางหุ้มส้นหรือเครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคลอื่น ๆ ตามสภาพและลักษณะของงาน และให้ถือเป็นระเบียบปฏิบัติงานของสถานประกอบการตลอดเวลาที่ลูกจ้างปฏิบัติงานนั้น

ข้อ ๔๕ ให้ลูกจ้างสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลตามข้อ ๔๔ ตลอดเวลาที่ปฏิบัติงาน

ข้อ ๔๖ ห้ามนายจ้างยินยอมหรือปล่อยปละละเลยให้ลูกจ้างที่ไม่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลทำงาน ถ้าการทำงานลักษณะเช่นว่านั้นจำเป็นต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลตามข้อ ๔๔

ข้อ ๔๗ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลตามข้อ ๔๔ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือตามที่กระทรวงมหาดไทยประกาศกำหนด

ข้อ ๔๘ ให้นายจ้างเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายตามประกาศนี้

หมวด ๖

เบ็ดเตล็ด

ข้อ ๔๕ ข้อกำหนดเกี่ยวกับสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยที่กำหนดไว้ในประกาศนี้เป็นมาตรฐานขั้นต่ำที่จะต้องปฏิบัติเท่านั้น

ข้อ ๕๐ สถานประกอบการที่ติดตั้งหม้อน้ำหลังจากที่ประกาศกระทรวงมหาดไทยฉบับนี้ มีผลบังคับใช้ให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามประกาศนี้ทุกประการ สำหรับสถานประกอบการที่ติดตั้งหม้อน้ำก่อนประกาศนี้มีผลบังคับใช้ให้นายจ้างทำการปรับปรุง แก้ไขหม้อน้ำ ตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรมตามชนิด ประเภท รายละเอียดและระยะเวลาที่กระทรวงมหาดไทยกำหนด

ประกาศ ณ วันที่ ๒๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๓๔
เจริญจิตต์ ณ สงขลา
รัฐมนตรีช่วยว่าการ ฯ ปฏิบัติราชการแทน
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

**ภาคผนวก ก-7**

# ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549

# ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

---

เพื่อกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ แก้ไขโดยมาตรา ๑๑๔ แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการ ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. ๒๕๔๕ พ.ศ. ๒๕๔๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ มาตรา ๕๐ และมาตรา ๕๑ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

“โรงงานอุตสาหกรรม” หมายความว่า โรงงานจำพวกที่ ๒ และโรงงานจำพวกที่ ๓ ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

“การประกอบกิจการโรงงาน” หมายความว่า การทำ ผลิต ประกอบ บรรจุ ซ่อม ซ่อมบำรุง ทดสอบ ปรับปรุง แปรสภาพ ลำเลียง เก็บรักษา หรือทำลายสิ่งใด ๆ ตามลักษณะกิจการของโรงงาน แต่ไม่รวมถึง การทดลองเดินเครื่องจักร

“กระบวนการผลิต” หมายความว่า การประกอบกิจการโรงงานอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ

“กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง” หมายความว่า การประกอบกิจการโรงงานในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่มีกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือการสันดาป และมีการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ

“เชื้อเพลิงชีวมวล” หมายความว่า เชื้อเพลิงที่ได้มาจากอินทรีย์สารหรือสิ่งมีชีวิต รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตร การปศุสัตว์ และการทำป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน เศษไม้ แกลบ ฟาง ชานอ้อย ต้นอ้อย ใบอ้อย ใยปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว ใยมะพร้าว เศษพืช มูลสัตว์ ก๊าซชีวภาพ กากตะกอน หรือของเสียจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น

ข้อ ๒ อากาศเสียแต่ละชนิดที่ปล่อยทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

| ชนิดของอากาศเสีย | แหล่งที่มาของอากาศเสีย | ค่าปริมาณของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจาก | |
|---|---|---|---|
| | | กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง | กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง |
| ๑. ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | ๑.๑ หม้อไอน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ | | |
| | (๑) น้ำมันเตา | - | ไม่เกิน ๒๔๐ |
| | (๒) ถ่านหิน | - | ไม่เกิน ๓๒๐ |
| | (๓) ชีวมวล | - | ไม่เกิน ๓๒๐ |
| | (๔) เชื้อเพลิงอื่นๆ | - | ไม่เกิน ๓๒๐ |
| | ๑.๒ การถลุง หล่อหลอม รีดดึง และ/หรือผลิต อะลูมิเนียม | ไม่เกิน ๓๐๐ | ไม่เกิน ๒๔๐ |
| | ๑.๓ กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๔๐๐ | ไม่เกิน ๓๒๐ |
| ๒. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) (ส่วนในล้านส่วน) | ๒.๑ หม้อไอน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ | | |
| | (๑) น้ำมันเตา | - | ไม่เกิน ๙๕๐ |
| | (๒) ถ่านหิน | - | ไม่เกิน ๗๐๐ |
| | (๓) ชีวมวล | - | ไม่เกิน ๖๐ |
| | (๔) เชื้อเพลิงอื่นๆ | - | ไม่เกิน ๖๐ |
| | ๒.๒ กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๕๐๐ | - |
| ๓. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งคำนวณในรูปของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (Oxides of nitrogen as Nitrogen dioxide) (ส่วนในล้านส่วน) | หม้อไอน้ำ หรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ | | |
| | (๑) น้ำมันเตา | - | ไม่เกิน ๒๐๐ |
| | (๒) ถ่านหิน | - | ไม่เกิน ๔๐๐ |
| | (๓) ชีวมวล | - | ไม่เกิน ๒๐๐ |
| | (๔) เชื้อเพลิงอื่นๆ | - | ไม่เกิน ๒๐๐ |
| ๔. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) (ส่วนในล้านส่วน) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๘๗๐ | ไม่เกิน ๖๙๐ |

| ชนิดของอากาศเสีย | แหล่งที่มาของอากาศเสีย | ค่าปริมาณของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจาก | |
|---|---|---|---|
| | | กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง | กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง |
| ๕. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) (ส่วนในล้านส่วน) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๑๐๐ | ไม่เกิน ๘๐ |
| ๖. ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๒๐๐ | ไม่เกิน ๑๖๐ |
| ๗. กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) (ส่วนในล้านส่วน) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๒๕ | - |
| ๘. ไซลีน (Xylene) (ส่วนในล้านส่วน) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๒๐๐ | - |
| ๙. ครีซอล (Cresol) (ส่วนในล้านส่วน) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๕ | - |
| ๑๐. พลวง (Antimony) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๒๐ | ไม่เกิน ๑๖ |
| ๑๑. สารหนู (Arsenic) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๒๐ | ไม่เกิน ๑๖ |
| ๑๒. ทองแดง (Copper) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๓๐ | ไม่เกิน ๒๔ |
| ๑๓. ตะกั่ว (Lead) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๓๐ | ไม่เกิน ๒๔ |
| ๑๔. คลอรีน (Chlorine) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๓๐ | ไม่เกิน ๒๔ |
| ๑๕. ปรอท (Mercury) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) | กระบวนการผลิต | ไม่เกิน ๓ | ไม่เกิน ๒.๔ |

ข้อ ๓ การรายงานผลการตรวจวัดอากาศเสีย ให้รายงานผล ดังต่อไปนี้

(๑) กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรอากาศเสียที่ออกซิเจน ($\%O_2$) ณ สภาวะจริงในขณะตรวจวัด

(๒) กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry Basis) โดยมีปริมาตรอากาศเสียที่ออกซิเจน ($\%O_2$) ร้อยละ ๗

ข้อ ๔ การตรวจวัดอากาศเสียแต่ละชนิดตามข้อ ๒ ให้ใช้วิธี ดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง ให้ใช้วิธี Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency) กำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๒) การตรวจวัดค่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources หรือวิธี Determination of Sulfuric Acid and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๓) การตรวจวัดค่าก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ให้ใช้วิธี Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๔) การตรวจวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ให้ใช้วิธี Determination of Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๕) การตรวจวัดค่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Sulfide, Carbonyl Sulfide and Carbon Disulfide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๖) การตรวจวัดค่าก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Non-Isokinetic หรือวิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Isokinetic ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๗) การตรวจวัดค่ากรดกำมะถัน ให้ใช้วิธี Determination of Sulfuric Acid and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๘) การตรวจวัดค่าไซลีน ให้ใช้วิธี Measurement of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๙) การตรวจวัดค่าครีซอล ให้ใช้วิธี Measurement of Gaseous Organic Compound Emissions by Gas Chromatography ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๑๐) การตรวจวัดค่าพลวง ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๑๑) การตรวจวัดค่าสารหนู ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๑๒) การตรวจวัดค่าทองแดง ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๑๓) การตรวจวัดค่าตะกั่ว ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๑๔) การตรวจวัดค่าคลอรีน ให้ใช้วิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Non-Isokinetic หรือวิธี Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources Isokinetic ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๑๕) การตรวจวัดค่าสารปรอท ให้ใช้วิธี Determination of Metals Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นชอบโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๕ ประกาศนี้ไม่ใช้บังคับกับแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีการกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสีย ตามกฎหมายว่าด้วยส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติไว้เป็นการเฉพาะแล้ว

ข้อ ๖ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๕ เมษายน พ.ศ. ๒๕๔๙

ยงยุทธ ติยะไพรัช

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

# ภาคผนวก ข

# แสดงตัวอย่าง Mill Certificates

# ภาคผนวก ข-1

# ตัวอย่าง Mill Certificates ของ อุปกรณ์ STRAINER

**WENZHOU WINDMILL VALVE CO.,LTD**
*ADD: Dong'ou Industrial Area, Oubei, Wenzhou , Zhejiang, China*
*TEL:0577-65755569 FAX:0577-65755565*

WINDMILL

## CHEMICAL ANALYSIS OF MATERIAL CERTIFAICATE
## INSPECTION CERTIFAICATE
## EN 10204 3.1B

Client: CUSTOMER NAME | Valve Types: y type strainer | Page: 1/1
Project: BE1328 | Order No.: WM001 | Date: 8th-June-2010

| Item No. | Qty | Type | Class(LB) | Size | Material | | | | | Hydrostatic Test | | | | Air Test | | Type | Temp (℃) | Result |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Body/ Bonnet | Screen | Seat | Disc | Bolts /Nuts | Body (MPA) | Duration time(s) | Seat/Back Seat (MPA) | Duration time(s) | Seal (MPA) | Duration time(s) | | | |
| 1 | 2 | Strainer | 150LB | 2" | WCB | SS304 | | | B7/2H | 3.0 | 120 | 2.2 | 60 | 0.6 | 120 | API 598 | 35 | OK |
| 2 | 2 | Strainer | 150LB | 4" | WCB | SS304 | | | B7/2H | 3.0 | 120 | 2.2 | 60 | 0.6 | 120 | API 598 | 35 | OK |
| 3 | 10 | Strainer | 150LB | 8" | WCB | SS304 | | | B7/2H | 3.0 | 120 | 2.2 | 60 | 0.6 | 120 | API 598 | 35 | OK |

| Item No. | Series No. Valve Type | Name of Parts | Heat No. | Chemical Analysis(%) | | | | | | | | | | | Mechanical Properties | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | C | Mn | P | S | Si | Cr | Mo | Ni | Cu | V | Nb | Tensile Strength (MPA) | Mechanical Properties Yield Point (MPA) | Elongation (%) | R.A (%) | Hardness(HB) |
| 1 | 2" Strainer | BODY | 8678 | 0.205 | 0.730 | 0.028 | 0.027 | 0.042 | 0.027 | 0.001 | 0.027 | 0.039 | 0.001 | | 514 | 276 | 26 | 37 | |
| | | BONNET | 8678 | 0.205 | 0.730 | 0.028 | 0.027 | 0.042 | 0.027 | 0.001 | 0.027 | 0.039 | 0.001 | | 514 | 276 | 26 | 37 | |
| 2 | 4" Strainer | BODY | 8678 | 0.205 | 0.730 | 0.028 | 0.027 | 0.042 | 0.027 | 0.001 | 0.027 | 0.039 | 0.001 | | 514 | 276 | 26 | 37 | |
| | | BONNET | 8678 | 0.205 | 0.730 | 0.028 | 0.027 | 0.042 | 0.027 | 0.001 | 0.027 | 0.039 | 0.001 | | 514 | 276 | 26 | 37 | |
| 2 | 8" Strainer | BODY | 8678 | 0.205 | 0.730 | 0.028 | 0.027 | 0.042 | 0.027 | 0.001 | 0.027 | 0.039 | 0.001 | | 514 | 276 | 26 | 37 | |
| | | BONNET | 8678 | 0.205 | 0.730 | 0.028 | 0.027 | 0.042 | 0.027 | 0.001 | 0.027 | 0.039 | 0.001 | | 514 | 276 | 26 | 37 | |

DESIGN AND MANUFACTURING CONFORM TO API600, TESTING ACCORDING TO API598.

Remarks: We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of the order contract.

# ภาคผนวก ข-2

# ตัวอย่าง Mill Certificates ของ เหล็กม้วน (COIL)

ESSAR STEEL LTD.

HAZIRA - 394270, DIST. SURAT, GUJARAT, INDIA

# WORKS TEST CERTIFICATE

Test Certificate No : ESH/TC/2007/W/354759 Date : 29.11.2007

Sales Order No : 9004756 Date : 03.11.2007

DC No. : 900475690070635

PO NO. : RO/CHENNAI/NOVEMBER/ Date : 03.11.2007

Steel Quality Specification as per : CUST SPEC

Essar Grade : SRGENT2

To : ESSAR STEEL LTD. - CHENNAI
D-10/N, SIPCOT INDUSTRIAL ESTATE,
Gummidipoondi
THIRUVALLUR
THIRUVALLUR, TAMIL NADU
Tamil Nadu 601201
INDIA

Destination : TIRUVALLUR

WE CERTIFY THAT THE UNDERMENTIONED MATERIAL DESCRIBED AGAINST THE RESPECTIVE CAST NUMBER HAVE SATISFIED THE REQUIREMENTS OF CHEMICAL COMPOSITION AND/OR PHYSICAL TESTS OF THE RESPECTIVE SPECIFICATION(S) AS FOUND IN THE REPRESENTATIVE SAMPLES SELECTED FROM HSM.

| Item No. | Section/Size T X W X L (mm) | Coil No. -Pack No. | Cast No. | No. Of Sheets | Quantity Net Wt. | Cast Analysis C % | Mn % | P % | S % | Si % | Al % | N % | MAE % | CE % | Mechanical Properties YS MPa | UTS MPa | EL % | BEND |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0010 | 12.00 X 1800 X 8000 | G6816250OD | A52701 | 3 | 4.107 | 0.187 | 1.100 | 0.013 | 0.010 | 0.075 | 0.046 | 0.004 | 0.000 | 0.375 | 307 | 443 | 30 | OK |
| 0010 | 12.00 X 1800 X 8000 | G6816260OD | A52701 | 3 | 4.105 | 0.187 | 1.100 | 0.013 | 0.010 | 0.075 | 0.046 | 0.004 | 0.000 | 0.375 | 307 | 443 | 30 | OK |
| 0010 | 12.00 X 1800 X 8000 | G6816270OD | A52701 | 2 | 2.730 | 0.187 | 1.100 | 0.013 | 0.010 | 0.075 | 0.046 | 0.004 | 0.000 | 0.375 | 307 | 443 | 30 | OK |
| | | | TOTAL | | 10.942 | | | | | | | | | | | | | |

Note:1.Test Certificate conforms to EN 10204-3.1. 2.The material supplied conforms to the standard rolling & weight tolerances.
3.PROCESS ROUTE:EAF-ERF/VD-CCM-HSM and fully killed. 4.1MPa = 1N/mm2 = 0.102Kgf/mm2. 5.G.L.= 5.65sqrt(Ao)unless specified.
Legend:- CE:Carbon Equivalent,YS:Yield Strength,UTS:Ultimate Tensile Strength,EL:Elongation,MAE=(Nb+Ti+V),MICR:Microstructure
ASTM:Grain Size,SAE:Strainage Embrittlement test,CUP:Cupping value,IMPC=Impact in Joules,HARD:Hardness.
Remarks :

Manager (Quality Assurance)
For ESSAR STEEL LTD.
QAC/ESL/2459/F.//01.02.2003.

# ภาคผนวก ข-3

# ตัวอย่าง Mill Certificates ของ หน้าแปลน

# 质量检验证明书

Wenzhou Bangda Pipe Fittings Co,. LTD　　**CERTIFICATE of Quality**　　No.:

| 产品名称 Produt name | 炉号 Heat No. | 钢号 Steel grade | 热处理炉批号 Annealing No. | 规格 Size | 件数 Quantity | 重量（Kg） Weight | 交货状态 Condition of Delivery | 产品标准 Specification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FLANGES SLIP-ON | Y90374 | TP-304 | / | 1″ | 100 | 80 | 固溶/solution | B16.5 |
| FLANGES SLIP-ON | Y90374 | TP-304 | / | 1.1/4″ | 100 | 107 | 固溶/solution | B16.5 |
| FLANGES SLIP-ON | Y90374 | TP-304 | / | 1.1/2″ | 200 | 274 | 固溶/solution | B16.5 |
| FLANGES SLIP-ON | Y90374 | TP-304 | / | 2.1/2″ | 100 | 332 | 固溶/solution | B16.5 |
| FLANGES SLIP-ON | Y90374 | TP-304 | / | 3″ | 100 | 383 | 固溶/solution | B16.5 |
| FLANGES SLIP-ON | Y90374 | TP-304 | / | 4″ | 30 | 162 | 固溶/solution | B16.5 |
| FLANGES SLIP-ON | Y90374 | TP-304 | / | 6″ | 10 | 75 | 固溶/solution | B16.5 |

| 化学成份（%）Chemical Composition(%) | | | | | | | | | 力学试验 Tensile Test | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Mn | P | S | Si | Ni | Cr | Mo | Ti | 屈服点 Mpa | 抗拉强度 Mpa | 延伸率 s% |
| 0.046 | 1.01 | 0.032 | 0.002 | 0.46 | 8.04 | 18.11 | / | / | 210 | 530 | 45 |
| 0.046 | 1.01 | 0.032 | 0.002 | 0.46 | 8.04 | 18.11 | / | / | 210 | 530 | 45 |
| 0.046 | 1.01 | 0.032 | 0.002 | 0.46 | 8.04 | 18.11 | / | / | 210 | 530 | 45 |
| 0.046 | 1.01 | 0.032 | 0.002 | 0.46 | 8.04 | 18.11 | / | / | 210 | 530 | 45 |
| 0.046 | 1.01 | 0.032 | 0.002 | 0.46 | 8.04 | 18.11 | / | / | 210 | 530 | 45 |
| 0.046 | 1.01 | 0.032 | 0.002 | 0.46 | 8.04 | 18.11 | / | / | 210 | 530 | 45 |
| 0.046 | 1.01 | 0.032 | 0.002 | 0.46 | 8.04 | 18.11 | / | / | 210 | 530 | 45 |

| 晶间腐蚀试验 Corrosion Test | 表面质量 Surface Quality | 外形尺寸 Contour Dimension | 超声波探伤 rasonnic Examinat | 涡流探伤 Eddy Current | 晶粒度 Grain Size | 扩口试验 Drift Expanding | 压扁试验 Flatting Test | 展平试验 Flattening Test | 水压试验 Water Pressure Test |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OK | OK | OK | / | / | OK | / | / | OK | / |

请提宝贵意见，来函请写明<检验证明>编号、钢管的炉号、
钢号、规格、只数、重量及不符合情况，以便查对改进
Please put forward valuable suggestion in the little and inscribe number of certification of quality. The size the piece number of weight and quantity in order to check and improve.

技质部（章）　检验员：
审　核：
日期：2009 年 11 月12 日



ใบรับรองการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุในโรงงานผู้ผลิต

# ภาคผนวก ข-4

# ตัวอย่าง Mill Certificates ของ เหล็กแผ่น

Form WQ-12 (Rev 0709)

# Mill Test Certificate

**To EN 10204 3.1**
**Traceability Sheets/Mill/Pressure**

FBV Engineered Solutions
**FBV INC.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| CUSTOMER: | | PURCHASE REF.: | CERTIFICATE NO.: |
| P.O. NO.: | | | ISSUE DATE: 20-Oct-09 |

**PRODUCT INFORMATION**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VALVE TYPE: | | SIZE: | | RATING: | | ELECTROLESS NICKEL PLATE (ENP) | ☐ NOT APPLICABLE |
| STANDARD: | ASME B16.34 | MARK: | FBV | QTY: | | NACE MR01-75/ISO 15156-2 | ☐ NOT APPLICABLE |
| SERIAL NO.: | | | | | | FIRE SAFE DESIGN | ☐ NOT APPLICABLE |

DESCRIPTION:

**PRESSURE TEST AND INSPECTION** (TEST ACCORDING TO API 598)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ☐ SHELL TEST (HYDROSTATIC) | PRESSURE: | | DURATION: | | RESULT: | DIMENSIONAL INSPECTION: | ☐ OK |
| ☐ H.P. CLOSURE TEST (HYDROSTATIC) | PRESSURE: | | DURATION: | | RESULT: | VISUAL INSPECTION: | ☐ OK |
| ☐ L.P. CLOSURE TEST (AIR) | PRESSURE: | | DURATION: | | RESULT: | OPERATIONAL INSPECTION: | ☐ OK |
| ☐ BACKSEAT TEST (HYDROSTATIC) | PRESSURE: | | DURATION: | | RESULT: | | |

**OTHER PARTS AND MATERIALS**

| PART NAME | MATERIAL | PART NAME | MATERIAL |
|---|---|---|---|

**SEATING SURFACE MATERIAL**

| PART NAME | BASE MATERIAL | FACE MATERIAL |
|---|---|---|

| **DESCRIPTION** | | | **CHEMICAL COMPOSITION % (≤)** | | | | | | | | | | | **MECHANICAL PROPERTIES(≥)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PART NAME | HEAT NO. | MATERIAL | C | Mn | P | S | Si | Cu | Ni | Cr | Mo | V | Nb | Other | T.S. MPa | Y.P. MPa | EL. (%) | R.A. (%) | Hardness (HB) |

Sample

NOTE:

41-22 Fuller Place, Flushing,
NY 11355 USA
T: 347-535-0788 F: 347-436-3221
sales@fbvalve.com

® Registered Trademard of FBV Inc.
© 2008 FBV All rights reserved

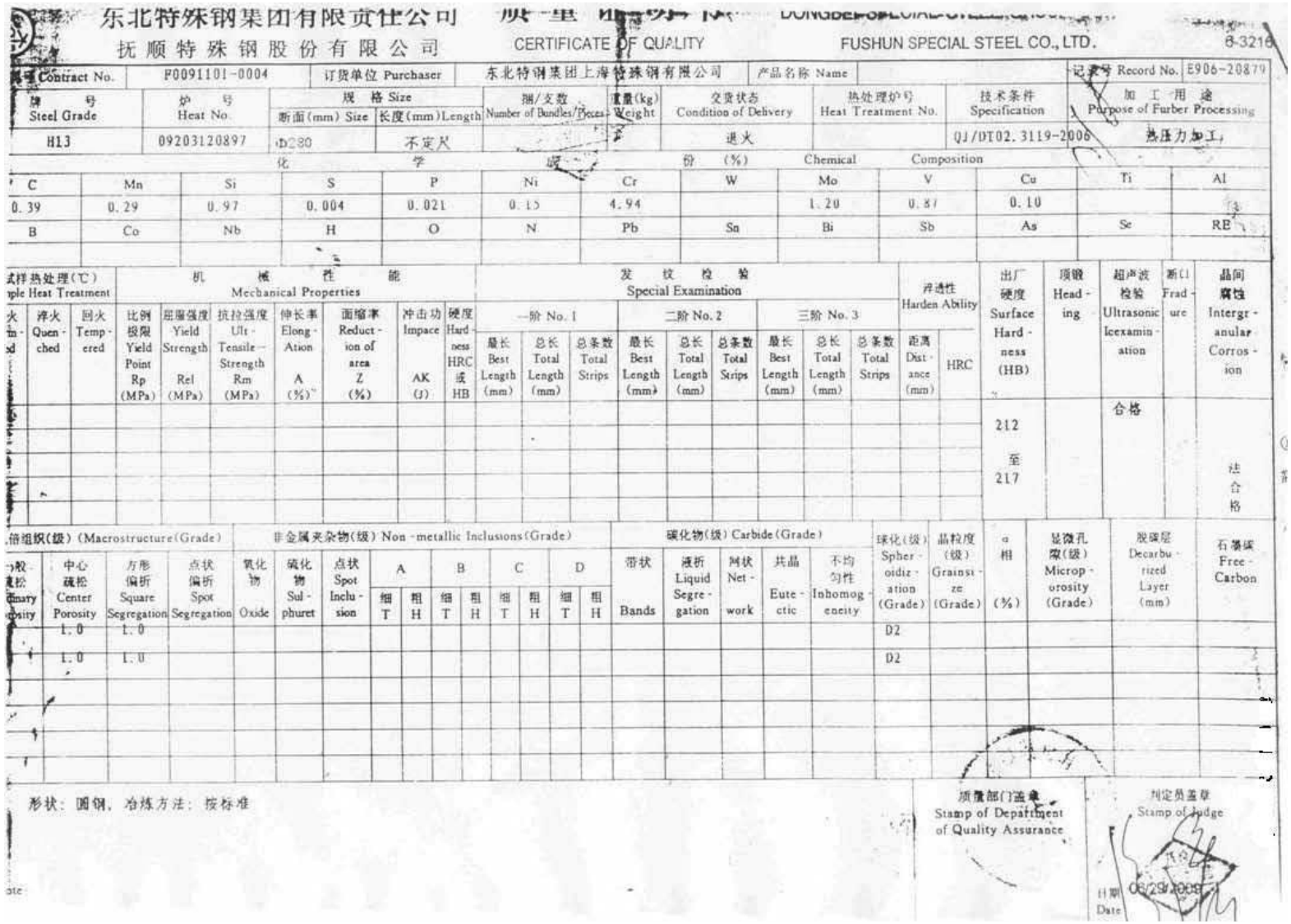
WE HEREBY CERTIFY, THAT THE MATERIAL AND THE PRODUCT DESCRIBED ABOVE HAS BEEN TESTED AND COMPLIED WITH THE TERMS OF THE ORDER

INSPECTED BY _____ REVIEWED BY _____

QUALITY ASSURANCE MANAGER _____



ใบรับรองวัสดุตามมาตรฐานผู้ผลิตวัสดุ



东北特殊钢集团有限责任公司
抚顺特殊钢股份有限公司
CERTIFICATE OF QUALITY
FUSHUN SPECIAL STEEL CO., LTD.
8-3216

| Contract No. | F0091101-0004 | 订货单位 Purchaser | 东北特钢集团上海特殊钢有限公司 | 产品名称 Name | | 记录号 Record No. | E906-20879 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| 牌号 Steel Grade | 炉号 Heat No. | 规格 Size 断面(mm) Size | 长度(mm) Length | 捆/支数 Number of Bundles/Pieces | 重量(kg) Weight | 交货状态 Condition of Delivery | 热处理炉号 Heat Treatment No. | 技术条件 Specification | 加工用途 Purpose of Furber Processing |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H13 | 09203120897 | Φ280 | 不定尺 | | | 退火 | | QJ/DT02.3119-2006 | 热压力加工 |

化学成份 (%) Chemical Composition

| C | Mn | Si | S | P | Ni | Cr | W | Mo | V | Cu | Ti | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.39 | 0.29 | 0.97 | 0.004 | 0.021 | 0.15 | 4.94 | | 1.20 | 0.87 | 0.10 | | |
| B | Co | Nb | H | O | N | Pb | Sn | Bi | Sb | As | Se | RE |
| | | | | | | | | | | | | |

| 试样热处理(℃) Sample Heat Treatment | | | 机械性能 Mechanical Properties | | | | | | | 发纹检验 Special Examination | | | | | | | | 淬透性 Harden Ability | | 出厂硬度 Surface Hardness (HB) | 顶锻 Heading | 超声波检验 Ultrasonic Icexamination | 断口 Fracture | 晶间腐蚀 Intergranular Corrosion |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | 一阶 No. 1 | | | 二阶 No. 2 | | | 三阶 No. 3 | | | | | | | | |
| 火 in-ed | 淬火 Quenched | 回火 Tempered | 比例极限 Yield Point Rp (MPa) | 屈服强度 Yield Strength Rel (MPa) | 抗拉强度 Ult-Tensile Strength Rm (MPa) | 伸长率 Elong-Ation A (%) | 面缩率 Reduction of area Z (%) | 冲击功 Impace AK (J) | 硬度 Hardness HRC 或 HB | 最长 Best Length (mm) | 总长 Total Length (mm) | 总条数 Total Strips | 最长 Best Length (mm) | 总长 Total Length (mm) | 总条数 Total Strips | 最长 Best Length (mm) | 总长 Total Length (mm) | 总条数 Total Strips | 距离 Distance (mm) | HRC | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 212 至 217 | | 合格 | | 合格 |

| 宏组织(级) (Macrostructure(Grade) | | | | 非金属夹杂物(级) Non-metallic Inclusions(Grade) | | | | | | | | | | 碳化物(级) Carbide(Grade) | | | | | 球化(级) Spheroidization (Grade) | 晶粒度(级) Grainsize (Grade) | α相 (%) | 显微孔隙(级) Microporosity (Grade) | 脱碳层 Decarburized Layer (mm) | 石墨碳 Free-Carbon |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 一般 ordinary | 中心疏松 Center Porosity | 方形偏析 Square Segregation | 点状偏析 Spot Segregation | 氧化物 Oxide | 硫化物 Sulphuret | 点状 Spot Inclusion | A 细 T | A 粗 H | B 细 T | B 粗 H | C 细 T | C 粗 H | D 细 T | D 粗 H | 带状 Bands | 液析 Liquid Segregation | 网状 Network | 共晶 Eutectic | 不均匀性 Inhomogeneity | | | | | | |
| | 1.0 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | D2 | | | | | |
| | 1.0 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | D2 | | | | | |

形状：圆钢，冶炼方法：按标准

质量部门盖章 Stamp of Department of Quality Assurance

判定员盖章 Stamp of Judge

日期 Date 08/29/2009

# ภาคผนวก ข-5

# ตัวอย่าง Mill Certificates ของ วาล์ว

# MILL TEST CERTIFICATES

INSPECTION NO: SGBH070131 DATE: 2007-1-31
CONTRACT NO: 2007 SHRT/001 TYPE: D373F
NAME OF COMMODITY: Butterfly Valve SIZE (inch): 14"
PRESSURE: 150Lb QUANTITY: 4 ea

## TABLE OF VALVE TEST

| | | | |
|---|---|---|---|
| PRESSURE TEST (LIQUID) | PRESSURE TEST: 3.0 Mpa | SEAL TEST (LIQUID) | PRESSURE TEST: 2.2 Mpa |
| | PRESSURE DURATION: 120 S | | PRESSURE DURATION: 120 S |
| | TEST RESULT: OK | | TEST RESULT: OK |

## TABLE OF VALVE CAPACITY TEST

| BODY/CAP MATERIAL | Disc & Stem Material | PROCESS METHOD | CAPACITY TEST |
|---|---|---|---|
| ASTM A216 WCB | ASTM A351 CF8M | PRECISION MACHINING | CHEMICAL ELEMENT ANALYSIS |

## MECHANICAL CAPACITY TEST

| Material No. | TENSILE STRENGTH σb(MPa) | YIELD STRENGTH σs(MPa) | ELONGATION δ (%) | REDUCTION OF AREA ψ (%) | HARDNESS (HB) |
|---|---|---|---|---|---|
| A216 WCB | 490 | 265 | 25 | 35 | 180 |
| A351 CF8M | 520 | 210 | 30 | 42 | 185 |

## MATERIAL CHEMICAL CAPACITY ANALYSIS

| Material No. | C | Mn | Si | P | S | Cr | Mo | Cu | Ni | Ti | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A216 WCB | 0.21 | 0.471 | 0.282 | 0.015 | 0.011 | 0.22 | 0.11 | / | 0.26 | / | / |
| A351 CF8M | 0.026 | 1.32 | 0.72 | 0.024 | 0.022 | 18.56 | 2.22 | / | 10.82 | / | / |

THE TEST AND INSPECTION OF VALVES IS IN ACCORDANCE WITH API598.
ALL THE VALVES ARE TESTED AND ALLOWED TO LEAVE FACTORY.

INSPECTION DEPT CHECKE

MANUFACTURER: SHANGHAI METAL VALVE MANUFACTURE CO. LTD
TEL: 021-59176868 FAX 021-69120274

# ภาคผนวก ข-6

# ตัวอย่าง Manufacturing Data Report : MDR

04

## FORM P-2A MANUFACTURERS' DATA REPORT FOR ALL TYPES OF ELECTRIC BOILERS
### As Required by the Provisions of the ASME Code Rules, Section I

PART I —— To Be Completed by the Manufacturer of the Boiler Pressure Vessel

1. Manufactured by ① (Name and address of manufacturer of boiler pressure vessel)
2. Manufactured for ② (Name and address of purchaser)
3. Location of Installation ③ (Name and address)
4. Type ④ (resistance element, electrode) Boiler No. ⑤ (Mfr's. Serial No.) ⑤ (CRN)
   ⑤ (Drawing No.) ⑤ (Nat'l. Brd. No.) Year Built ⑥
5. The chemical and physical properties of all parts meet the requirements of Material Specifications of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE. The design, construction, and workmanship conform to Section I of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code ⑦ (year), Addenda to ⑧ (date), and Code Cases _____ (Numbers).

   Manufacturer's Partial Data Reports properly identified and signed by Commissioned Inspectors are attached for the following items of this report:

   ⑨ (Name of part, item number, mfr's. name and identifying stamp)

6. Shells or drums: ⑩ (no.) ⑪ (mat'l. spec. gr.) [thickness (in.)] [dia (ID)] (length, inside) [dia (ID)] (length, inside)
7. Joints: ⑫ [long (seamless, welded)] ⑬ [efficiency (as compared to seamless)] ⑭ [girth (seamless, welded)] (no. of shell courses)
8. Heads _____ (Mat'l. Spec. No.: thickness — flat, dished, ellipsoidal — radius of dish)
9. Other Parts. 1. ⑮ 2. _____ 3. _____ (Brief description — i.e., dome, boiler piping, etc.)
   1. ⑯ ⑰
   2. _____
   3. _____ (Mat'l. Spec., Gr., size, material thickness, MAWP)
10. Openings: (a) Steam ⑱ (No., size, and type) (b) Safety Valve _____ (No., size, and type)
    (c) Blowoff _____ (No., size, and type) (d) Feed _____ (No., size, type, and location)
    (e) Manholes: No. _____ Size _____ Location _____
    (f) Handholes: No. _____ Size _____ Location _____
    (g) Elements/Electrodes: No. _____ Size _____ Location _____
11. Boiler Supports: No. _____ Type _____ (saddles, legs, lugs)
    Attachment _____ (bolted or welded)
12. MAWP ⑲ psi Based on ㉓ (Code para. and/or formula)
13. Shop Hydrostatic Test ㉒ psig 14. Maximum Designed Steaming Capacity _____ lb/hr
15. Remarks _____

### ㉓ CERTIFICATE OF COMPLIANCE OF BOILER PRESSURE VESSEL

We certify the statements in Part I of this Data Report to be Correct.

Our Certificate of Authorization No. ㉔ to use the (S) or (M) ㉔

Symbol expires ㉔

Date _____ Signed _____ (Authorized Representative) Name _____ (Mfr. of boiler pressure vessel)



Copyright ASME International
Provided by IHS under license with ASME
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NONMANDATORY APPENDIX A

**FORM P-2A (Back)**

**㉘ CERTIFICATE OF SHOP INSPECTION OF BOILER PRESSURE VESSEL**

BOILER PRESSURE VESSEL MADE BY _____ at _____

I, the undersigned, holding a valid commission issued by the National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors and/or the State or Province of _____ ㉙ _____ and employed by _____

_____ have inspected parts of this boiler pressure vessel referred to as data items _____ ㉗ _____

and have examined Manufacturer's Partial Data Reports for items _____ ㉘ _____

and state that, to the best of my knowledge and belief, the manufacturer has constructed this boiler pressure vessel in accordance with the applicable sections of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.

By signing this certificate neither the Inspector nor his employer makes any warranty, expressed or implied, concerning the boiler pressure vessel described in this Manufacturer's Data Report. Furthermore, neither the Inspector nor his employer shall be liable in any manner for any personal injury or property damage or a loss of any kind arising from or connected with this inspection.

Date _____

_____ Commissions _____ ㉙ _____

(Authorized Inspector) [Nat'l. Board (incl. endorsements), State, Province, and No.]

Part II—To Be Completed by the Manufacturer Responsible for the Completed Boiler

16.

| Item | Piping ㉝ | | | | Valves ㉛ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Size | Sch. | Spec. | Bolted, Threaded, or Welded | Size | Type | Rating | No. |
| (a) Steam Pipe | | | | | | | | |
| (b) Feed Water | | | | | Stop | | | |
| Feed Water | | | | | Check | | | |
| (c) Blowoff | | | | | | | | |

17. Safety Valves(s) No. _____ Size _____ Set Press _____ Total Capacity lb/hr _____

18. Heating Elements Installed: Quantity _____ kW Total _____

19. Electrodes: Quantity _____ kW Total _____

20. Hydrostatic Test of Completed Boiler _____ psig MAWP of completed boiler _____ psig

21. Serial No. Assigned by Manufacturer Responsible for Completed Boiler _____ ㉕ _____

**㉜ CERTIFICATE OF COMPLIANCE OF COMPLETED BOILER**

We certify that this completed boiler conforms with the requirements of SECTION I of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.

Our Certificate of Authorization No. _____ ㉔ _____ to use the (S), (M), or (E) _____ ㉔ _____

Symbol expires _____ ㉔ _____

Date _____ Signed _____ By _____

(Authorized Representative) (Assembler)

**CERTIFICATE OF SHOP INSPECTION OF COMPLETED BOILER**

BOILER MADE BY _____ at _____

I, the undersigned, holding a valid commission issued by the National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors and/or the State or Province of _____ ㉙ _____ and employed by _____

of _____ and have inspected the completed boiler and have examined Manufacturer's Partial Data Reports for _____ ㉞ _____

and state that, to the best of my knowledge and belief, the Manufacturer has constructed this boiler in accordance with the applicable sections of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.

By signing this certificate neither the Inspector nor his employer makes any warranty, expressed or implied, concerning the boiler described in this Manufacturer's Data Report. Furthermore, neither the Inspector nor his employer shall be liable in any manner for any personal injury or property damage or a loss of any kind arising from or connected with this inspection.

Date _____

_____ Commissions _____ ㉙ _____

(Authorized Inspector) [Nat'l. Board (incl. endorsements), State, Province, and No.]



Copyright ASME International
Provided by IHS under license with ASME
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

**FORM P-2A-M MANUFACTURERS' DATA REPORT FOR ALL TYPES OF ELECTRIC BOILERS**
**As Required by the Provisions of the ASME Code Rules, Section I**

PART I —— To Be Completed by the Manufacturer of the Boiler Pressure Vessel

1. Manufactured by ① (Name and address of manufacturer of boiler pressure vessel)
2. Manufactured for ② (Name and address of purchaser)
3. Location of Installation ③ (Name and address)
4. Type ④ (resistance element, electrode) Boiler No. ⑤ (Mfr's. Serial No.) ⑤ (CRN)
   ⑤ (Drawing No.) ⑥ (Nat'l. Brd. No.) Year Built ⑥
5. The chemical and physical properties of all parts meet the requirements of Material Specifications of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE. The design, construction, and workmanship conform to Section I of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code ⑦ (year), Addenda to ⑧ (date), and Code Cases _____ (Numbers).
   Manufacturer's Partial Data Reports properly identified and signed by Commissioned Inspectors are attached for the following items of this report: ⑨
   (Name of part, item number, mfr's. name and identifying stamp)
6. Shells or drums: ⑩ (no.) ⑪ (mat'l. spec. gr.) [thickness (mm)] [dia (ID)] (length, inside) [dia (ID)] (length, inside)
7. Joints: ⑫ [long (seamless, welded)] ⑬ [efficiency (as compared to seamless)] ⑭ [girth (seamless, welded)] (no. of shell courses)
8. Heads _____ (Mat'l. Spec. No.: thickness — flat, dished, ellipsoidal — radius of dish)
9. Other Parts. 1. ⑮ 2. _____ 3. _____ (Brief description — i.e., dome, boiler piping, etc.)
   1. ⑯ ⑰
   2. _____
   3. _____ (Mat'l. Spec., Gr., size, material thickness, MAWP)
10. Openings: (a) Steam ⑱ (No., size, and type) (b) Safety Valve _____ (No., size, and type)
    (c) Blowoff _____ (No., size, and type) (d) Feed _____ (No., size, type, and location)
    (e) Manholes: No. _____ Size _____ Location _____
    (f) Handholes: No. _____ Size _____ Location _____
    (g) Elements/Electrodes: No. _____ Size _____ Location _____
11. Boiler Supports: No. _____ Type _____ (saddles, legs, lugs)
    Attachment _____ (bolted or welded)
12. MAWP ⑲ kPa Based on ㉓ (Code para. and/or formula)
13. Shop Hydrostatic Test ㉒ kPa 14. Maximum Designed Steaming Capacity _____ kg/hr
15. Remarks _____

**㉓ CERTIFICATE OF COMPLIANCE OF BOILER PRESSURE VESSEL**

We certify the statements in Part I of this Data Report to be Correct.
Our Certificate of Authorization No. ㉔ to use the (S) or (M) ㉔
Symbol expires ㉔
Date _____ Signed _____ (Authorized Representative) Name _____ (mfr. of boiler pressure vessel)



Copyright ASME International
Provided by IHS under license with ASME
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NONMANDATORY APPENDIX A

**FORM P-2A-M (Back)**

**㉘ CERTIFICATE OF SHOP INSPECTION OF BOILER PRESSURE VESSEL**

BOILER PRESSURE VESSEL MADE BY _____ at _____

I, the undersigned, holding a valid commission issued by the National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors and/or the State or Province of _____ ㉙ _____ and employed by _____

_____ have inspected parts of this boiler pressure vessel referred to as data items _____ ㉗ _____

and have examined Manufacturer's Partial Data Reports for Items _____ ㉘ _____

and state that, to the best of my knowledge and belief, the manufacturer has constructed this boiler pressure vessel in accordance with the applicable sections of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.

By signing this certificate neither the Inspector nor his employer makes any warranty, expressed or implied, concerning the boiler pressure vessel described in this Manufacturer's Data Report. Furthermore, neither the Inspector nor his employer shall be liable in any manner for any personal injury or property damage or a loss of any kind arising from or connected with this inspection.

Date _____

_____ Commissions _____ ㉙ _____

(Authorized Inspector) [Nat'l. Board (incl. endorsements), State, Province, and No.]

Part II—To Be Completed by the Manufacturer Responsible for the Completed Boiler

16.

| Item | Piping ㉜ | | | | Valves ㉛ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Size | Sch. | Spec. | Bolted, Threaded, or Welded | Size | Type | Rating | No. |
| (a) Steam Pipe | | | | | | | | |
| (b) Feed Water | | | | | Stop | | | |
| Feed Water | | | | | Check | | | |
| (c) Blowoff | | | | | | | | |

17. Safety Valves(s) No. _____ Size _____ Set Press _____ Total Capacity kg/hr _____

18. Heating Elements Installed: Quantity _____ kW Total _____

19. Electrodes: Quantity _____ kW Total _____

20. Hydrostatic Test of Completed Boiler _____ kPa MAWP of completed boiler _____ kPa

21. Serial No. Assigned by Manufacturer Responsible for Completed Boiler _____ ㉕ _____

**㉒ CERTIFICATE OF COMPLIANCE OF COMPLETED BOILER**

We certify that this completed boiler conforms with the requirements of SECTION I of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.

Our Certificate of Authorization No. _____ ㉔ _____ to use the (S), (M), or (E) _____ ㉔ _____

Symbol expires _____ ㉔ _____

Date _____ Signed _____ By _____

(Authorized Representative) (Assembler)

**CERTIFICATE OF SHOP INSPECTION OF COMPLETED BOILER**

BOILER MADE BY _____ at _____

I, the undersigned, holding a valid commission issued by the National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors and/or the State or Province of _____ ㉙ _____ and employed by _____

of _____ and have inspected the completed boiler and have examined Manufacturer's Partial Data Reports for _____ ㉞ _____

and state that, to the best of my knowledge and belief, the Manufacturer has constructed this boiler in accordance with the applicable sections of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.

By signing this certificate neither the Inspector nor his employer makes any warranty, expressed or implied, concerning the boiler described in this Manufacturer's Data Report. Furthermore, neither the Inspector nor his employer shall be liable in any manner for any personal injury or property damage or a loss of any kind arising from or connected with this inspection.

Date _____

_____ Commissions _____ ㉙ _____

(Authorized Inspector) [Nat'l. Board (incl. endorsements), State, Province, and No.]



Copyright ASME International
Provided by IHS under license with ASME
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

## A-351.1 GUIDE FOR COMPLETING MANUFACTURERS' DATA REPORT, FORMS P-2A AND P-2A-M (See PG-112.2.1.1)

① Name and address of Manufacturer, i.e., maker of all components not covered by Partial Data Reports. When the boiler pressure vessel is constructed by a "U" symbol holder and certified on a U-1 or U-1A Data Report, indicate on Line 1 "Boiler pressure vessel constructed to Section VIII, Division 1, as permitted by Part PEB," and attach the U-1 or U-1A Data Report.

② Name and address of purchaser and/or owner (to be completed by the Manufacturer of the completed boiler).

③ Name and address of location where boiler is to be installed. If not known, so indicate (e.g., "Not known—built for stock") (to be completed by the Manufacturer of the completed boiler).

④ Show type of electric boiler documented by this Data Report.

⑤ Identification of boiler by applicable numbers. If intended for installation in Canada, indicate the Canadian Design Registration Number and drawing number.

⑤a The Manufacturer of the boiler pressure vessel shall apply the ASME Code symbol stamp and the National Board Number when required. It is his responsibility to complete Part I of the Data Report, and forward it with the vessel to the company who will apply the trim ("E" symbol holder). The Manufacturer responsible for the trim and completed boiler shall complete Part II of the Data Report and if the boiler is to be stamped "National Board," forward the original Data Report to the National Board for registration.

⑥ Year in which fabrication was completed in shop.

⑦ Date (year) of Section I Edition under which boiler was constructed.

⑧ Issue date of most recent Addenda to Section I under which boiler was constructed (e.g., "1990").

⑨ To be completed when one or more components comprising the boiler pressure vessel and furnished by others and certified by Partial Data Report(s), Form P-4.

⑩ Show quantity and inside dimensions in inches (millimeters). If more than two shells or drums are used, enter data in Line 9.

⑪ Show the complete ASME Material Specification No. and Grade as listed in the appropriate stress allowance table in the Appendix of Section I (e.g., "SA-285-B"). Exception: A specification number for a material not identical to an ASME Specification may be shown *only* if such material meets the criteria in the Foreword of this Section. When material is accepted through a Code Case, the applicable Case number shall be shown.

⑫ Indicate type of joint(s).

⑬ Show joint efficiency for welded joints.

⑭ Same as ⑫ above.

⑮ List parts not covered elsewhere on the data report. If insufficient space, attach a supplementary sheet (Form P-6).

⑯ Tabulate data for parts listed on Line 9.

⑰ Same as ⑪ above.

⑱ Show data for main and auxiliary steam outlets only. Does not apply to small openings for water column, controls, vents, etc.

⑲ Maximum allowable working pressure established in accordance with PG-21.

⑳ Show Section I paragraph that applies to the weakest part of the boiler pressure vessel as established by calculation or deformation test.

㉑ Deleted.

㉒ Hydrostatic pressure applied in accordance with PG-99 and witnessed by the Authorized Inspector.

㉓ To be completed and signed by an authorized representative of the Manufacturer.

㉔ Show Manufacturer's ASME Certificate of Authorization number, kind of symbol, and date of expiration of said authorization.

㉕ This certificate to be completed by the Authorized Inspection Agency representative who performs the in-shop inspection.



Copyright ASME International
Provided by IHS under license with ASME
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NONMANDATORY APPENDIX A

(26) To determine what goes in the space, you should be guided by the following:

*National Board Stamped Boilers and Pressure Vessels* (see Form P-2A Line 4)
After "and/or State or Province" in the certification blocks—

If the Inspector has a valid commission for the state or province where the Manufacturer's shop is located, insert the name of the state or province. If the Manufacturer is located in a non-Code state or province, insert the name of the state or province where the Inspector took his original examination to obtain his National Board Commission, provided he still has a valid commission for that state or province. Otherwise, if no valid commission, show the name of the state or province where he has a valid commission authorizing him to make the shop inspection.

*Boilers and Pressure Vessels Not Stamped National Board*
Follow the above procedure. However, in this case do not list any National Board Commission number after the Inspector's signature at the bottom of the block.

(27) Indicate in this space the data items covered on Form P-2 on Lines 6 through 14.

(28) Indicate by Line numbers those items furnished by others and for which Partial Data Reports (Form P-4) have been examined.

(29) The Inspector's National Board commission number must be shown when the boiler is stamped "National Board"; otherwise show only his state or province commission number. (See (26) above.)

(30) When piping is supplied with the boiler for steam, blowoff, and feedwater, complete this section. When welded piping is supplied by another stamp holder, leave blank, and provide separate Form P-4A.

(31) Complete this section when valves are furnished with the boiler.

(32) To be completed and signed by an authorized representative of the organization responsible for assembly of the boiler. Show ASME Certificate of Authorization number, kind of symbol, and date of said authorization. When the boiler pressure vessel is constructed by a "U" symbol holder and certified on a U-1 or U-1A Data Report, the "E" symbol holder shall complete Lines 1 through 4 of Part 1.

(33) This certificate to be completed by the Authorized Inspection Agency representative who performs the in-shop inspection. Leave blank where final shop inspection is not required as permitted by PEB-18.1.

(34) Indicate in this space if the welded piping is furnished by others and is covered on Form P-4A.

(35) Serial number assigned by the Manufacturer responsible for the completed boiler. This may be the same number as the serial number shown on Line 4.



Copyright ASME International
Provided by IHS under license with ASME
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

# ภาคผนวก ค

# แสดงคุณสมบัติของวัสดุ SA 516 เกรด 70

# ภาคผนวก ค-1

## ตาราง 1A ค่า “STRESS ALLOWANCE”

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;* SECTION VIII, DIVISION 1; AND SECTION XII
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES *S* FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

| Line No. | Nominal Composition | Product Form | Spec No. | Type/Grade | Alloy Designation/ UNS No. | Class/ Condition/ Temper | Size/Thickness, mm | P-No. | Group No. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Carbon steel | Plate | SA/AS 1548 | 7-460 | ... | ... | ≤ 150 | 1 | 2 |
| 2 | Carbon steel | Plate | SA/EN 10028-2 | P295GH | ... | ... | 57 < *t* ≤ 100 | 1 | 1 |
| 3 | Carbon steel | Plate | SA/EN 10028-2 | P295GH | ... | ... | ≤ 57 | 1 | 1 |
| 4 | Carbon steel | Plate | SA-455 | ... | K03300 | ... | 15 < *t* ≤ 19 | 1 | 2 |
| 5 | Carbon steel | Bar | SA-675 | 70 | ... | ... | ... | 1 | 2 |
| 6 | Carbon steel | Forgings | SA-105 | ... | K03504 | ... | ... | 1 | 2 |
| 7 | Carbon steel | Forgings | SA-181 | ... | K03502 | 70 | ... | 1 | 2 |
| 8 | Carbon steel | Castings | SA-216 | WCB | J03002 | ... | ... | 1 | 2 |
| 9 | Carbon steel | Forgings | SA-266 | 2 | K03506 | ... | ... | 1 | 2 |
| 10 | Carbon steel | Forgings | SA-266 | 4 | K03017 | ... | ... | 1 | 2 |
| 11 | Carbon steel | Forgings | SA-350 | LF2 | K03011 | 1 | ... | 1 | 2 |
| 12 | Carbon steel | Forgings | SA-350 | LF2 | K03011 | 2 | ... | 1 | 2 |
| 13 | Carbon steel | Forgings | SA-508 | 1 | K13502 | ... | ... | 1 | 2 |
| 14 | Carbon steel | Forgings | SA-508 | 1A | K13502 | ... | ... | 1 | 2 |
| 15 | Carbon steel | Forgings | SA-541 | 1 | K03506 | ... | ... | 1 | 2 |
| 16 | Carbon steel | Forgings | SA-541 | 1A | K03506 | ... | ... | 1 | 2 |
| 17 | Carbon steel | Cast pipe | SA-660 | WCB | J03003 | ... | ... | 1 | 2 |
| 18 | Carbon steel | Forgings | SA-765 | II | K03047 | ... | ... | 1 | 2 |
| 19 | Carbon steel | Plate | SA-515 | 70 | K03101 | ... | ... | 1 | 2 |
| 20 | Carbon steel | Plate | SA-516 | 70 | K02700 | ... | ... | 1 | 2 |
| 21 | Carbon steel | Plate | SA/JIS G3118 | SGV480 | ... | ... | ... | 1 | 2 |
| 22 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-671 | CB70 | K03101 | ... | ... | 1 | 2 |
| 23 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-671 | CC70 | K02700 | ... | ... | 1 | 2 |
| 24 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-672 | B70 | K03101 | ... | ... | 1 | 2 |
| 25 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-672 | C70 | K02700 | ... | ... | 1 | 2 |
| 26 | Carbon steel | Smls. pipe | SA-106 | C | K03501 | ... | ... | 1 | 2 |
| 27 | Carbon steel | Wld. tube | SA-178 | D | ... | ... | ... | 1 | 2 |
| 28 | Carbon steel | Wld. tube | SA-178 | D | ... | ... | ... | 1 | 2 |
| 29 | Carbon steel | Wld. tube | SA-178 | D | ... | ... | ... | 1 | 2 |
| 30 | Carbon steel | Smls. tube | SA-210 | C | K03501 | ... | ... | 1 | 2 |
| 31 | Carbon steel | Castings | SA-216 | WCC | J02503 | ... | ... | 1 | 2 |
| 32 | Carbon steel | Smls. & wld. fittings | SA-234 | WPC | K03501 | ... | ... | 1 | 2 |
| 33 | Carbon steel | Castings | SA-352 | LCC | J02505 | ... | ... | 1 | 2 |
| 34 | Carbon steel | Castings | SA-487 | 16 | ... | A | ... | 1 | 2 |
| 35 | Carbon steel | Plate | SA-537 | ... | K12437 | 3 | 100 < *t* ≤ 150 | 1 | 3 |
| 36 | Carbon steel | Smls. tube | SA-556 | C2 | K03006 | ... | ... | 1 | 2 |
| 37 | Carbon steel | Wld. tube | SA-557 | C2 | K03505 | ... | ... | 1 | 2 |
| 38 | Carbon steel | Cast pipe | SA-660 | WCC | J02505 | ... | ... | 1 | 2 |
| 39 | Carbon steel | Bar | SA-695 | B/40 | K03504 | ... | ... | 1 | 2 |
| 40 | Carbon steel | Bar | SA-696 | C | K03200 | ... | ... | 1 | 2 |

PART D — PROPERTIES (METRIC) **Table 1A**

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;* SECTION VIII, DIVISION 1; AND SECTION XII
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES *S* FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

| Line No. | Min. Tensile Strength, MPa | Min. Yield Strength, MPa | Applicability and Max. Temperature Limits (NP = Not Permitted) (SPT = Supports Only) I | III | VIII-1 | XII | External Pressure Chart No. | Notes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 460 | ... | 538 | NP | 538 | NP | CS-2 | G10, G37, S1, T1 |
| 2 | 460 | 260 | 454 | NP | 538 | 343 | CS-2 | G10, S1, T1 |
| 3 | 460 | ... | 454 | NP | 538 | 343 | CS-2 | G10, G37, S1, T1 |
| 4 | 485 | 240 | NP | 204 (Cl. 3 only) | 343 | 343 | CS-2 | ... |
| 5 | 485 | 240 | 454 | 343 (Cl. 3 only) | 538 | 343 | CS-2 | G10, G15, G22, G35, S1, T2 |
| 6 | 485 | 250 | 538 | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, G35, S1, T2 |
| 7 | 485 | 250 | 538 | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, G35, S1, T2 |
| 8 | 485 | 250 | 538 | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G1, G10, G17, S1, T2 |
| 9 | 485 | 250 | 538 | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, S1, T2 |
| 10 | 485 | 250 | NP | NP | 538 | 343 | CS-2 | G10, T2 |
| 11 | 485 | 250 | NP | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, T2 |
| 12 | 485 | 250 | NP | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, T2 |
| 13 | 485 | 250 | NP | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, T2 |
| 14 | 485 | 250 | NP | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, T2 |
| 15 | 485 | 250 | NP | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, T2 |
| 16 | 485 | 250 | NP | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, T2 |
| 17 | 485 | 250 | 538 | 371 | NP | NP | CS-2 | G1, G10, G17, S1, T2 |
| 18 | 485 | 250 | NP | NP | 538 | 343 | CS-2 | G10, T2 |
| 19 | 485 | 260 | 538 | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, S1, T2 |
| 20 | 485 | 260 | 454 | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, S1, T2 |
| 21 | 485 | 260 | 454 | NP | NP | NP | CS-2 | G10, S1, T2 |
| 22 | 485 | 260 | NP | 371 | NP | NP | CS-2 | S5, W10, W12 |
| 23 | 485 | 260 | NP | 371 | NP | NP | CS-2 | S6, W10, W12 |
| 24 | 485 | 260 | NP | 371 | NP | NP | CS-2 | S5, W10, W12 |
| 25 | 485 | 260 | NP | 371 | NP | NP | CS-2 | S6, W10, W12 |
| 26 | 485 | 275 | 538 | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G10, S1, T1 |
| 27 | 485 | 275 | 538 | NP | NP | NP | CS-2 | G10, S1, T1, W13 |
| 28 | 485 | 275 | 538 | NP | NP | NP | CS-2 | G4, G10, S1, T4 |
| 29 | 485 | 275 | 538 | NP | NP | NP | CS-2 | G3, G10, S1, T2 |
| 30 | 485 | 275 | 538 | NP | 538 | 343 | CS-2 | G10, S1, T1 |
| 31 | 485 | 275 | 538 | 371 | 538 | 343 | CS-2 | G1, G10, G17, S1, T1 |
| 32 | 485 | 275 | 427 | 371 | 427 | 343 | CS-2 | G10, T1, W14 |
| 33 | 485 | 275 | NP | 371 | NP | NP | CS-2 | G17, T1 |
| 34 | 485 | 275 | NP | 371 | NP | NP | CS-2 | ... |
| 35 | 485 | 275 | NP | NP | 371 | 343 | CS-2 | G21, G23, W11 |
| 36 | 485 | 275 | NP | NP | 427 | 343 | CS-2 | G10, T1 |
| 37 | 485 | 275 | NP | NP | 538 | 343 | CS-2 | G24, G35, T2, W6 |
| 38 | 485 | 275 | 538 | 371 | NP | NP | CS-2 | G1, G10, G17, S1, T1 |
| 39 | 485 | 275 | NP | 371 | 427 | 343 | CS-2 | G10, T1 |
| 40 | 485 | 275 | NP | 371 | NP | NP | CS-2 | T1 |

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;* SECTION VIII, DIVISION 1; AND SECTION XII
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES *S* FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

| Line No. | Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | −30 to 40 | 65 | 100 | 125 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 |
| 1 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 129 | *114* | *95.1* | *79.6* | *63.2* | *45.3* |
| 2 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 130 | 126 | *114* | *95.0* | *79.6* | *63.2* | *45.3* |
| 3 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 129 | *114* | *95.1* | *79.6* | *63.2* | *45.3* |
| 4 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 137 | 132 | 126 | 122 | 119 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 137 | 132 | 126 | 122 | 119 | 114 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 6 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 7 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 8 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 9 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 10 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 11 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 12 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 13 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 14 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 15 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 16 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 17 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 18 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 129 | 125 | 122 | 117 | *101* | *83.9* | *67.0* | *51.1* |
| 19 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 132 | 128 | 123 | *101* | *83.8* | *67.1* | *51.0* |
| 20 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 132 | 128 | 123 | *101* | *83.8* | *67.1* | *51.0* |
| 21 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 132 | 128 | 123 | *101* | *83.8* | *67.1* | *51.0* |
| 22 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 132 | 128 | 123 | ... | ... | ... | ... |
| 23 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 132 | 128 | 123 | ... | ... | ... | ... |
| 24 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 132 | 128 | 123 | ... | ... | ... | ... |
| 25 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 136 | 132 | 128 | 123 | ... | ... | ... | ... |
| 26 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | *101* | *83.8* | *67.0* | *51.0* |
| 27 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | *101* | *83.8* | *67.0* | *51.0* |
| 28 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | 123 | 101 | 83.7 | 67.6 | 45.5 |
| 29 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 115 | 104 | *86.1* | *71.3* | *56.9* | *43.4* |
| 30 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | *101* | *83.8* | *67.0* | *51.0* |
| 31 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | *101* | *83.8* | *67.0* | *51.0* |
| 32 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | *101* | *83.8* | *67.0* | ... |
| 33 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | ... | ... | ... | ... |
| 34 | 138 | 138 | 137 | 133 | 129 | 125 | 123 | 123 | 123 | 123 | 123 | ... | ... | ... | ... |
| 35 | 138 | 138 | 138 | 137 | 136 | 135 | 131 | 126 | 123 | 121 | 118 | ... | ... | ... | ... |
| 36 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | *101* | *83.8* | *67.0* | ... |
| 37 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 117 | 115 | 104 | *86.1* | *71.3* | *56.9* | *43.4* |
| 38 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | *101* | *83.8* | *67.0* | *51.0* |
| 39 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | *101* | *83.8* | *67.0* | ... |
| 40 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | 135 | *123* | ... | ... | ... | ... |

PART D — PROPERTIES (METRIC) **Table 1A**

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;* SECTION VIII, DIVISION 1; AND SECTION XII
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES *S* FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

| Line No. | Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 500 | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 | 650 | 675 | 700 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 850 | 875 | 900 |
| 1 | *31.7* | *21.9* | *12.7* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2 | *31.7* | *21.9* | *12.7* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 3 | *31.7* | *21.9* | *12.7* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 8 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 9 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 10 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 13 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 14 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 15 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 16 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 17 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 18 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 19 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 20 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 21 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 22 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 23 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 24 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 25 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 26 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 27 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28 | *27.9* | *18.3* | *10.6* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 29 | *28.6* | *18.1* | *10.7* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 30 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 31 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 32 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 33 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 34 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 35 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 36 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 37 | *28.6* | *18.1* | *10.7* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 38 | *33.6* | *21.3* | *12.9* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 39 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 40 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

## NOTES TO TABLE 1A

### GENERAL NOTES

(a) The following abbreviations are used: Smls., Seamless; and Wld., Welded.
(b) The stress values in this Table may be interpolated to determine values for intermediate temperatures.
(c) For Section VIII applications, stress values in restricted shear such as dowel bolts or similar construction in which the shearing member is so restricted that the section under consideration would fail without reduction of area shall be 0.80 times the values in the above Table.
(d) For Section VIII applications, stress values in bearing shall be 1.60 times the values in the above Table.
(e) Stress values for –30 to 40°C are applicable for colder temperatures when toughness requirements of Section III or Section VIII are met.
(f) An alternative typeface is used for stress values obtained from time-dependent properties (see Notes T1 through T10).

### NOTES — GENERAL REQUIREMENTS

G1 To these stress values a casting quality factor as specified in PG-25 of Section I or UG-24 of Section VIII, Division 1 shall be applied.
G2 These stress values include a joint efficiency factor of 0.60.
G3 These stress values include a joint efficiency factor of 0.85.
G4 For Section I applications, these stresses apply when used for boiler, water wall, superheater, and economizer tubes that are enclosed within a setting. A joint efficiency factor of 0.85 is included in values above 450°C.
G5 Due to the relatively low yield strength of these materials, these higher stress values were established at temperatures where the short-time tensile properties govern to permit the use of these alloys where slightly greater deformation is acceptable. The stress values in this range exceed $66\frac{2}{3}$% but do not exceed 90% of the yield strength at temperature. Use of these stresses may result in dimensional changes due to permanent strain. These stress values are not recommended for the flanges of gasketed joints or other applications where slight amounts of distortion can cause leakage or malfunction. For Section III applications, Table Y-2 lists multiplying factors that, when applied to the yield strength values shown in Table Y-1, will give allowable stress values that will result in lower levels of permanent strain.
G6 Creep-fatigue, thermal ratcheting, and environmental effects are increasingly significant failure modes at temperatures in excess of 825°C and shall be considered in the design.
G7 At temperatures above 250°C, this material may be susceptible to embrittlement.
G8 This material has reduced toughness at room temperature after exposure at high temperature. The degree of embrittlement depends on composition, heat treatment, time, and temperature. The lowest temperature of concern is about 250°C. See Appendix A, A-360.
G9 For Section III applications, the stress-rupture test is not required for design temperatures 425°C and below.
G10 Upon prolonged exposure to temperatures above 425°C, the carbide phase of carbon steel may be converted to graphite.
G11 Upon prolonged exposure to temperatures above 475°C, the carbide phase of carbon–molybdenum steel may be converted to graphite.
G12 At temperatures above 550°C, these stress values apply only when the carbon is 0.04% or higher on heat analysis.
G13 These stress values at 575°C and above shall be used only when the grain size is ASTM No. 6 or coarser.
G14 These stress values shall be used when the grain size is not determined or is determined to be finer than ASTM No. 6.
G15 For Section I applications, use is limited to stays as defined in PG-13 except as permitted by PG-11.
G16 For Section III Class 3 applications, these *S* values do not include a casting quality factor. Statically and centrifugally cast products meeting the requirements of NC-2570 shall receive a casting quality factor of 1.00.
G17 For Section III Class 3 applications, statically and centrifugally cast products meeting the requirements of NC-2571(a) and (b), and cast pipe fittings, pumps, and valves with inlet piping connections of DN 50 and less, shall receive a casting quality factor of 1.00. Other casting quality factors shall be in accordance with the following:
  (a) for visual examination, 0.80;
  (b) for magnetic particle examination, 0.85;
  (c) for liquid penetrant examination, 0.85;
  (d) for radiography, 1.00;
  (e) for ultrasonic examination, 1.00;
  (f) for magnetic particle or liquid penetrant plus ultrasonic examination or radiography, 1.00.
G18 ...
G19 Although external pressure chart title is listed for SA-537, use Class 1 curves for this specification.
G20 Although external pressure chart title is listed for SA-537, use Class 2 curves for this specification.
G21 For external pressure chart listing, use Class 1 curve.
G22 For Section I applications, use of external pressure charts for material in the form of barstock is permitted for stiffening rings only.
G23 For temperatures above the maximum temperature shown on the external pressure chart for this material, Fig. CS-2 may be used for the design using this material.
G24 A factor of 0.85 has been applied in arriving at the maximum allowable stress values in tension for this material. Divide tabulated values by 0.85 for maximum allowable longitudinal tensile stress.
G25 For Section III applications, for both Class 2 and Class 3, the completed vessel after final heat treatment shall be examined by the ultrasonic method in accordance with NB-2542 except that angle beam examination in both the circumferential and the axial directions may be performed in lieu of the straight beam examination in the axial direction. The tensile strength shall not exceed 860 MPa.
G26 Material that conforms to Class 10, 11, or 12 is not permitted.
G27 Material that conforms to Class 11 or 12 is not permitted.
G28 For Section III applications, impact testing in accordance with Subarticle NX-2300 is not required.
G29 For Section III applications, impact testing in accordance with the requirements of NC-2300 is required for Class 2 components and in accordance with ND-2300 for Class 3 components.
G30 For Section VIII applications, these stress values are based on expected minimum values of 310 MPa tensile strength and yield strength of 140 MPa resulting from loss of strength due to thermal treatment required for the glass coating operation. UG-85 does not apply.
G31 These stress values are established from a consideration of strength only and will be satisfactory for average service. For bolted joints where freedom from leakage over a long period of time without retightening is required, lower stress values may be necessary as determined from the flexibility of the flange and bolts and corresponding relaxation properties.
G32 This steel may be expected to develop embrittlement after service at moderately elevated temperature; see Appendix A. For P-No. 10H Gr. 1 materials, exposure to temperatures in the range of 600°C to 925°C for relatively short periods of time may result in severe loss of ductility due to sigma formation; see A-340 and A-360.

## NOTES TO TABLE 1A (CONT'D)

### NOTES — GENERAL REQUIREMENTS (CONT'D)

G33 These stresses are based on weld metal properties.
G34 For Section I, use is limited to PEB-5.3. See PG-5.5 for cautionary note.
G35 See Appendix A.
G36 For Section III applications, the use of these materials shall be limited to materials for tanks covered in Subsections NC and ND, component supports, and for nonpressure-retaining attachments (NC/ND-2190).
G37 See Table Y-1 for yield strength values as a function of thickness over this range. Allowable stresses are independent of yield strength in this thickness range.
G38 Supplementary Requirement S15 of SA-781, Alternate Tension Test Coupons and Specimen Locations for Castings, is mandatory.

### NOTES — HEAT TREATMENT REQUIREMENTS

H1 For temperatures above 550°C, these stress values may be used only if the material is heat treated by heating to the minimum temperature specified in the material specification, but not lower than 1040°C, and quenching in water or rapidly cooling by other means.
H2 For temperatures above 550°C, these stress values may be used only if the material is heat treated by heating to a minimum temperature of 1095°C, and quenching in water or rapidly cooling by other means.
H3 Minimum postweld heat treatment shall be 700°C.
H4 This material, when heat treated in accordance with SA-351, may contain up to 60% ferrite.
H5 For Section III applications, if heat treatment is performed after forming or fabrication, it shall be performed at 825–1000°C for a period of time not to exceed 10 min at temperature, followed by rapid cooling.

### NOTES — SIZE REQUIREMENTS

S1 For Section I applications, stress values at temperatures of 450°C and above are permissible but, except for tubular products 75 mm O.D. or less enclosed within the boiler setting, use of these materials at these temperatures is not current practice.
S2 For Section I applications, stress values at temperatures of 475°C and above are permissible but, except for tubular products 75 mm O.D. or less enclosed within the boiler setting, use of these materials at these temperatures is not current practice.
S3 For Section I applications, stress values at temperatures of 550°C and above are permissible but, except for tubular products 75 mm O.D. or less enclosed within the boiler setting, use of these materials at these temperatures is not current practice.
S4 For Section I applications, stress values at temperatures of 625°C and above are permissible but, except for tubular products 75 mm O.D. or less enclosed within the boiler setting, use of these materials at these temperatures is not current practice.
S5 Material that conforms to Class 10, 11, or 12 is not permitted when the nominal thickness of the material exceeds 19 mm.
S6 Material that conforms to Class 10, 11, or 12 is not permitted when the nominal thickness of the material exceeds 32 mm.
S7 The maximum thickness of unheat-treated forgings shall not exceed 95 mm. The maximum thickness as-heat-treated may be 100 mm.
S8 The maximum section thickness shall not exceed 75 mm for double-normalized-and-tempered forgings, or 125 mm for quenched-and-tempered forgings.
S9 Both DN 200 and larger, and schedule 140 and heavier.

### NOTES — TIME-DEPENDENT PROPERTIES

T1 Allowable stresses for temperatures of 370°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T2 Allowable stresses for temperatures of 400°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T3 Allowable stresses for temperatures of 455°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T4 Allowable stresses for temperatures of 480°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T5 Allowable stresses for temperatures of 510°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T6 Allowable stresses for temperatures of 540°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T7 Allowable stresses for temperatures of 565°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T8 Allowable stresses for temperatures of 595°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T9 Allowable stresses for temperatures of 620°C and above are values obtained from time-dependent properties.
T10 Allowable stresses for temperatures of 425°C and above are values obtained from time-dependent properties.

### NOTES — WELDING REQUIREMENTS

W1 Not for welded construction.
W2 Not for welded construction in Section III.
W3 Welded.
W4 Nonwelded, or welded if the tensile strength of the Section IX reduced section tension test is not less than 690 MPa.
W5 Welded, with the tensile strength of the Section IX reduced tension test less than 690 MPa but not less than 655 MPa.
W6 This material may be welded by the resistance technique.
W7 In welded construction for temperatures above 450°C, the weld metal shall have a carbon content of greater than 0.05%.
W8 Welding and oxygen or other thermal cutting processes are not permitted when carbon content exceeds 0.35% by heat analysis.
W9 For Section I applications, for pressure retaining welds in $2\frac{1}{4}$Cr–1Mo materials, other than circumferential butt welds less than or equal to 89 mm in outside diameter, when the design metal temperatures exceed 450°C, the weld metal shall have a carbon content greater than 0.05%.
W10 For Section III applications, material that conforms to Class 10, 13, 20, 23, 30, 33, 40, 43, 50, or 53 is not permitted for Class 2 and Class 3 construction when a weld efficiency factor of 1.00 is used in accordance with Note W12.
W11 For Section VIII applications, Section IX, QW-250 Variables QW-404.12, QW-406.3, QW-407.2, and QW-409.1 shall also apply to this material. These variables shall be applied in accordance with the rules for welding of Part UF.

## NOTES TO TABLE 1A (CONT'D)

NOTES — WELDING REQUIREMENTS (CONT'D)

W12 These *S* values do not include a longitudinal weld efficiency factor. For Section III applications, for materials welded without filler metal, ultrasonic examination, radiographic examination, or eddy current examination, in accordance with NC-2550, shall provide a longitudinal weld efficiency factor of 1.00. Materials welded with filler metal meeting the requirements of NC-2560 shall receive a longitudinal weld efficiency factor of 1.00. Other longitudinal weld efficiency factors shall be in accordance with the following:
(a) for single butt weld, with filler metal, 0.80;
(b) for single or double butt weld, without filler metal, 0.85;
(c) for double butt weld, with filler metal, 0.90;
(d) for single or double butt weld, with radiography, 1.00.

W13 For Section I applications, electric resistance and autogenous welded tubing may be used with these stresses, provided the following additional restrictions and requirements are met:
(a) The tubing shall be used for boiler, waterwall, superheater, and economizer tubes that are enclosed within the setting.
(b) The maximum outside diameter shall be 89 mm.
(c) The weld seam of each tube shall be subjected to an angle beam ultrasonic inspection per SA-450.
(d) A complete volumetric inspection of the entire length of each tube shall be performed in accordance with SA-450.
(e) Material test reports shall be supplied.

W14 These *S* values do not include a weld factor. For Section VIII, Division 1 applications using welds made without filler metal, the tabulated tensile stress values shall be multiplied by 0.85. For welds made with filler metal, consult UW-12 of Section VIII, Division 1.

# ภาคผนวก ค-2

## ตาราง 2A ค่า “STRESS INTENSITY”

TABLE 2A (CONT'D)
SECTION III, CLASS 1 AND SECTION VIII, DIVISION 2
DESIGN STRESS INTENSITY VALUES $S_m$ FOR FERROUS MATERIALS

| Line No. | Nominal Composition | Product Form | Spec No. | Type/Grade | Alloy Designation/ UNS No. | Class/ Condition/ Temper | Size/Thickness, mm | P-No. | Group No. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Carbon steel | Forgings | SA-266 | 2 | K03506 | ... | ... | 1 | 2 |
| 2 | Carbon steel | Forgings | SA-266 | 4 | K03017 | ... | ... | 1 | 2 |
| 3 | Carbon steel | Forgings | SA-350 | LF2 | K03011 | ... | ... | 1 | 2 |
| 4 | Carbon steel | Forgings | SA-508 | 1 | K13502 | ... | ... | 1 | 2 |
| 5 | Carbon steel | Forgings | SA-508 | 1A | K13502 | ... | ... | 1 | 2 |
| 6 | Carbon steel | Forgings | SA-541 | 1 | K03506 | ... | ... | 1 | 2 |
| 7 | Carbon steel | Forgings | SA-541 | 1A | K03506 | ... | ... | 1 | 2 |
| 8 | Carbon steel | Cast pipe | SA-660 | WCB | J03003 | ... | ... | 1 | 2 |
| 9 | Carbon steel | Forgings | SA-765 | II | K03047 | ... | ... | 1 | 2 |
| 10 | Carbon steel | Plate | SA-515 | 70 | K03101 | ... | ... | 1 | 2 |
| 11 | Carbon steel | Plate | SA-516 | 70 | K02700 | ... | ... | 1 | 2 |
| 12 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-671 | CB70 | K03101 | ... | ... | 1 | 2 |
| 13 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-671 | CC70 | K02700 | ... | ... | 1 | 2 |
| 14 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-672 | B70 | K03101 | ... | ... | 1 | 2 |
| 15 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-672 | C70 | K02700 | ... | ... | 1 | 2 |
| 16 | Carbon steel | Smls. pipe | SA-106 | C | K03501 | ... | ... | 1 | 2 |
| 17 | Carbon steel | Smls. tube | SA-210 | C | K03501 | ... | ... | 1 | 2 |
| 18 | Carbon steel | Castings | SA-216 | WCC | K02503 | ... | ... | 1 | 2 |
| 19 | Carbon steel | Fittings | SA-234 | WPC | K03501 | ... | ... | 1 | 2 |
| 20 | Carbon steel | Wld. fittings | SA-234 | WPC | K03501 | W | ... | 1 | 2 |
| 21 | Carbon steel | Castings | SA-352 | LCC | J02505 | ... | ... | 1 | 2 |
| 22 | Carbon steel | Castings | SA-487 | 16 | ... | A | ... | 1 | 2 |
| 23 | Carbon steel | Plate | SA-537 | ... | K12437 | 3 | $100 < t \leq 150$ | 1 | 3 |
| 24 | Carbon steel | Cast pipe | SA-660 | WCC | J02505 | ... | ... | 1 | 2 |
| 25 | Carbon steel | Bar | SA-695 | B/40 | K03504 | ... | ... | 1 | 2 |
| 26 | Carbon steel | Bar | SA-696 | C | K03200 | ... | ... | 1 | 2 |
| 27 | Carbon steel | Plate | SA-662 | C | K02007 | ... | ... | 1 | 2 |
| 28 | Carbon steel | Plate | SA-537 | ... | K12437 | 2 | $100 < t \leq 150$ | 1 | 3 |
| 29 | Carbon steel | Plate | SA-738 | C | ... | ... | $100 < t \leq 150$ | 1 | 3 |
| 30 | Carbon steel | Plate | SA-537 | ... | K12437 | 1 | $\leq 64$ | 1 | 2 |
| 31 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-671 | CD70 | K12437 | ... | $\leq 64$ | 1 | 2 |
| 32 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-672 | D70 | K12437 | ... | $\leq 64$ | 1 | 2 |
| 33 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-691 | CMSH-70 | K12437 | ... | $\leq 64$ | 1 | 2 |
| 34 | Carbon steel | Forgings | SA-266 | 3 | K05001 | ... | ... | 1 | 2 |
| 35 | Carbon steel | Plate | SA-299 | ... | K02803 | ... | > 25 | 1 | 2 |
| 36 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-691 | CMS-75 | K02803 | ... | > 25 | 1 | 2 |
| 37 | Carbon steel | Plate | SA-299 | ... | K02803 | ... | $\leq 25$ | 1 | 2 |
| 38 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-671 | CK75 | K02803 | ... | $\leq 25$ | 1 | 2 |
| 39 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-672 | N75 | K02803 | ... | $\leq 25$ | 1 | 2 |
| 40 | Carbon steel | Wld. pipe | SA-691 | CMS-75 | K02803 | ... | $\leq 25$ | 1 | 2 |

PART D — PROPERTIES (METRIC) **Table 2A**

TABLE 2A (CONT'D)
SECTION III, CLASS 1 AND SECTION VIII, DIVISION 2
DESIGN STRESS INTENSITY VALUES $S_m$ FOR FERROUS MATERIALS

| Line No. | Min. Tensile Strength, MPa | Min. Yield Strength, MPa | Applic. and Max. Temp. Limits (NP = Not Permitted) (SPT = Supports Only) | | External Pressure Chart No. | Notes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | III | VIII-2 | | |
| 1 | 485 | 250 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 2 | 485 | 250 | NP | 371 | CS-2 | ... |
| 3 | 485 | 250 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 4 | 485 | 250 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 5 | 485 | 250 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 6 | 485 | 250 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 7 | 485 | 250 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 8 | 485 | 250 | 371 | NP | CS-2 | ... |
| 9 | 485 | 250 | NP | 371 | CS-2 | ... |
| 10 | 485 | 260 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 11 | 485 | 260 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 12 | 485 | 260 | 371 | NP | CS-2 | G1, G3 |
| 13 | 485 | 260 | 371 | NP | CS-2 | G1, G4 |
| 14 | 485 | 260 | 371 | NP | CS-2 | G1, G3 |
| 15 | 485 | 260 | 371 | NP | CS-2 | G1, G4 |
| 16 | 485 | 275 | 371 | 371 | CS-2 | E2 |
| 17 | 485 | 275 | NP | 371 | CS-2 | E2 |
| 18 | 485 | 275 | 371 | 371 | CS-2 | E2 |
| 19 | 485 | 275 | 371 | 371 | CS-2 | E2 |
| 20 | 485 | 275 | 371 | NP | CS-2 | E2 |
| 21 | 485 | 275 | 371 | NP | CS-2 | E2 |
| 22 | 485 | 275 | 371 | NP | CS-2 | E2 |
| 23 | 485 | 275 | NP | 371 | CS-2 | E2 |
| 24 | 485 | 275 | 371 | NP | CS-2 | E2 |
| 25 | 485 | 275 | 371 | NP | CS-2 | E2 |
| 26 | 485 | 275 | 371 | NP | CS-2 | E2 |
| 27 | 485 | 295 | NP | 371 | CS-3 | E2 |
| 28 | 485 | 315 | 371 | 371 | CS-3 | E2 |
| 29 | 485 | 315 | NP | 343 | CS-3 | ... |
| 30 | 485 | 345 | 371 | 371 | CS-3 | E2 |
| 31 | 485 | 345 | 371 | NP | CS-3 | E2, G1, G4 |
| 32 | 485 | 345 | 371 | NP | CS-3 | E2, G1, G4 |
| 33 | 485 | 345 | 371 | NP | CS-3 | E2, G1, G4 |
| 34 | 515 | 260 | 371 | 371 | CS-2 | W1, W6 |
| 35 | 515 | 275 | 371 | 371 | CS-2 | ... |
| 36 | 515 | 275 | 371 | NP | CS-2 | G1, G4 |
| 37 | 515 | 290 | 371 | 371 | CS-2 | E2 |
| 38 | 515 | 290 | 371 | NP | CS-2 | E2, G1 |
| 39 | 515 | 290 | 371 | NP | CS-2 | E2, G1 |
| 40 | 515 | 290 | 371 | NP | CS-2 | E2, G1 |

TABLE 2A (CONT'D)
SECTION III, CLASS 1 AND SECTION VIII, DIVISION 2
DESIGN STRESS INTENSITY VALUES $S_m$ FOR FERROUS MATERIALS

| Line No. | Design Stress Intensity, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | –30 to 40 | 65 | 100 | 125 | 150 | 200 | 250 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 |
| 1 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 3 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 4 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 8 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 9 | 161 | 156 | 151 | 148 | 146 | 142 | 136 | 129 | 125 | 122 | 118 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 10 | 161 | 161 | 160 | 157 | 154 | 149 | 143 | 136 | 132 | 129 | 124 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11 | 161 | 161 | 160 | 157 | 154 | 149 | 143 | 136 | 132 | 129 | 124 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12 | 161 | 160 | 160 | 157 | 154 | 149 | 143 | 136 | 132 | 129 | 124 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 13 | 161 | 160 | 160 | 157 | 154 | 149 | 143 | 136 | 132 | 129 | 124 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 14 | 161 | 160 | 160 | 157 | 154 | 149 | 143 | 136 | 132 | 129 | 124 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 15 | 161 | 160 | 160 | 157 | 154 | 149 | 143 | 136 | 132 | 129 | 124 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 16 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 17 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 18 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 19 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 20 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 21 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 22 | 161 | 160 | 159 | 155 | 151 | 146 | 142 | 137 | 134 | 131 | *128* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 23 | 161 | 161 | 161 | 160 | 160 | 154 | 148 | 143 | 141 | 139 | *136* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 24 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 25 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 26 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 158 | 151 | 143 | 139 | 136 | *132* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 27 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 155 | 150 | 145 | *142* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 160 | 159 | 153 | *141* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 29 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 161 | 160 | 159 | 153 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 30 | 161 | 161 | 160 | 159 | 157 | 156 | 157 | 156 | 153 | 150 | *147* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 31 | 161 | 161 | 160 | 159 | 157 | 156 | 157 | 156 | 153 | 150 | *147* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 32 | 161 | 161 | 160 | 159 | 157 | 156 | 157 | 156 | 153 | 150 | *147* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 33 | 161 | 161 | 160 | 159 | 157 | 156 | 157 | 156 | 153 | 150 | *147* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 34 | 172 | 162 | 157 | 155 | 152 | 148 | 142 | 135 | 131 | 127 | 123 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 35 | 172 | 172 | 167 | 164 | 163 | 158 | 151 | 143 | 139 | 135 | 131 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 36 | 172 | 170 | 168 | 165 | 163 | 158 | 151 | 143 | 139 | 135 | 131 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 37 | 172 | 172 | 172 | 172 | 171 | 165 | 159 | 151 | 147 | 142 | *139* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 38 | 172 | 172 | 172 | 172 | 171 | 165 | 159 | 151 | 147 | 142 | *139* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 39 | 172 | 172 | 172 | 172 | 171 | 165 | 159 | 151 | 147 | 142 | *139* | ... | ... | ... | ... | ... |
| 40 | 172 | 172 | 172 | 172 | 171 | 165 | 159 | 151 | 147 | 142 | *139* | ... | ... | ... | ... | ... |

PART D — PROPERTIES (METRIC) **Table 2A**

## NOTES TO TABLE 2A

### GENERAL NOTES

(a) The following abbreviations are used: Applic., Applicability; Smls., Seamless; Temp., Temperature; and Wld., Welded.
(b) An alternative typeface is used for stress values based on successful experience in service (see Notes E1 through E4).

### NOTES — EXPERIENCE CRITERION

E1 For values at 350°C and above, the design stress intensity values are based on successful experience in service.
E2 For values at 375°C and above, the design stress intensity values are based on successful experience in service.
E3 For values at 450°C and above, the design stress intensity values are based on successful experience in service.
E4 For values at 475°C, the design stress intensity values are based on successful experience in service.

### NOTES — GENERAL REQUIREMENTS

G1 Material that conforms to Class 10, 13, 20, 23, 30, 33, 40, 43, 50, or 53 is not permitted.
G2 Material that conforms to Class 11 or 12 is not permitted.
G3 Material that conforms to Class 11 or 12 is not permitted when the nominal thickness of the material exceeds 19 mm.
G4 Material that conforms to Class 11 or 12 is not permitted when the nominal thickness of the material exceeds 32 mm.
G5 For Section III applications, a product analysis is required on this material.
G6 SA-723 shall not be used for minimum permissible temperature below +5°C.
G7 Due to the relatively low yield strength of these materials, these higher stress values were established at temperatures where the short-time tensile properties govern to permit the use of these alloys where slightly greater deformation is acceptable. The stress values in this range exceed $66\frac{2}{3}$% but do not exceed 90% of the yield strength at temperature. Use of these stresses may result in dimensional changes due to permanent strain. These stress values are not recommended for the flanges of gasketed joints or other applications where slight amounts of distortion can cause leakage or malfunction. Table Y-2 lists multiplying factors that, when applied to the yield strength values shown in Table Y-1, will give allowable stress values that will result in lower levels of permanent strain.
G8 This material has reduced toughness at room temperature after exposure at high temperature. The degree of embrittlement depends on composition, heat treatment, time, and temperature. The lowest temperature of concern is about 250°C. See Appendix A, A-360.
G9 The stress–rupture test is not required for design temperatures 425°C and below.
G10 At temperatures over 550°C, these stress intensity values apply only when the carbon is 0.04% or higher. This note is applicable only when stresses above 550°C are published.
G11 For temperatures above 550°C, these stress intensity values may be used only if the material has been heat treated by heating to a minimum temperature of 1040°C and quenching in water or rapidly cooling by other means. This note is applicable only when stresses above 550°C are published.
G12 These stress intensity values at temperatures of 575°C and above should be used only when assurance is provided that the steel has a predominant grain size not finer than ASTM No. 6. This note is applicable only when stresses above 550°C are published.
G13 The $S_y$ values of this material vary with annealing temperature. See Table Y-1.
G14 A quality factor of 0.85 has been applied in arriving at the design stress intensity values for this material.
G15 Impact testing in accordance with Section III Subarticle NX-2300 is not required.
G16 G-2110(b) of Section III is mandatory for this material.
G17 These stress intensity values shall be considered basic values to be used when no effort is made to control or check the grain size of the steel.
G18 This steel may be expected to develop embrittlement after service at moderately elevated temperature; see Appendix A. For P-No. 10H Gr. 1 materials, exposure to temperatures in the range of 600°C to 925°C for relatively short periods of time may result in severe loss of ductility due to sigma formation; see A-340 and A-360.
G19 The tensile strength shall not be in excess of 140 MPa above the specified minimum.
G20 All forgings shall have a maximum tensile strength not in excess of 175 MPa above the specified minimum.
G21 For Section VIII applications, SA-723 is exempt from the requirement in AF-730.3(b) that the average of the individual Brinell hardness numbers shall not be more than 10% below or 25% above the number corresponding to the tensile strength.
G22 Fabricated from SA-387 Grade 12 Class 1 plate.
G23 Fabricated from SA-387 Grade 12 Class 2 plate.
G24 See Appendix 26 of Section VIII, Division 2.

### NOTES — HEAT TREATMENT REQUIREMENTS

H1 Annealed.
H2 Normalized and tempered.
H3 Quenched and tempered.
H4 Liquid quenched and tempered.
H5 Normalized, normalized and tempered, or quenched and tempered.
H6 Normalized at 1040–1095°C and tempered at 730°C, minimum.
H7 For Section III applications (if any), if heat treatment is performed after forming or fabrication, it shall be performed at 825–1000°C for a period of time not to exceed 10 min at temperature, followed by rapid cooling. For Section VIII applications involving consideration of heat treatment after forming or welding, see Table AF-402.1 for P-No. 10K, Group No. 1 materials.
H8 For Section III applications, pieces that are formed (after quenching and tempering) at a temperature lower than 15°C below the final tempering temperature shall be heat treated after forming when the extreme fiber strain from forming exceeds 3%. Heat treatment shall be 580°C minimum, but not higher than 15°C below the final tempering temperature for a minimum time of 1 hr per 25 mm of thickness. Pieces formed at temperatures within 15°C higher than the original tempering temperature shall be requenched and tempered, either before or after welding into the vessel.
H9 Normalized.

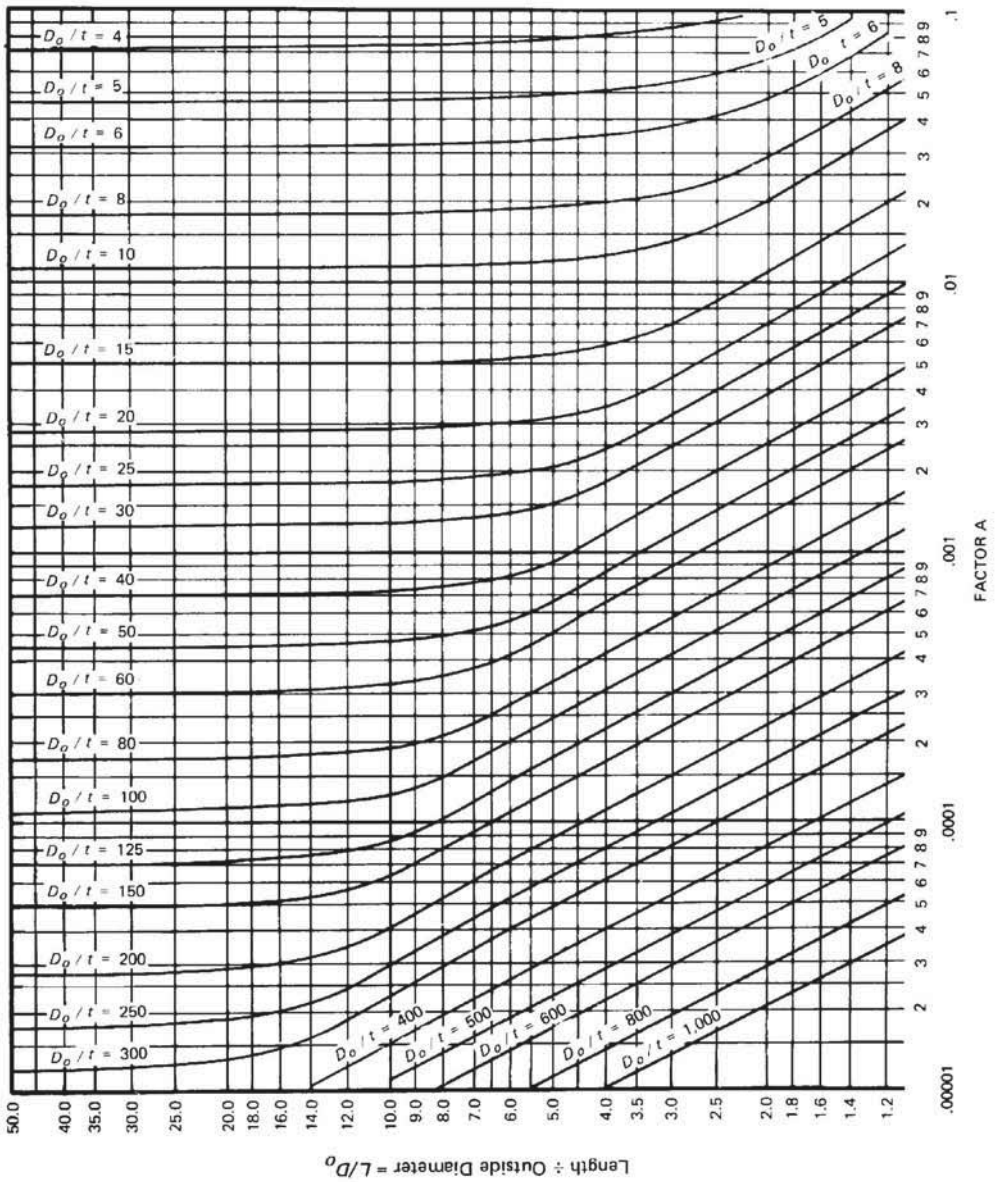
## NOTES TO TABLE 2A (CONT'D)

### NOTES — SIZE REQUIREMENTS

S1 The maximum thickness of forgings shall not exceed 95 mm (100 mm as heat treated).
S2 The maximum section thickness shall not exceed 75 mm for double-normalized-and-tempered forgings, or 125 mm for quenched-and-tempered forgings.
S3 Both DN 200 and larger, and schedule 140 and heavier.
S4 The minimum thickness of pressure-retaining parts shall be 6 mm.
S5 For Section III applications, the minimum thickness of shells, heads, and other pressure-retaining parts shall be 6 mm. The maximum thickness shall be limited only by the ability to develop the specified mechanical properties.

### NOTES — WELDING REQUIREMENTS

W1 Not for welded construction.
W2 For Section VIII applications, welding not permitted when carbon content exceeds 0.35% by ladle analysis except for limited types of welding, as allowed in Part AF.
W3 Nonwelded, or welded if the tensile strength of the Section IX reduced section tension test is not less than 690 MPa.
W4 Welded, with the tensile strength of the Section IX reduced section tension test less than 690 MPa but not less than 655 MPa.
W5 In welded construction, for temperatures above 450°C, the weld metal shall have a carbon content of greater than 0.05%.
W6 For Section VIII applications, Section IX, QW-250 Variables QW-404.12, QW-406.3, QW-407.2, and QW-409.1 shall also apply to this material. These variables shall be applied in accordance with the rules for welding of Part AF.
W7 The following, in addition to the variables in Section IX, QW-250, shall be considered as essential variables requiring requalification of the welding procedure.
(a) An increase in the maximum or a decrease in the minimum specified preheat or interpass temperatures. The specified range of preheat temperatures shall not exceed 85°C.
(b) A change in the thickness $T$ of the welding procedure qualification test plate as follows:
(1) For welded joints that are quenched and tempered after welding, any increase in thickness (the minimum thickness qualified in all cases is 6 mm).
(2) For welded joints that are not quenched and tempered after welding, any change as follows:
(a) for $T$ less than 16 mm, any decrease in thickness (the maximum thickness qualified is $2T$);
(b) for $T$ equal to 16 mm and over, any departure from the range of 16 mm to $2T$.


Do / t = 4
Do / t = 5
Do / t = 6
Do / t = 8
Do / t = 10
Do / t = 15
Do / t = 20
Do / t = 25
Do / t = 30
Do / t = 40
Do / t = 50
Do / t = 60
Do / t = 80
Do / t = 100
Do / t = 125
Do / t = 150
Do / t = 200
Do / t = 250
Do / t = 300
Do / t = 400
Do / t = 500
Do / t = 600
Do / t = 800
Do / t = 1,000
50.0 40.0 35.0 30.0 25.0 20.0 18.0 16.0 14.0 12.0 10.0 9.0 8.0 7.0 6.0 5.0 4.0 3.5 3.0 2.5 2.0 1.8 1.6 1.4 1.2
.1 .01 .001 .0001 .00001
FACTOR A
Length ÷ Outside Diameter = L/Do

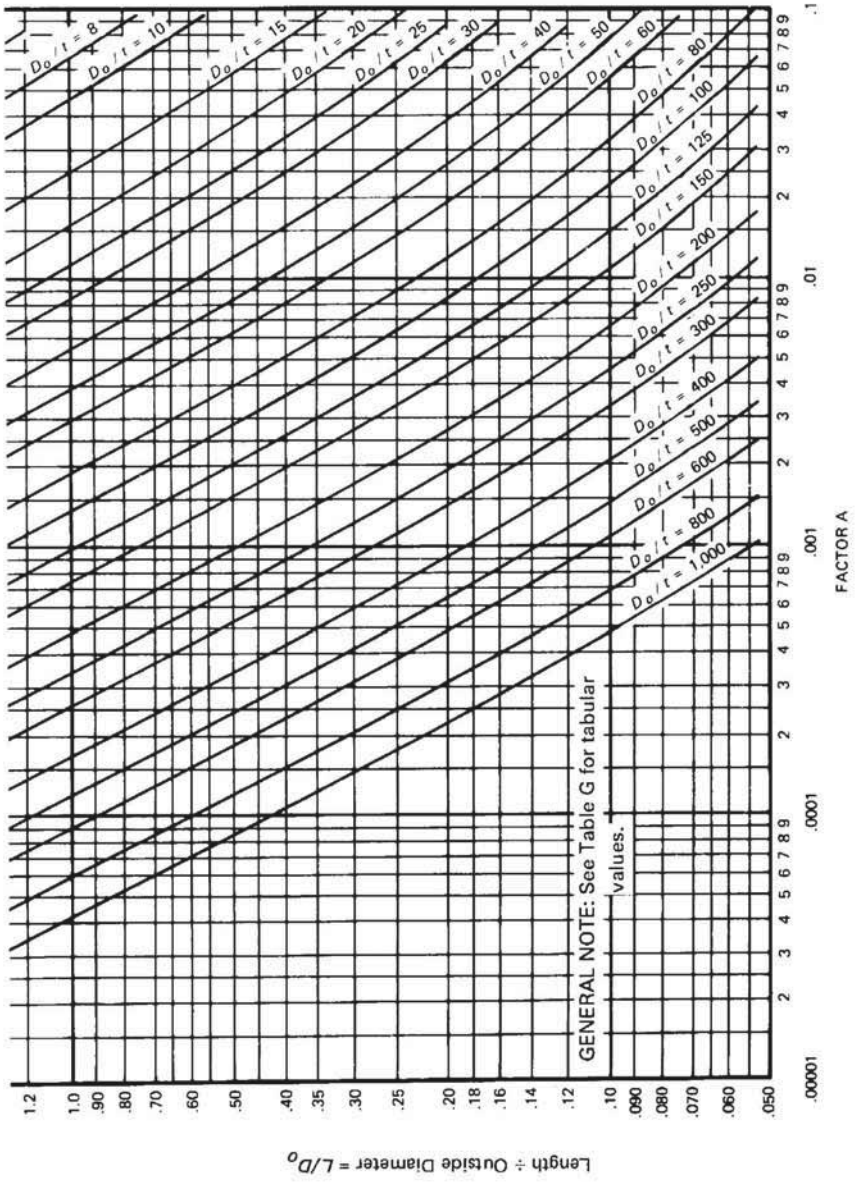



FIG. G GEOMETRIC CHART FOR COMPONENTS UNDER EXTERNAL OR COMPRESSIVE LOADINGS (for All Materials)

TABLE G
TABULAR VALUES FOR FIG. G

| $D_o/T$ | $L/D_o$ | A | $D_o/T$ | $L/D_o$ | A | $D_o/T$ | $L/D_o$ | A | $D_o/T$ | $L/D_o$ | A | $D_o/T$ | $L/D_o$ | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 2.2 | 0.959 −01 | 8 | 3.0 | 0.212 −01 | 20 | 0.8 | 0.203 −01 | 30 | 3.0 | 0.246 −02 | 50 | 6.0 | 0.548 −03 | 80 | 4.0 | 0.424 −03 |
| | 2.6 | 0.884 | | 4.0 | 0.192 | | 1.0 | 0.156 | | 4.0 | 0.177 | | 7.0 | 0.502 | | 6.6 | 0.241 |
| | 3.0 | 0.839 | | 5.0 | 0.184 | | 1.2 | 0.127 −02 | | 4.4 | 0.161 | | 8.0 | 0.478 | | 8.0 | 0.205 |
| | 4.0 | 0.783 | | 7.0 | 0.179 | | 2.0 | 0.713 −02 | | 5.0 | 0.147 | | 10.0 | 0.458 | | 10.0 | 0.186 |
| | 5.0 | 0.759 | | 10.0 | 0.176 | | 3.0 | 0.446 | | 6.0 | 0.136 | | 12.0 | 0.449 | | 14.0 | 0.176 |
| | 7.0 | 0.739 | | 20.0 | 0.174 | | 3.4 | 0.388 | | 7.0 | 0.130 | | 16.0 | 0.444 | | 30.0 | 0.172 |
| | 10.0 | 0.729 | | 50.0 | 0.174 | | 4.0 | 0.342 | | 10.0 | 0.125 | | 40.0 | 0.440 | | 50.0 | 0.172 |
| | 30.0 | 0.720 | | | | | 5.0 | 0.308 | | 30.0 | 0.122 | | 50.0 | 0.440 | | | |
| | 50.0 | 0.720 | 10 | 0.56 | 0.964 −01 | | 7.0 | 0.287 | | 50.0 | 0.122 | | | | 100 | 0.05 | 0.741 −01 |
| | | | | 0.7 | 0.720 | | 10.0 | 0.280 | | | | 60 | 0.074 | 0.954 −01 | | 0.07 | 0.398 |
| 5 | 1.4 | 0.929 −01 | | 1.0 | 0.463 | | 40.0 | 0.275 | 40 | 0.12 | 0.864 −01 | | 0.10 | 0.556 | | 0.10 | 0.220 |
| | 1.6 | 0.802 | | 1.2 | 0.371 | | 50.0 | 0.275 | | 0.2 | 0.385 | | 0.14 | 0.323 | | 0.14 | 0.133 |
| | 2.0 | 0.658 | | 2.0 | 0.201 | | | | | 0.3 | 0.222 | | 0.2 | 0.193 | | 0.20 | 0.831 −02 |
| | 2.4 | 0.586 | | 2.4 | 0.165 | 25 | 0.2 | 0.877 −01 | | 0.4 | 0.155 | | 0.4 | 0.812 −02 | | 0.40 | 0.364 |
| | 3.0 | 0.532 | | 3.0 | 0.139 | | 0.3 | 0.484 | | 0.6 | 0.958 −02 | | 0.6 | 0.510 | | 0.5 | 0.283 |
| | 4.0 | 0.494 | | 4.0 | 0.124 | | 0.5 | 0.250 | | 0.8 | 0.691 | | 0.8 | 0.371 | | 0.8 | 0.170 |
| | 5.0 | 0.478 | | 5.0 | 0.118 | | 0.8 | 0.143 | | 1.0 | 0.539 | | 1.0 | 0.291 | | 1.0 | 0.134 |
| | 7.0 | 0.465 | | 7.0 | 0.114 | | 1.0 | 0.111 | | 1.2 | 0.441 | | 2.0 | 0.138 | | 2.0 | 0.641 −03 |
| | 10.0 | 0.459 | | 10.0 | 0.112 | | 1.2 | 0.902 −02 | | 2.0 | 0.252 | | 3.0 | 0.886 −03 | | 4.0 | 0.305 |
| | 30.0 | 0.454 | | 16.0 | 0.111 | | 2.0 | 0.508 | | 4.0 | 0.117 | | 4.0 | 0.645 | | 6.0 | 0.195 |
| | 50.0 | 0.453 | | 50.0 | 0.111 | | 3.0 | 0.323 | | 5.0 | 0.912 −03 | | 6.0 | 0.409 | | 8.0 | 0.142 |
| | | | | | | | 3.4 | 0.278 | | 6.0 | 0.804 | | 7.0 | 0.364 | | 10.0 | 0.124 |
| 6 | 1.2 | 0.837 −01 | 15 | 0.34 | 0.968 −01 | | 4.0 | 0.235 | | 7.0 | 0.756 | | 8.0 | 0.341 | | 14.0 | 0.114 |
| | 1.6 | 0.584 | | 0.4 | 0.770 | | 4.4 | 0.219 | | 8.0 | 0.731 | | 10.0 | 0.322 | | 25.0 | 0.110 |
| | 2.0 | 0.469 | | 0.6 | 0.453 | | 5.0 | 0.204 | | 10.0 | 0.708 | | 14.0 | 0.310 | | 50.0 | 0.110 |
| | 2.4 | 0.411 | | 1.0 | 0.244 | | 6.0 | 0.191 | | 16.0 | 0.692 | | 40.0 | 0.306 | | | |
| | 3.0 | 0.369 | | 1.2 | 0.197 | | 7.0 | 0.186 | | 40.0 | 0.688 | | 50.0 | 0.306 | 125 | 0.05 | 0.480 −01 |
| | 4.0 | 0.341 | | 2.0 | 0.109 | | 10.0 | 0.180 | | 50.0 | 0.688 | | | | | 0.06 | 0.344 |
| | 5.0 | 0.329 | | 2.4 | 0.890 −02 | | 30.0 | 0.176 | | | | 80 | 0.054 | 0.990 −01 | | 0.08 | 0.210 |
| | 7.0 | 0.320 | | 3.0 | 0.691 | | 50.0 | 0.176 | 50 | 0.088 | 0.930 −01 | | 0.07 | 0.608 | | 0.10 | 0.148 |
| | 10.0 | 0.316 | | 4.0 | 0.573 | | | | | 0.1 | 0.782 | | 0.09 | 0.391 | | 0.14 | 0.917 −02 |
| | 30.0 | 0.312 | | 5.0 | 0.534 | 30 | 0.16 | 0.904 −01 | | 0.2 | 0.263 | | 0.10 | 0.328 | | 0.2 | 0.578 |
| | 50.0 | 0.312 | | 6.0 | 0.516 | | 0.2 | 0.635 | | 0.3 | 0.154 | | 0.14 | 0.196 | | 0.4 | 0.257 |
| | | | | 10.0 | 0.497 | | 0.3 | 0.357 | | 0.4 | 0.108 | | 0.20 | 0.120 | | 0.6 | 0.165 |
| 8 | 0.74 | 0.968 −01 | | 40.0 | 0.490 | | 0.4 | 0.246 | | 0.6 | 0.677 −02 | | 0.24 | 0.950 −02 | | 0.8 | 0.121 |
| | 0.8 | 0.875 | | 50.0 | 0.490 | | 0.6 | 0.150 | | 0.8 | 0.490 | | 0.4 | 0.516 | | 1.0 | 0.955 −03 |
| | 1.0 | 0.660 | | | | | 0.8 | 0.108 | | 1.0 | 0.384 | | 0.6 | 0.328 | | 2.0 | 0.459 |
| | 1.6 | 0.372 | 20 | 0.24 | 0.982 −01 | | 1.0 | 0.838 −02 | | 2.0 | 0.181 | | 0.8 | 0.239 | | 4.0 | 0.220 |
| | 2.0 | 0.285 | | 0.4 | 0.477 | | 1.2 | 0.683 | | 4.0 | 0.842 −03 | | 1.0 | 0.188 | | 6.0 | 0.141 |
| | 2.4 | 0.242 | | 0.6 | 0.286 | | 2.0 | 0.388 | | 5.0 | 0.652 | | 2.0 | 0.895 −03 | | 9.0 | 0.904 −04 |

PART D — PROPERTIES (METRIC) **Table G**

TABLE G (CONT'D)
TABULAR VALUES FOR FIG. G

| $D_o/T$ | $L/D_o$ | A | $D_o/T$ | $L/D_o$ | A | $D_o/T$ | $L/D_o$ | A | $D_o/T$ | $L/D_o$ | A | $D_o/T$ | $L/D_o$ | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 125 | 10.0 | 0.837 −04 | 200 | 0.08 | 0.909 −02 | 250 | 2.0 | 0.163 −03 | 300 | 40.0 | 0.123 −04 | 500 | 0.6 | 0.199 −03 | 800 | 0.10 | 0.682 −03 |
| | 12.0 | 0.770 | | 0.10 | 0.659 | | 4.0 | 0.789 −04 | | 50.0 | 0.122 | | 0.8 | 0.148 | | 0.12 | 0.551 |
| | 14.0 | 0.740 | | 0.14 | 0.421 | | 6.0 | 0.513 | | | | | 1.0 | 0.118 | | 0.16 | 0.398 |
| | 20.0 | 0.713 | | 0.2 | 0.272 | | 8.0 | 0.377 | 400 | 0.05 | 0.549 −02 | | 2.0 | 0.579 −04 | | 0.2 | 0.312 |
| | 40.0 | 0.704 | | 0.3 | 0.171 | | 10.0 | 0.293 | | 0.06 | 0.417 | | 4.0 | 0.282 | | 0.4 | 0.149 |
| | 50.0 | 0.704 | | 0.5 | 0.976 −03 | | 12.0 | 0.238 | | 0.08 | 0.278 | | 6.0 | 0.185 | | 0.6 | 0.980 −04 |
| | | | | 0.8 | 0.592 | | 14.0 | 0.210 | | 0.10 | 0.208 | | 8.0 | 0.137 | | 0.8 | 0.728 |
| 150 | 0.05 | 0.338 −01 | | 1.0 | 0.469 | | 16.0 | 0.196 | | 0.12 | 0.166 | | 10.0 | 0.107 | | 1.0 | 0.580 |
| | 0.06 | 0.244 | | 2.0 | 0.227 | | 20.0 | 0.184 | | 0.16 | 0.118 | | 12.0 | 0.880 −05 | | 2.0 | 0.286 |
| | 0.08 | 0.151 | | 4.0 | 0.110 | | 40.0 | 0.176 | | 0.2 | 0.914 −03 | | | | | 4.0 | 0.140 |
| | 0.10 | 0.108 | | 6.0 | 0.711 −04 | | 50.0 | 0.176 | | 0.4 | 0.429 | 600 | | | | 5.0 | 0.112 |
| | 0.12 | 0.833 −02 | | 8.0 | 0.520 | | | | | 0.6 | 0.280 | | 0.05 | 0.270 −02 | | 5.6 | 0.992 −05 |
| | 0.16 | 0.569 | | 10.0 | 0.403 | 300 | 0.05 | 0.923 −02 | | 0.8 | 0.207 | | 0.06 | 0.208 | | | |
| | 0.2 | 0.431 | | 12.0 | 0.338 | | 0.06 | 0.690 | | 1.0 | 0.165 | | 0.08 | 0.142 | | | |
| | 0.4 | 0.194 | | 14.0 | 0.309 | | 0.08 | 0.452 | | 2.0 | 0.808 −04 | | 0.10 | 0.108 | | | |
| | 0.6 | 0.125 | | 16.0 | 0.295 | | 0.10 | 0.334 | | 4.0 | 0.393 | | 0.12 | 0.868 −03 | | | |
| | 1.0 | 0.726 −03 | | 20.0 | 0.283 | | 0.12 | 0.264 | | 6.0 | 0.257 | | 0.16 | 0.624 | | | |
| | 2.0 | 0.349 | | 40.0 | 0.275 | | 0.2 | 0.143 | | 8.0 | 0.189 | | 0.2 | 0.486 | | | |
| | 4.0 | 0.168 | | 50.0 | 0.275 | | 0.4 | 0.666 −03 | | 10.0 | 0.148 | | 0.4 | 0.231 | 1000 | 0.05 | 0.113 −02 |
| | 6.0 | 0.108 | | | | | 0.6 | 0.433 | | 14.0 | 0.102 | | 0.6 | 0.151 | | 0.06 | 0.891 −03 |
| | 8.0 | 0.787 −04 | 250 | 0.05 | 0.129 −01 | | 0.8 | 0.321 | | 16.0 | 0.882 −05 | | 0.8 | 0.112 | | 0.07 | 0.733 |
| | 10.0 | 0.619 | | 0.06 | 0.955 −02 | | 1.0 | 0.254 | | | | | 1.0 | 0.894 −04 | | 0.09 | 0.541 |
| | 12.0 | 0.553 | | 0.08 | 0.617 | | 2.0 | 0.124 | 500 | 0.05 | 0.370 −02 | | 2.0 | 0.439 | | 0.12 | 0.388 |
| | 16.0 | 0.510 | | 0.10 | 0.452 | | 4.0 | 0.602 −04 | | 0.06 | 0.284 | | 4.0 | 0.216 | | 0.16 | 0.282 |
| | 20.0 | 0.498 | | 0.14 | 0.293 | | 6.0 | 0.393 | | 0.08 | 0.192 | | 6.0 | 0.141 | | 0.2 | 0.221 |
| | 40.0 | 0.489 | | 0.2 | 0.191 | | 8.0 | 0.287 | | 0.10 | 0.145 | | 8.0 | 0.104 | | 0.4 | 0.106 |
| | 50.0 | 0.489 | | 0.4 | 0.881 −03 | | 10.0 | 0.225 | | 0.12 | 0.116 | | 8.4 | 0.988 −05 | | 0.7 | 0.596 −04 |
| | | | | 0.6 | 0.572 | | 14.0 | 0.156 | | 0.16 | 0.830 −03 | 800 | | | | 1.0 | 0.414 |
| 200 | 0.05 | 0.196 −01 | | 0.8 | 0.422 | | 16.0 | 0.142 | | 0.2 | 0.645 | | 0.05 | 0.165 −02 | | 2.0 | 0.204 |
| | 0.06 | 0.143 | | 1.0 | 0.335 | | 20.0 | 0.130 | | 0.4 | 0.305 | | 0.06 | 0.129 | | 4.0 | 0.101 |
| | | | | | | | | | | | | | 0.08 | 0.892 −03 | | 4.2 | 0.957 −05 |

# ภาคผนวก ค-4

## รูป “CS-1” กราฟหาค่า “STRESS ALOOWANCE” ของ “EXTERNAL PRESSURE” ของรูปทรงกระบอก

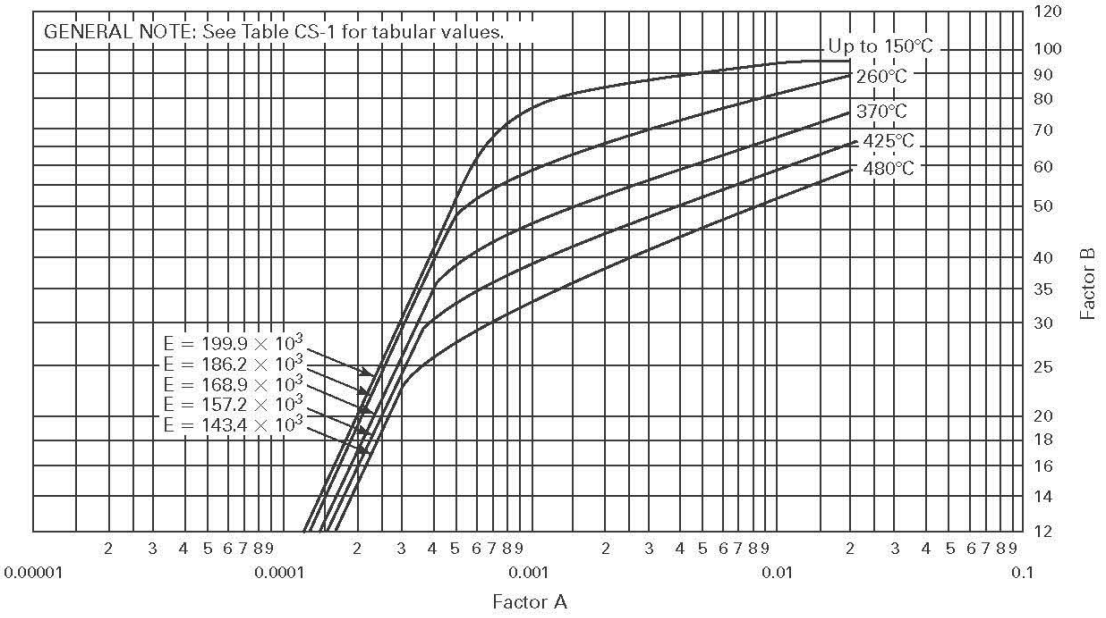



FIG. CS-1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (Specified Minimum Yield Strength 165 MPa to, but Not Including, 205 MPa) [Note (1)]

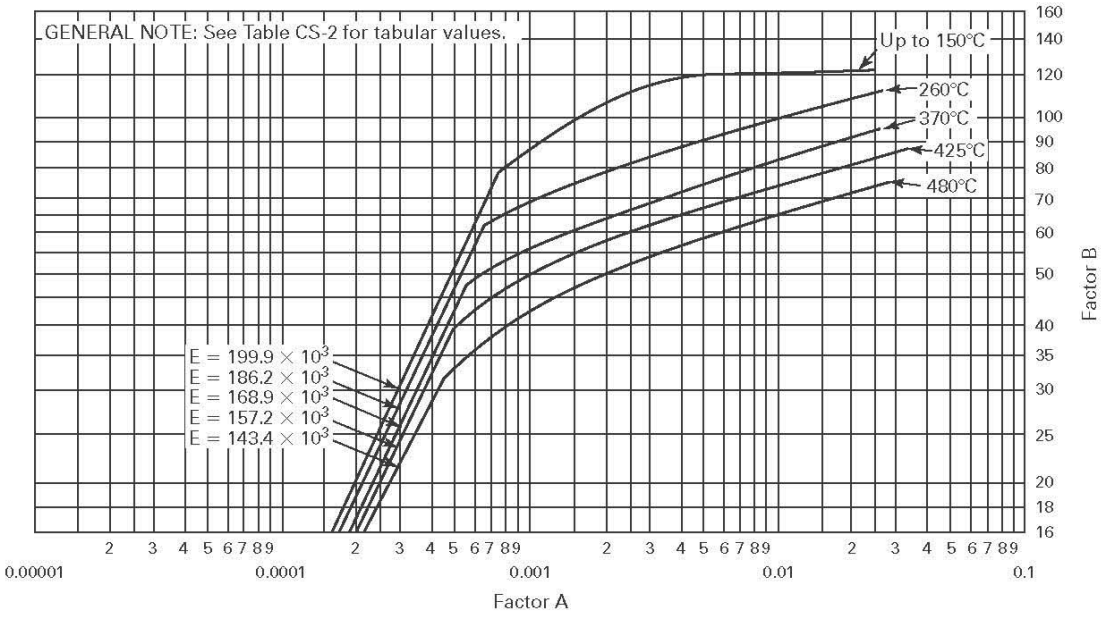



FIG. CS-2 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (Specified Minimum Yield Strength 205 MPa and Over Except for Materials Within This Range Where Other Specific Charts Are Referenced) AND TYPE 405 AND TYPE 410 STAINLESS STEELS [Note (1)]

PART D — PROPERTIES (METRIC)

## NOTES TO FIGURES OF SUBPART 3

GENERAL NOTE: The external pressure charts do not account for reduction of buckling strength due to creep under long-term loads. The effect of creep on buckling shall be considered at temperatures for which allowable stresses are shown italicized in Tables 1A and 1B.

NOTES:

(1) See Tables 1A and 2A for applicable specification numbers.
(2) See Table Y-1 for values of tabulated yield strength at design temperature.
(3) When tabulated yield strength values are less than 260 MPa for the material covered by this chart, Fig. CS-2 may be used. (Tabulated yield strength values take priority over specified minimum yield strength values.)
(4) The external pressure chart does not account for reduction of buckling strength due to creep under long-term loads at temperatures above 540°C.
(5) See Section VIII, Division 1, Table UCI-23 for applicable specification numbers.
(6) See Section VIII, Division 1, Table UCD-23 for applicable specification numbers.
(7) See Tables 1B and 2B for applicable specification numbers for Section VIII, Divisions 1 and 2, respectively.
(8) For Section III application, maximum use limit is 120°C, except for SB-209/3003/H112/6–12.7 and 13–75 mm use limits are 150°C and 95°C, respectively. Use 150°C curve for interpolation only.
(9) For Section III application, maximum use limit is 120°C, except for SB-210 use limit is 150°C. Use 150°C curve for interpolation only.
(10) Vessels constructed of material covered by this chart must be subjected to an external hydrostatic test pressure of three times the maximum allowable working pressure. Thicknesses determined by this chart are minimum, and greater thickness may be required to withstand the test pressure if the planishing used does not provide an adequate degree of work-hardening.
(11) See Table 1B for applicable specification numbers.
(12) The external pressure chart does not account for reduction of buckling strength due to creep under long-term loads at temperatures above 650°C.

TABLE CS-1
TABULAR VALUES FOR FIG. CS-1

| Temp., °C | A | B, MPa | Temp., °C | A | B, MPa |
|---|---|---|---|---|---|
| 150 | 1.35 −05 | 1.38 +00 | 370 | 9.00 | 4.48 |
| | 6.45 −04 | 6.48 +01 | | 1.00 −03 | 4.59 |
| | 7.00 | 6.83 | | 1.50 | 5.00 |
| | 8.00 | 7.24 | | 2.00 | 5.24 |
| | 9.00 | 7.52 | | 2.12 −02 | 7.58 |
| | 1.00 −03 | 7.72 | | 1.00 −01 | 7.58 |
| | 1.50 | 8.23 | | | |
| | 2.00 | 8.48 | 425 | 1.78 −05 | 1.38 +00 |
| | 9.50 | 9.51 | | 3.67 −04 | 2.87 +01 |
| | 2.00 −02 | 9.51 | | 4.00 | 3.00 |
| | 1.00 −01 | 9.51 | | 5.00 | 3.21 |
| | | | | 6.00 | 3.34 |
| 260 | 1.43 −05 | 1.38 +00 | | 7.00 | 3.52 |
| | 5.13 −04 | 4.83 +01 | | 1.00 −03 | 3.86 |
| | 6.00 | 5.15 | | 1.50 | 4.17 |
| | 8.00 | 5.58 | | 2.00 | 4.41 |
| | 1.00 −03 | 5.86 | | 2.25 −02 | 6.72 |
| | 1.50 | 6.45 | | 1.00 −01 | 6.72 |
| | 2.50 | 6.86 | | | |
| | 1.95 −02 | 9.03 | 480 | 1.88 −05 | 1.38 +00 |
| | 1.00 −01 | 9.03 | | 3.31 −04 | 2.41 +01 |
| | | | | 5.00 | 2.72 |
| 370 | 1.57 −05 | 1.38 +00 | | 7.00 | 2.96 |
| | 4.13 −04 | 3.54 +01 | | 1.00 −03 | 3.25 |
| | 5.00 | 3.83 | | 1.50 | 3.56 |
| | 6.00 | 4.00 | | 2.50 | 3.96 |
| | 7.00 | 4.21 | | 2.13 −02 | 5.86 |
| | 8.00 | 4.34 | | 1.00 −01 | 5.86 |

TABLE CS-2
TABULAR VALUES FOR FIG. CS-2

| Temp., °C | A | B, MPa | Temp., °C | A | B, MPa |
|---|---|---|---|---|---|
| 150 | 1.76 −05 | 1.72 +00 | 370 | 2.13 −05 | 1.72 +00 |
| | 7.83 −04 | 7.79 +01 | | 5.64 −04 | 4.69 +01 |
| | 8.00 | 7.86 | | 1.00 −03 | 5.52 |
| | 9.00 | 8.14 | | 3.00 | 6.96 |
| | 1.00 −03 | 8.48 | | 1.00 −02 | 8.34 |
| | 2.00 | 1.03 +02 | | 2.64 | 9.51 |
| | 3.00 | 1.12 | | 1.00 −01 | 9.51 |
| | 4.00 | 1.16 | | | |
| | 5.00 | 1.19 | 425 | 2.23 −05 | 1.72 +00 |
| | 2.50 −02 | 1.21 | | 5.05 −04 | 3.94 +01 |
| | 1.00 −01 | 1.21 | | 1.00 −03 | 4.90 |
| | | | | 1.50 | 5.48 |
| | | | | 2.00 | 5.79 |
| | | | | 3.00 | 6.14 |
| 260 | 1.94 −05 | 1.72 +00 | | 3.19 −02 | 8.55 |
| | 6.75 −04 | 6.21 +01 | | 1.00 −01 | 8.55 |
| | 9.00 | 6.65 | | | |
| | 1.00 −03 | 6.89 | 480 | 2.37 −05 | 1.72 +00 |
| | 2.50 | 8.27 | | 4.28 −04 | 3.10 +01 |
| | 3.00 | 8.55 | | 1.00 −03 | 4.14 |
| | 8.00 | 9.79 | | 1.50 | 4.69 |
| | 1.00 −02 | 1.01 +02 | | 2.00 | 5.07 |
| | 1.50 | 1.07 | | 3.00 | 5.45 |
| | 2.00 | 1.11 | | 8.00 | 6.34 |
| | 2.80 | 1.17 | | 3.00 −02 | 7.65 |
| | 1.00 −01 | 1.17 | | 1.00 −01 | 7.65 |

TABLE CS-3
TABULAR VALUES FOR FIG. CS-3

| Yield Strength, MPa | A | B, MPa |
|---|---|---|
| 414 | 4.00 −05 | 4.00 +00 |
| | 1.00 −03 | 1.00 +02 |
| | 1.66 | 1.65 |
| | 1.00 −01 | 2.07 |
| 379 | 4.00 −05 | 4.00 +00 |
| | 1.00 −03 | 1.00 +02 |
| | 1.52 | 1.52 |
| | 1.00 −01 | 1.86 |
| 345 | 4.00 −05 | 4.00 +00 |
| | 1.00 −03 | 1.00 +02 |
| | 1.38 | 1.38 |
| | 1.00 −01 | 1.72 |
| 310 | 4.00 −05 | 4.00 +00 |
| | 1.00 −03 | 1.00 +02 |
| | 1.24 | 1.24 |
| | 1.00 −01 | 1.55 |
| 262 to 276 | 4.00 −05 | 4.00 +00 |
| | 1.00 −03 | 1.00 +02 |
| | 1.10 | 1.10 |
| | 1.00 −01 | 1.38 |

# ภาคผนวก ค-5

## ตาราง “PW-39” ค่าการทำ “POSTWELD HEAT TRTEATMENT” และ “PREHEAT”

04

## TABLE PW-39
## MANDATORY REQUIREMENTS FOR POSTWELD HEAT TREATMENT OF PRESSURE PARTS AND ATTACHMENTS

| Material | Minimum Holding Temperature, °F (°C) | Minimum Holding Time at Normal Temperature for Weld Thickness (Nominal) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Up to 2 in. (50 mm) | Over 2 in. (50 mm) to 5 in. (125 mm) | Over 5 in. (125 mm) |
| P-No. 1 Group No. 1,2,3 | 1,100 (595) | 1 hr/in. (2 min/mm), 15 min minimum | 2 hr plus 15 min for each additional inch over 2 in. (50 mm) | 2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm) |

NOTES:

(1) Postweld heat treatment is not mandatory for P-No. 1 materials under the following conditions:
- (a) for circumferential butt welds in pressure parts with a nominal wall thickness of ¾ in. (19 mm) or less at the joint
- (b) for fillet welds used on slip-on and socket welding flanges and fittings conforming to the rules of PW-41, when the following conditions are met:
  - (1) a fillet weld throat thickness of ½ in. (13 mm) or less, regardless of base metal thickness
  - (2) a minimum preheat of 200°F (95°C) when the thickness of a pressure part at the weld exceeds ¾ in. (19 mm)
- (c) for fillet welds attaching nonpressure parts to pressure parts that have a throat thickness of ½ in. (13 mm) or less, provided preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of the pressure part exceeds ¾ in. (19 mm)
- (d) for welds used to attach extended heat absorbing surface to tubes and insulation attachment pins to pressure parts
- (e) for tubes or pressure retaining handhole and inspection plugs or fittings that are secured by physical means (rolling, shoulder construction, machine threads, etc.) and seal welded, provided the seal weld has a throat thickness of ⅜ in. (10 mm) or less, and preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of either part exceeds ¾ in. (19 mm)
- (f) for studs welded to pressure parts for purposes not included in (d) above, provided preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of the pressure part exceeds ¾ in. (19 mm)
- (g) for tube-to-tubesheet welded attachment of P-No. 1, Group Nos. 1 and 2 material in firetube boilers in accordance with Fig. PFT-12.1 sketches (f) and (g), if the depth of the weld groove or preparation does not exceed ⅜ in. (10 mm), provided a minimum preheat of 200°F (95°C) is applied when the tubesheet thickness exceeds ¾ in. (19 mm)
- (h) for fillet welds attaching connections to a vessel, provided that all of the following conditions are met:
  - (1) the diameter of the finished opening (diameter *d* in Figs. PG-33.1, PG-33.2, and PW-15) does not exceed that allowed in PG-32.1.2 or 2 in. (50 mm), whichever is less
  - (2) the throat thickness does not exceed ⅜ in. (10 mm)
  - (3) preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of either part exceeds ¾ in. (19 mm)
  - (4) the connections are not placed in the vessel such as to form ligaments, the efficiency of which would affect the vessel thickness
- (i) for combination groove and fillet welds attaching nonpressure parts to pressure parts, with a weld thickness of ½ in. (13 mm) or less, provided preheat to a minimum of 200°F (95°C) is applied when the thickness of the pressure part exceeds ¾ in. (19 mm)
- (j) for corrosion-resistant weld metal overlay cladding of pipe or tube materials, provided that all of the following conditions are met:
  - (1) the thickness of the overlay cladding is ¼ in. (6 mm) or less
  - (2) preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of the pressure part exceeds ¾ in. (19 mm)
  - (3) the pipe or tube material:
    - (a) does not exceed NPS 5 (DN 125) outside diameter
    - (b) is not used as a drum or shell
    - (c) if straightening is required after the application of the overlay, the cold strain shall not exceed 3%
- (k) For combination groove and fillet welds attaching connections to a vessel as depicted in Fig. PW-16.1(z), provided all of the following conditions are met:
  - (1) both the tube and vessel are P-No. 1, Group No. 1 or 2 material
  - (2) the diameter of the finished opening does not exceed that allowed in PG-32.1.2 or 2 in. (50 mm), whichever is less
  - (3) the nominal thickness of the weld does not exceed ⅜ in. (10 mm)
  - (4) the connections are not placed in the vessel such as to form ligaments, the efficiency of which would affect the vessel thickness
  - (5) a minimum preheat of 200°F (95°C) is applied when the thickness of either part exceeds ¾ in. (19 mm)

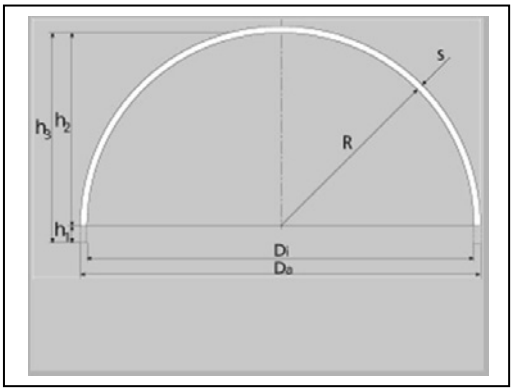
(2) When it is impractical to postweld heat treat at the temperature specified in this Table, it is permissible to carry out the postweld heat treatment at lower temperatures for longer periods of time in accordance with Table PW-39.1.

(3) For all P-No. 1 Group No. 1 materials, and for P-No. 1 Group No. 2 materials having a maximum actual carbon content of 0.30%, the postweld heat treatment requirement of PWT 11.2 for tubes welded to tubular manifolds or headers is not mandatory when all of the following conditions are met:
- (a) the tubes do not exceed 2 in. (50 mm) O.D.
- (b) the header does not exceed NPS 8 (DN 200)
- (c) the header thickness does not exceed ½ in. (13 mm)

# ภาคผนวก ง

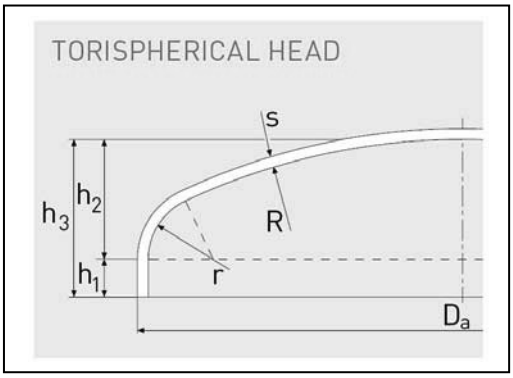
# แสดงคำอธิบายศัพท์

## ภาคผนวก ง : แสดงคำอธิบายศัพท์



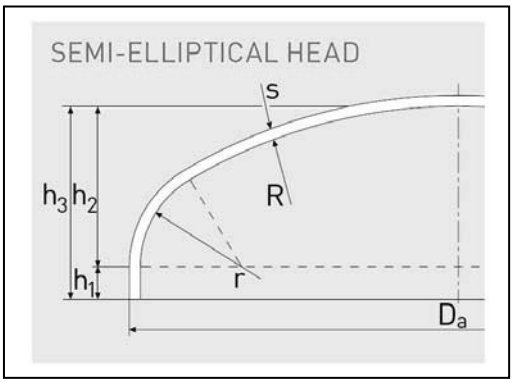

### Hemispherical dish head

$D_0$ = Outside diameter
$D_i$ = Inside diameter
$h_1$ = Skirt height
$h_2$ = Crown height
$h_3$ = Overall height
R = Inside dish radius
S = Thickness



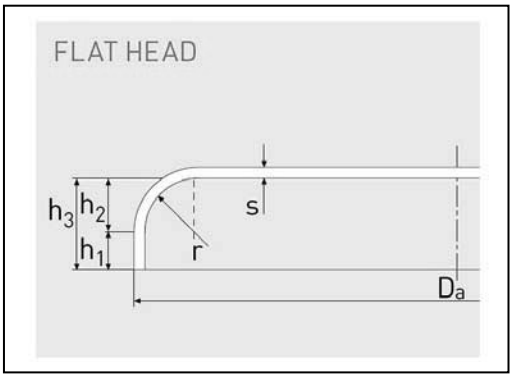

### Torispherical dish head

$D_0$ = Outside diameter
$D_i$ = Inside diameter
$h_1$ = Skirt height
$h_2$ = Crown height
$h_3$ = Overall height
R = Inside dish radius
r = Knuckle radius
S = Thickness



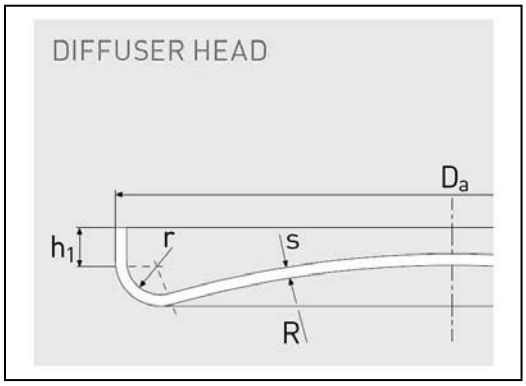

### Elliptical dish head

$D_a$ = Outside diameter
$D_i$ = Inside diameter
$h_1$ = Skirt height
$h_2$ = Crown height
$h_3$ = Overall height
R = Inside dish radius
r = Knuckle radius
S = Thickness



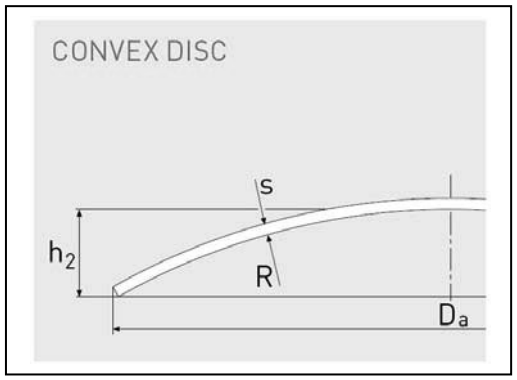

### Flat dish head

$D_a$ = Outside diameter
$h_1$ = Skirt height
$h_2$ = Crown height
$h_3$ = Overall height
r = Knuckle radius
S = Thickness



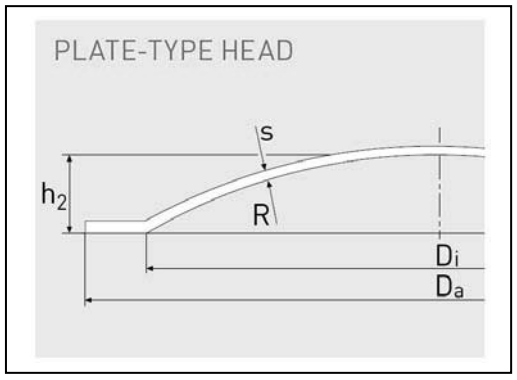

## Diffuser dish head

$D_a$ = Outside diameter
$h_1$ = Skirt height
R = Inside dish radius
r = Knuckle radius
S = Thickness



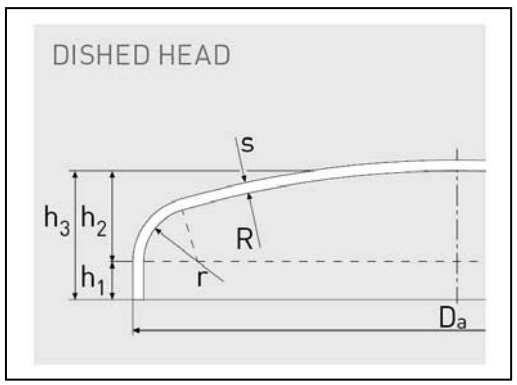

## Convex dish head/Part of Hemispherical head

$D_0$ = Outside diameter
$D_i$ = Inside diameter
$h_1$ = Skirt height
$h_2$ = Crown height
$h_3$ = Overall height
R = Inside dish radius
S = Thickness



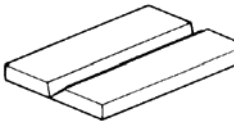
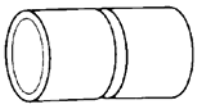
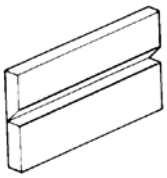
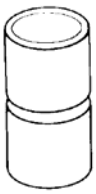
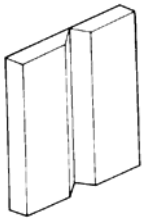
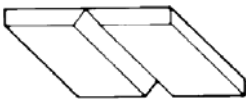
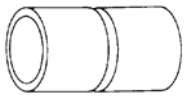
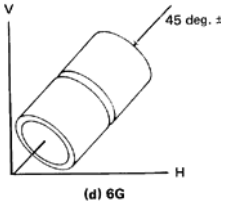

## Plate type dish head

$D_0$ = Outside diameter
$D_i$ = Inside diameter
$h_2$ = Crown height
R = Inside dish radius
S = Thickness




## Standard-type/ Flat Dish head

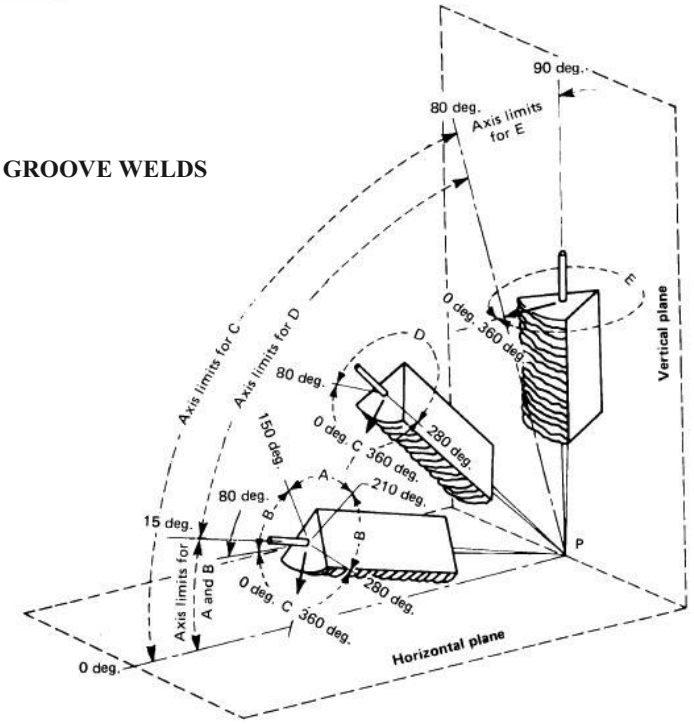
$D_a$ = Outside diameter
$D_i$ = Inside diameter
$h_1$ = Skirt height
$h_2$ = Crown height
$h_3$ = Overall height
R = Inside dish radius
r = Knuckle radius
S = Thickness

| ลำดับ | สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งเชื่อม | | |
|---|---|---|---|
| 1<br>(ท่าราบ : Flat) |  <br>(a) 1G |  <br>(a) 1G Rotated | องศาเอียงของแกนเชื่อม<br>(Incline of axis)<br>0–15°<br>มุมหน้าแนวเชื่อม<br>(Rotation of face)<br>150–210° |
| 2<br>(ท่าราบ :Horizontal) |  <br>(b) 2G |  <br>(b) 2G | องศาเอียงของแกนเชื่อม<br>(Incline of axis)<br>0–15°<br>มุมหน้าแนวเชื่อม<br>(Rotation of face)<br>80-150° และ*(125-150 °)*<br>210–280°และ*(210-235 °)* |
| 3 |  <br>(c) 3G | ดูรูป QW-461.1<br>และ<br>QW-461.2 | องศาเอียงของแกนเชื่อม<br>(Incline of axis)<br>15–80°<br>15 - 90°<br>มุมหน้าแนวเชื่อม<br>(Rotation of face)<br>80-280° และ*(125-235 °)*<br>0–360° |
| 4 |  <br>(d) 4G | ดูรูป QW-461.1<br>และ<br>QW-461.2 | องศาเอียงของแกนเชื่อม<br>(Incline of axis)<br>0–80°<br>มุมหน้าแนวเชื่อม<br>(Rotation of face)<br>0-80° และ*(0-125 °)*<br>280–360°และ*(235-360 °)* |
| 5 | - |  <br>(c) 5G | |
| 6 | - |  <br>(d) 6G | |

**หมายเหตุ: อักษรเอียง เช่น (235-360 ๐) หมายถึง มุมที่แตกต่างจากผลการเชื่อม Fillet*

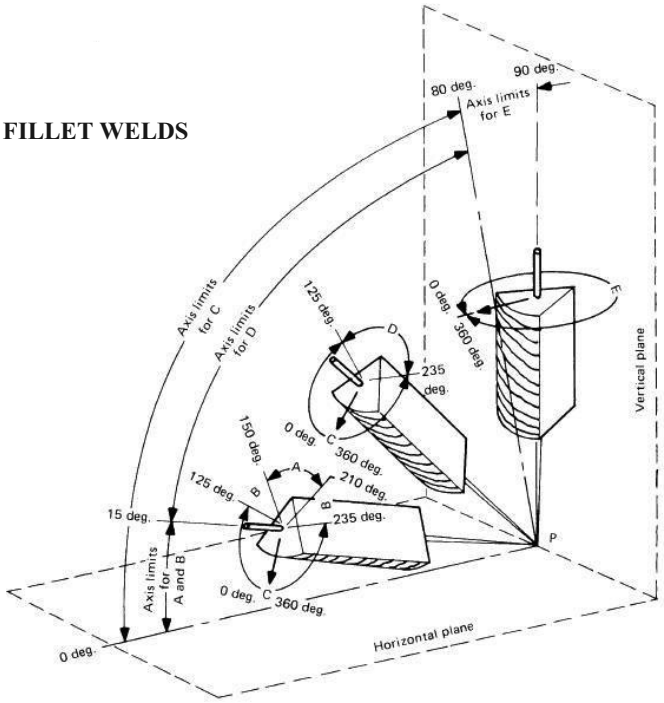
**QW-461.1**

**POSITIONS OF WELDS — GROOVE WELDS**




**QW-461.2**

**POSITIONS OF WELDS — FILLET WELDS**



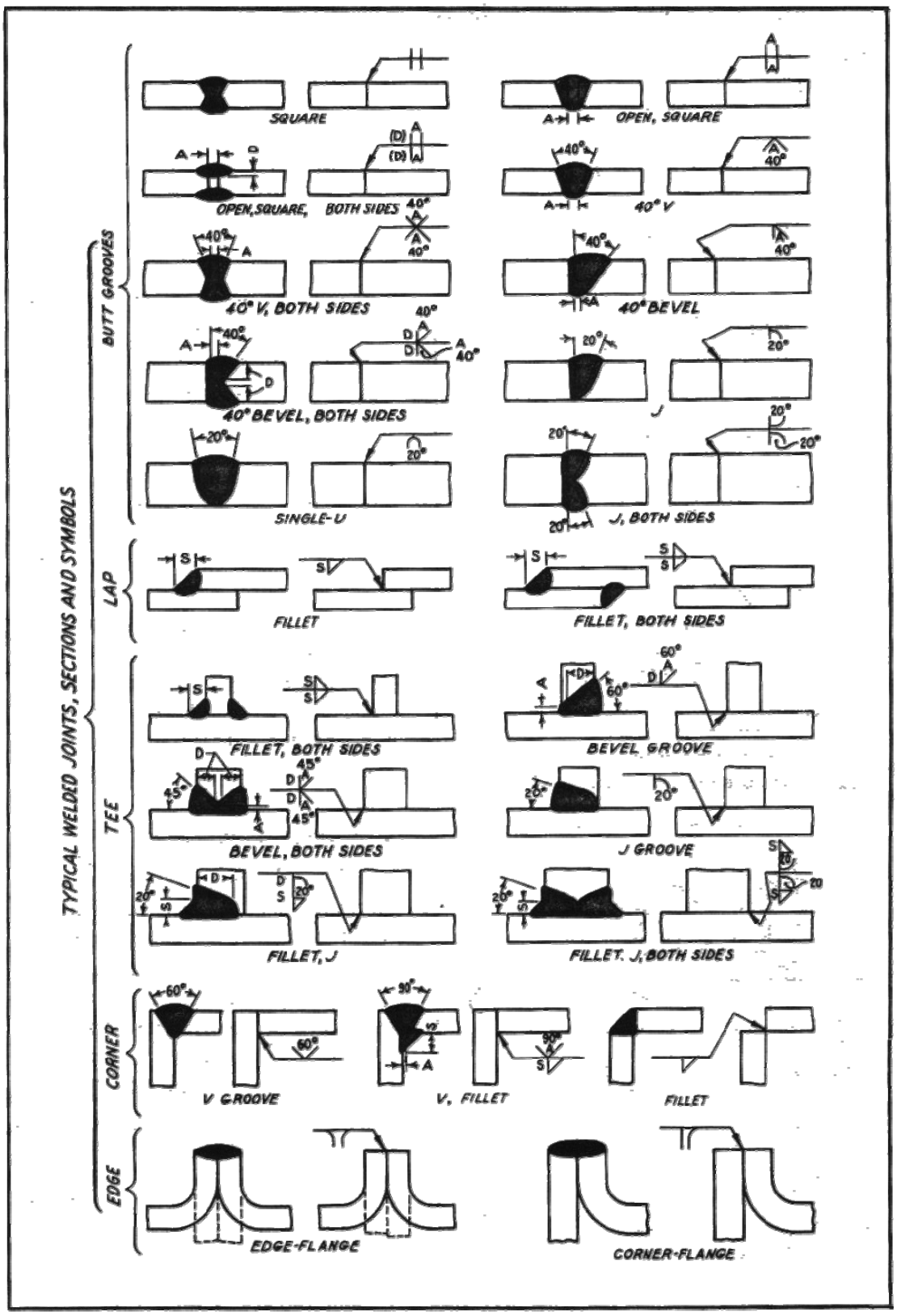



**FIG. 12 Classification of welded joints.**

ภาพแสดงรอยต่อชนพื้นฐานในการเชื่อม

**“Cracks”** หมายถึง สิ่งบ่งชี้ที่มีด้านยาวมากกว่าด้านกว้าง และมีความยาวตั้งแต่ 1 มม.ขึ้นไป

**“Defect”** หมายถึง การเกิดรอยแยกหรือโพรงช่องว่างในรอยเชื่อมหรือผิวชิ้นงาน ทาให้เนื้อโลหะไม่ต่อเนื่องถึงกัน และมีขนาดเกินกว่าที่จะยอมรับได้ตามที่กาหนดในมาตรฐานนี้ ไม่รวมถึงรอยบกพร่องทางโลหะวิทยาและรอยบกพร่องทางมิติ

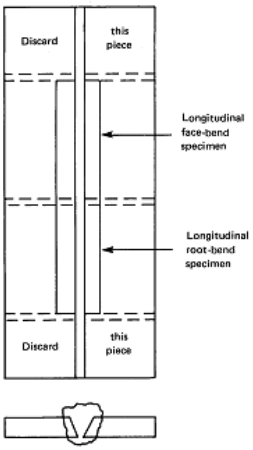
**“Evaluation”** หมายถึง การวิเคราะห์ผลว่า สามารถยอมรับได้ (Accept) หรือ ยอมรับไม่ได้ (Reject)

**HAZ : Heated Affected Zone** หมายถึง บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน

**“Indication”** หมายถึง : สิ่งที่แสดงออกให้เห็นบนเครื่องแสดงผล สิ่งนั้นอาจจะเกิดจากรอยบกพร่องหรือไม่ก็ได้ ถ้าเป็นรอยบ่งชี้จริงจะเกิดจากรอยบกพร่อง แต่รอยบ่งชี้แปลกปลอม(False Indication) จะเกิดขึ้นจากสาเหตุอื่น ๆ

**“Interpretation”** หมายถึง การตีความหมาย

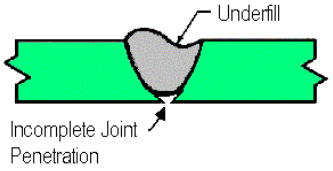
**“Longitudinal root bend”**หมายถึงการดัดโค้งชิ้นงานโดยทิศทางการเตียมชิ้นงานดัดตามแนวเชื่อม

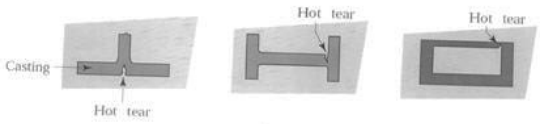
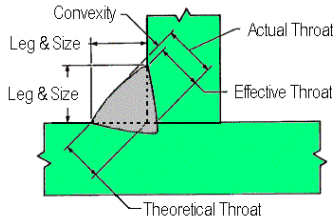



QW-463.2(c) PLATES — LONGITUDINAL PERFORMANCE QUALIFICATION

**“Nonrelevent”** หมายถึง ผลของการตีความว่าไม่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์

**“Relevant”** หมายถึง ผลของการตีความว่าเป็นความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities)

| ชนิดของความไม่ต่อเนื่อง | ตำแหน่งสถานที่ | หมายเหตุ |
|---|---|---|
| **(1) รูพรุน (Porosity)**<br>(a) Uniformly scattered<br>(b) Cluster<br>(c) Piping<br>(d) Aligned<br>(e) Elongated | WM | รูพรุนสามารถพบได้ทั้งในแนวเชื่อมและเนื้อวัสดุถ้าเป็นชิ้นงานหล่อ |
| **(2) สิ่งเจือปน (Inclusion)**<br>(a) Slag<br>(b) Tungsten | WM | |
| **(3) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete fusion)** | WM/MI | WM between passes |
| **(4) การซึมลึกระหว่างรอยต่อไม่สมบูรณ์(Incomplete joint penetration)** | BM | Weld root. |
| **(5) การกัดขอบ (Undercut)** | WI | Adjacent to weld toe or weld root in base metal. |
| **(6) Underfill** | WM | Weld face or root surface of a groove weld.<br>  <br> |
| **(7) การเชื่อมเกย (Overlap)** | WI | Weld toe or root surface. |
| **(8) การแยกชั้น (Lamination)** | BM | Base metal, generally near midthickness of section |
| **(9) การแยกชั้นออกมา (Delamination)** | BM | Base metal, generally near midthickness of section. |
| **(10) Seam and lap** | | Base metal surface generally aligned with rolling direction. |

| | | |
|---|---|---|
| **(11) การฉีกแยกชั้น (Lamellar tear) และ การฉีกร้อน (Hot tear)** | BM | Base metal, near HAZ   |
| **(12) รอยร้าว (Crack) รวม การแตกร้อน (hot cracks) และ การแตกเย็น (cold cracks) อธิบายลักษณะดังนี้** | | |
| (a) Longitudinal | WM, HAZ, BM | Weld metal or base metal adjacent to WI. |
| (b) Transverse | WM, HAZ, BM | Weld metal (may propagate into HAZ and base metal). |
| (c) Crater | WM | Weld metal at point where arc is terminated. |
| (d) Throat | WM | Parallel to weld axis. Through the throat of a fillet weld. |
| (e) Toe | WI, HAZ | |
| (f) Root | WI, HAZ | Root surface or weld root. |
| (g) Underbead และ HAZ | HAZ | |
| **(13) รอยเชื่อมหนุน (Concavity)** | WM | Weld face or fillet weld. |
| **(14) รอยเชื่อมเว้า (Convexity)** | WM | Weld face of a fillet weld.   |
| **(15) Weld reinforcement** | WM | Weld face of a groove weld. |

WM—เนื้อเชื่อม (weld metal zone) BM—เนื้อวัสดุเชื่อม (base metal zone)

HAZ—บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (heat-affected zone) WI—รอยต่อการเชื่อม (weld interface)

# ภาคผนวก จ

# การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

# ภาคผนวก จ-RT-1

# มาตรฐานตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี

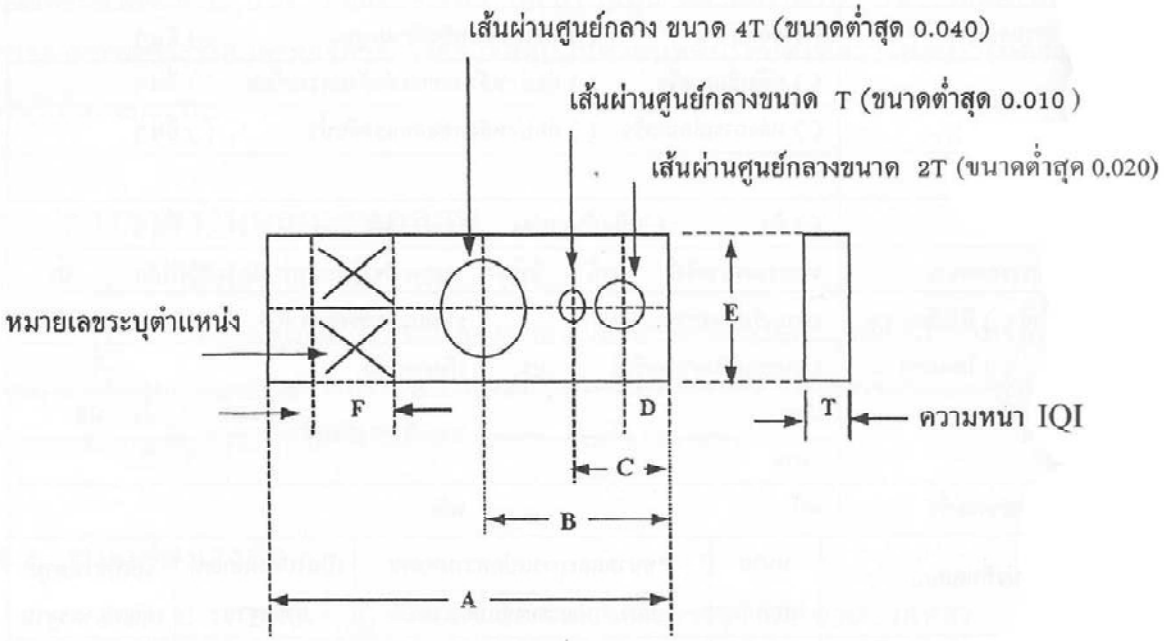
**ภาคผนวก RT-1**

**มาตรฐานตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี แบบรูกลม**

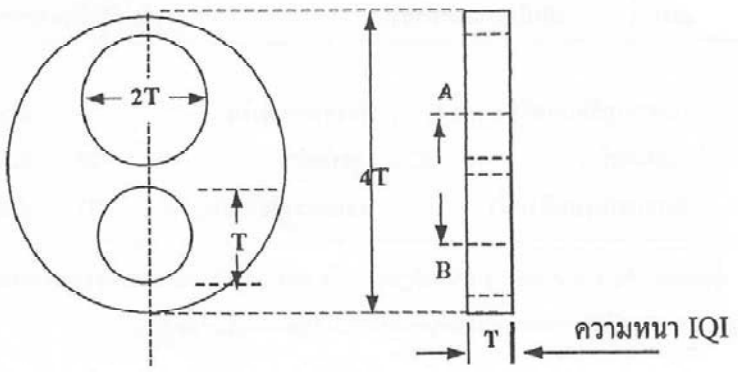
**(STANDARD HOLE - Type IQI)**

**1) ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายรังสี (IQI) จะถูกทาตามขนาดความต้องการดังต่อไปนี้**

**a) การออกแบบ ตัวบ่งชี้คุณภาพ-ของภาพถ่ายทางรังสี (IQI) ที่รุ่นหมายเลขขนาดไม่เกิน 180**




**b) การออกแบบ ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี (IQI) 180° และใหญ่กว่า**



**ตารางของขนาดของตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี (หน่วยเป็นนิ้ว)**

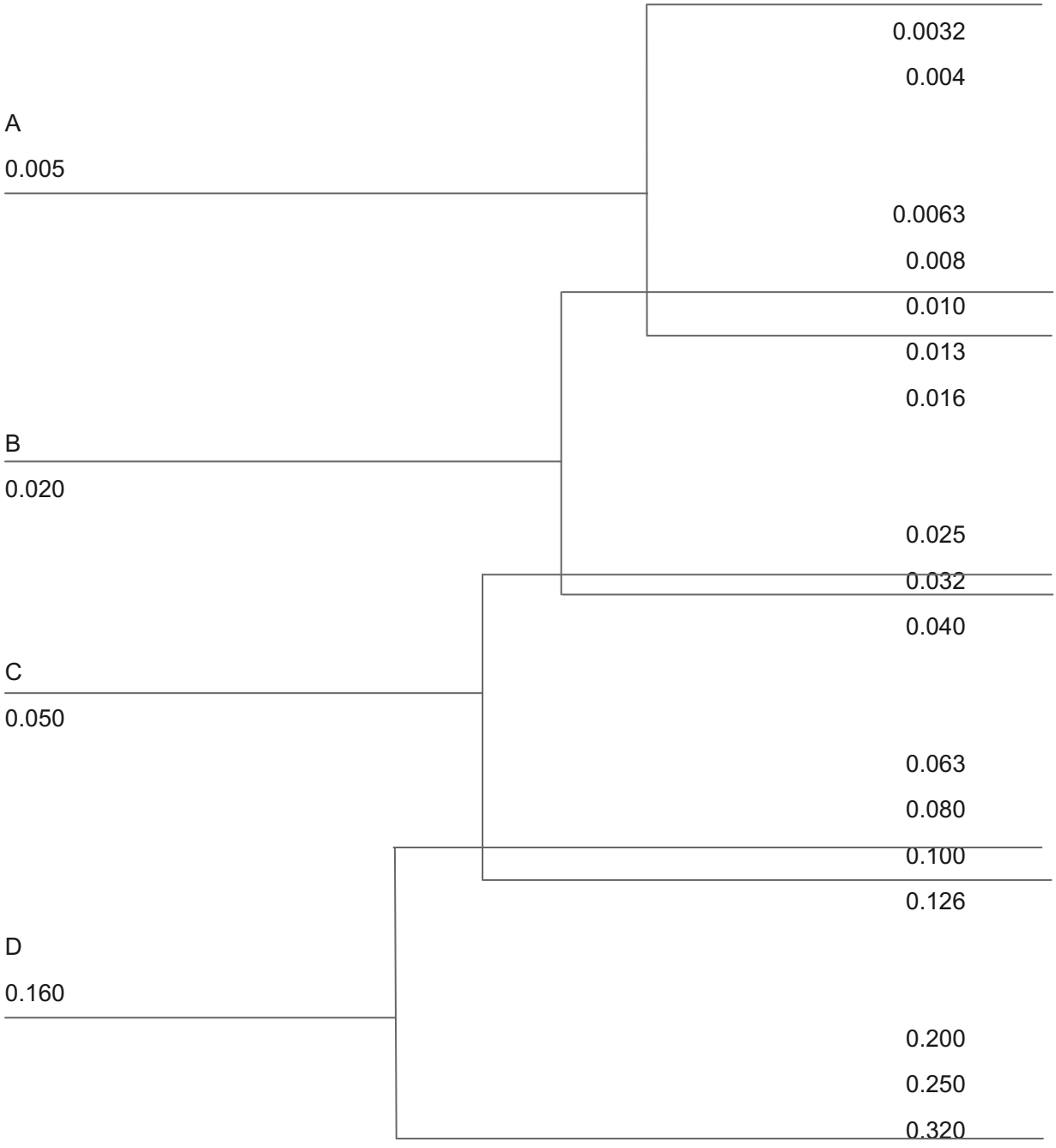
| รุ่นหมายเลข แบบรูกลม | A | B | C | D | E | F | พิกัดเผื่อ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 - 20 | 1.500<br>±0.015 | 0.750<br>±0.015 | 0.483<br>±0.015 | 0.250<br>±0.015 | 0.500<br>±0.015 | 0.250<br>±0.030 | ±0.0005 |
| 21 – 50 | - | - | - | - | - | - | ±0.0025 |
| มากกว่า 50 – 160 | 2.250<br>±0.030 | 1.375<br>±0.030 | 0.750<br>±0.030 | 0.375<br>±0.030 | 1.000<br>±0.030 | 0.375<br>±0.030 | - |
| มากกว่า 160 | 1.330T<br>±0.005 | 0.830T<br>±0.005 | -<br>- | -<br>- | -<br>- | -<br>- | ±0.010<br>- |

หมายเหตุ พิกัดความเผื่อของความหนาตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายรังสี (IQI) และเส้นผ่านศูนย์กลางรูกลม

**มาตรฐาน ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี (IQI) แบบเส้นลวด**

**(STANDARD WIRE - Type IQI)**

**1) ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี (IQI) จะถูกทาตามขนาดความต้องการต่อไปนี้ หมายเลขและขนาดของ ตัวบ่งชี้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี แบบเส้นลวด (หน่วยเป็นนิ้ว)**



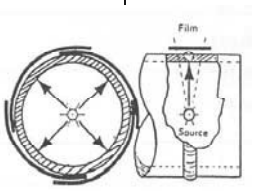
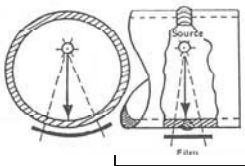
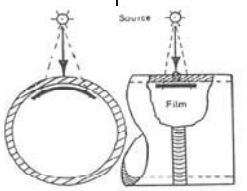
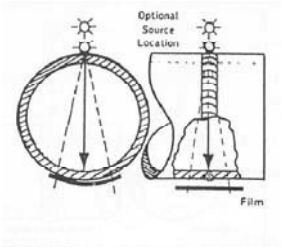
**2) ตารางของพิกัดเผื่อของตัวบ่งชี้คุณภาพของการถ่ายภาพทางรังสี (IQI) เส้นลวด (หน่วยเป็นนิ้ว)**

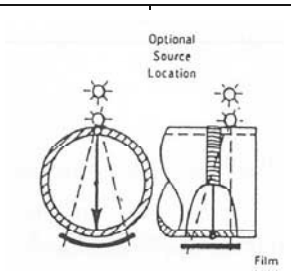
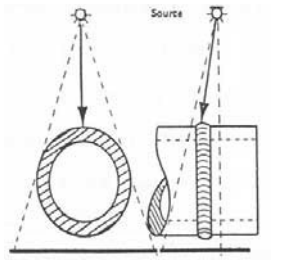
| เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด (d) | ค่าพิกัดเผื่อ |
|---|---|
| 0.000 < d < 0.005 | ±0.0001 |
| 0.005 < d < 0.010 | ±0.0002 |
| 0.010 < d < 0.020 | ±0.0004 |
| 0.020 < d < 0.063 | ±0.0008 |
| 0.063 < d < 0.160 | ±0.0012 |
| 0.160 < d < 0.320 | ±0.0020 |

# ภาคผนวก จ-RT-2

# เทคนิคการถ่ายภาพรังสีแบบผนังเดี่ยว และผนังคู่

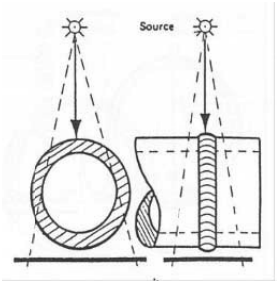
## ภาคผนวก RT-2
## เทคนิคการถ่ายภาพรังสีแบบผนังเดี่ยว และผนังคู่

| เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงาน (OD) | เทคนิคการฉายรังสี | ลักษณะการประเมินผล | ลักษณะการจัดวาง | | IQI | | ตำแหน่งของเครื่องหมายกำหนดตำแหน่ง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ภาพตัด | ภาพด้านข้าง | เลือกใช้ | ตำแหน่ง | |
| ทุกขนาด | ผนังเดี่ยว | ผนัง |  | รูปแบบที่ 1 | ตารางที่ 3 | ด้านแหล่งกำเนิดรังสี<br>ด้านฟิล์ม | ด้านฟิล์ม หรือ ด้านหล่งกำเนิดรังสี |
| ทุกขนาด | ผนังเดี่ยว | ผนังเดี่ยว |  | รูปแบบที่ 2 | ตารางที่ 3 | ด้านแหล่งกำเนิดรังสี<br>ด้านฟิล์ม | ด้านฟิล์ม |
| ทุกขนาด | ผนังเดี่ยว | ผนังเดี่ยว |  | รูปแบบที่ 3 | ตารางที่ 3 | ด้านแหล่งกำเนิดรังสี<br>ด้านฟิล์ม | ด้านหล่งกำเนิดรังสี |
| ทุกขนาด | ผนังคู่อย่างน้อย3 ภาพห่างกัน 120° เพื่อให้ครอบคลุมแนวเชื่อมทั้งหมด | ผนังเดียว |  | รูปแบบที่ 4 | ตารางที่ 3 | ด้านแหล่งกำเนิดรังสี<br>ด้านฟิล์ม | ด้านฟิล์ม หรือ ด้านหล่งกำเนิดรังสี |

| เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงาน (OD) | เทคนิคการฉายรังสี | ลักษณะการประเมินผล | ลักษณะการจัดวาง | IQI | | ตำแหน่งของเครื่องหมายกำหนดตำแหน่ง |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ทุกขนาด | ผนังคู่อย่างน้อย3 ภาพห่างกัน 120° เพื่อให้ครอบคลุมแนวเชื่อมทั้งหมด | ผนังเดี่ยว |  รูปแบบที่ 5 | ตารางที่ 3 | ด้านแหล่งกำเนิดรังสี<br>ด้านฟิล์ม | ด้านฟิล์ม |
| 3 1/2 นิ้ว หรือ น้อยกว่า | **ผนังเดี่ยว** ผนังคู่อย่างน้อย3 ภาพห่างกัน 120° เพื่อให้ครอบคลุมแนวเชื่อมทั้งหมด | ผนังคู่ (วงรี) อ่านผลแนวเชื่อมทั้งด้านฟิล์มและกำเนิดรังสี |  รูปแบบที่ 6 | ตารางที่ 3 | ด้านแหล่งกำเนิดรังสี<br>ด้านฟิล์ม | ด้านฟิล์มหรือด้านหล่งกำเนิดรังสี |

หมายเหตุ : เฉพาะรูปแบบที่ 4 และรูปแบบที่ 5 ให้เลือกวางแหล่งกา เนิดรังสี ตามความเหมาะสมเพียง 1 ตำแหน่ง

## เทคนิคการถ่ายภาพรังสีแบบผนังเดี่ยว และผนังคู่

| เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงาน (OD) | เทคนิคการฉายรังสี | ลักษณะการประเมินผล | ลักษณะการจัดวาง | | IQI | | ตำแหน่งของเครื่องหมายกำหนดตำแหน่ง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ภาพตัด | ภาพด้านข้าง | เลือกใช้ | ตำแหน่ง | |
| 3 1/2 นิ้ว หรือ น้อยกว่า | ผนังคู่อย่างน้อย3 ภาพ ห่างกัน 60° หรือ 120° เพื่อให้ครอบคลุมแนวเชื่อมทั้งหมด | **ภาพซ้อน ผนังคู่** |  | | **ตารางที่ 3** | **ด้านแหล่งกำเนิดรังสี** | **ด้านฟิล์ม หรือ ด้านหล่งกำเนิดรังสี** |
| | | | | **รูปแบบที่ 7** | | **ด้านฟิล์ม** | |

# ภาคผนวก จ-RT-3

# เกณฑ์การยอมรับ สำหรับรอยบ่งชี้กลมในแนวเชื่อม

**ภาคผนวก RT-3**

**เกณฑ์การยอมรับ สำหรับรอยบ่งชี้กลมในแนวเชื่อม**

**ตามมาตรฐาน ASME Section VIII Division 1 Appendix 4**

1. รอยบ่งชี้กลม หมายถึง รอยบ่งชี้ที่มีความยาวมากที่สุดไม่เกินสามเท่าของความกว้างในภาพถ่ายด้วยรังสีซึ่งอาจเป็นรูปวงกลม รูปวงรี รูปกรวย หรือรูปร่างที่ไม่แน่นอน และอาจจะมีลักษณะเป็นทางยาว ในการประเมินขนาดของลักษณะบกพร่องที่ปรากฏ กำหนดให้รวมถึงขนาดของหางด้วย รอยบ่งชี้กลมในภาพถ่ายรังสีของงานการเชื่อมจะเป็นรอยบกพร่องใด ๆ ก็ได้ เช่น ฟองอากาศฝังในสแลกฝังใน หรือทังสเตนฝังใน เป็นต้น

2. รอยบ่งชี้กลมเรียงเป็นแนวยาว หมายถึง การเรียงเป็นแนวของรอยบ่งชี้กลมจำนวนตั้งแต่สี่หรือมากกว่า ซึ่งสัมผัสเส้นที่ลากขนานกับความยาวของแนวเชื่อมผ่านรอยบ่งชี้กลม 2 รอยที่อยู่ไกลสุดที่พิจารณาทั้งสองด้านดังรูปที่ 1

3. ความหนา (t) หมายถึง ความหนาของแนวเชื่อมที่ไม่รวมถึงส่วนนูนเสริม สำหรับแนวเช่อมต่อชนที่มีความหนาของชิ้นงานไม่เท่ากัน ให้ใช้ความหนาของแนวเชื่อมที่บางกว่า

**เกณฑ์การยอมรับ**

1. ความเข้มของภาพ ค่าความเข้มของภาพในรอยบ่งชี้จะมีค่าต่าง ๆ กันและไม่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินการยอมรับหรือไม่ยอมรับ

2. รอยบ่งชี้ที่ต้องพิจารณา รอยบ่งชี้กลมซึ่งมีค่าเกินขนาดกำหนดต่อไปนี้ ต้องนามาพิจาณาตามเกณฑ์ยอมรับ

1/10 t สำหรับ t น้อยกว่า 1/8 นิ้ว (3.2 ม.ม.)

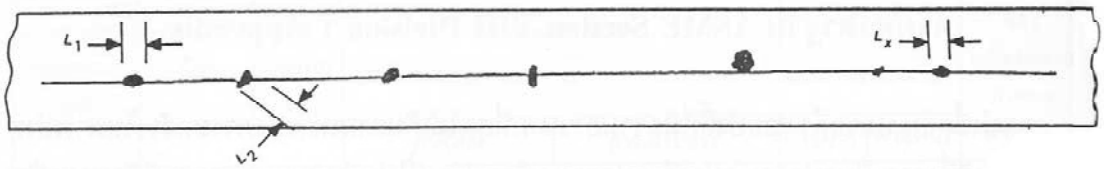
1/64 นิ้ว สำหรับ t ตั้งแต่ 1/8 นิ้ว ถึง ¼ นิ้ว (3.2 ม.ม ถึง 6 ม.ม)

1/32 นิ้ว สำหรับ t มากกว่า ¼ นิ้ว ถึง 2 นิ้ว (6 ม.ม. ถึง 51 ม.ม)

1/16 นิ้ว สำหรับ t มากกว่า 2 นิ้ว ขึ้นไป ( 51 ม.ม. ขึ้นไป)

3. รอยบ่งชี้กลมขนาดใหญ่ที่สุด (ตามตารางที่ 1) เกณฑ์กำหนดของรอยบ่งชี้กลมขนาดใหญ่ที่สุดที่ยอมรับได้ของรอยบ่งชี้กลม คือ1/4 t หรือ 5/32นิ้ว (4 ม.ม. ) แล้วแต่ค่าใดจะน้อยกว่ายกเว้นในกรณีที่รอยบ่งชี้โดดเดี่ยวห่างจากรอยบ่งชี้อื่น ๆ 1 นิ้วหรือมากกว่า กำหนดให้มีขนาด 1/3t หรือ 1/4นิ้ว (6 ม.ม.) แล้วแต่ค่าใดจะน้อยกว่าสำหรับค่า t มากกว่า 2 นิ้ว ขนาดของรอยบ่งชี้โดดเดี่ยว กำหนดขนาดได้ไม่เกิน 3/8นิ้ว (10 ม.ม.)

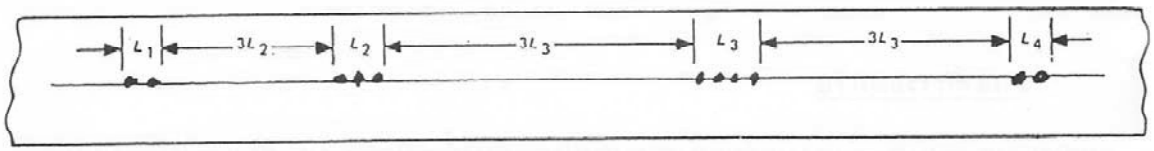
4. รอยบ่งชี้กลมเรียงเป็นแนวยาว สามารถยอมรับได้ ในกรณีที่ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบ่งชี้กลมไม่เกินความหนา t ในช่วงความยาว 12t ใด ๆ ดัง รูปที่ 1




ผลรวมของ L1 ถึง LX ต้องมีค่าน้อยกว่าค่าความหนา t ภายในช่วงความยาว 12 t ใด ๆ

**รูปที่ 1 รอยบ่งชี้กลมเรียงเป็นแนวยาว**

สำหรับกลุ่มของรอยบ่งชี้กลมเรียงเป็นแนวยาว เกณฑ์การตัดสินความยาวของรอยบ่งชี้และระยะห่างระหว่างรอยบ่งชี้ให้เป็นไปตามรูปที่ 2




**รูปที่ 2 กลุ่มของรอยบ่งชี้กลมเรียงเป็นแนวยาว**

ผลรวมของความยาวของกลุ่ม ต้องมีค่าน้อยกว่าค่า t ภายในช่วงความยาว 12t ใด ๆ

***ความยาวของรอยบ่งชี้ (L) ยาวที่สุดที่ยอมรับได้ คือ***

L = 1/4นิ้ว สำหรับค่า t น้อยกว่า 3/4นิ้ว

L = 1/3t สำหรับค่า t ตั้งแต่ 3/4- 2 1/4นิ้ว

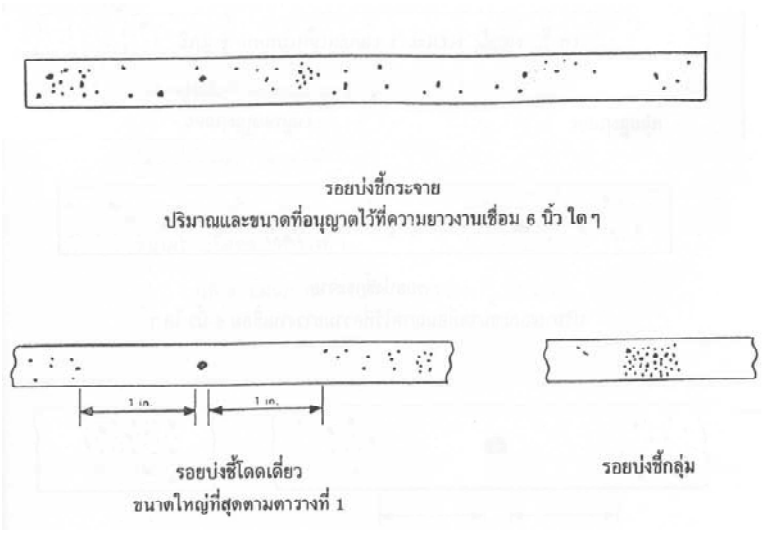
L = ¾ นิ้ว สำหรับค่า t มากกว่า 2 2/4 นิ้ว

**ระยะห่างระหว่างรอยบ่งชี้**

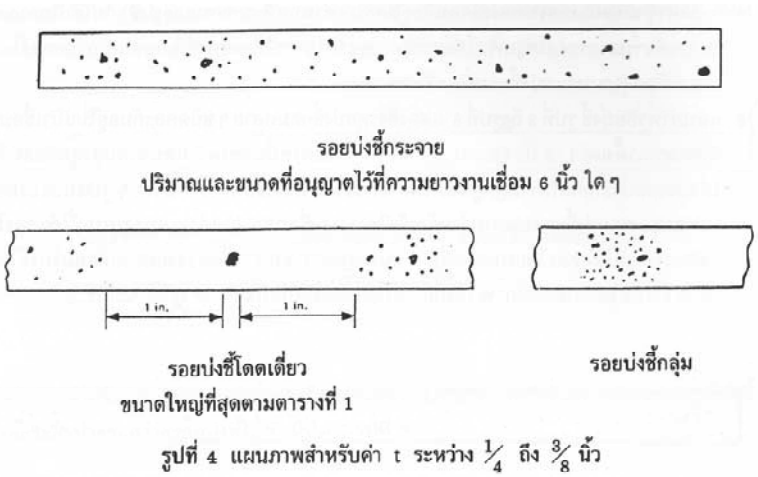
ระยะห่างระหว่างรอยบ่งชี้ที่อยู่ติดกัน ต้องไม่ห่างกันไม่น้อยกว่า 3L เมื่อ L คือความยาวของกลุ่มรอยบ่งชี้ซึ่งยาวมากกว่าของกลุ่มรอยบ่งชี้ที่อยู่ใกล้กัน

5. ระยะห่าง ระยะห่างของรอยบ่งชี้กลมที่อยู่ติดกัน (กำหนดที่ขอบของรอยบ่งชี้) ไม่ได้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการยอมรับหรือไม่ยอมรับ ยกเว้นในกรณีที่รอยบ่งชี้ที่เกิดขึ้นเป็นรอยบ่งชี้โดดเดี่ยวหรือกลุ่มของรอยบ่งชี้กลมเรียงเป็นแนวยาว

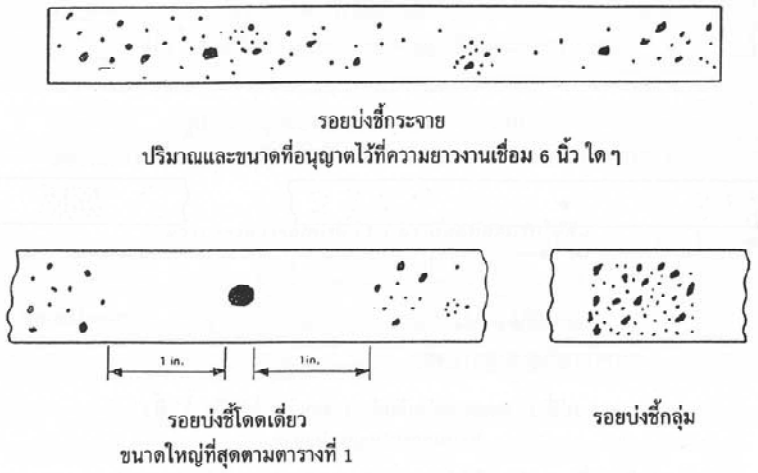
6. แผนภาพรอยบ่งชี้ รูปที่ 3 ถึงรูปที่ 8 แสดงถึงรอยบ่งชี้กลมหลาย ๆ ชนิดคละกันอยู่ในแนวเชื่อมที่มีความหนาตั้งแต่ 1/8 นิ้ว (3.2 ม.ม.) ขึ้นไป แผนภาพนี้แสดงความหนาแน่นสูงสุดที่ยอมรับได้ของรอยบ่งชี้กลมที่ปรากฏอยู่บนภาพถ่ายด้วยรังสี แนวเชื่อมยาว 6 นิ้วใด ๆ รูปแบบของการกระจายของรอยบ่งชี้กลมบนภาพถ่ายด้วยรังสีของแนวเชื่อมอาจแตกต่างจากแผนภาพที่ได้แสดงไว้แต่สิ่งสาคัญที่ได้แสดงในแผนภาพ คือ ขนาดและความหนาแน่นของรอยบ่งชี้ที่ยอมรับได้โดยไม่มีการย่อหรือขยายแผนภาพ (แผนภาพที่ถูกต้องให้เทียบจากมาตรฐาน ASME.)



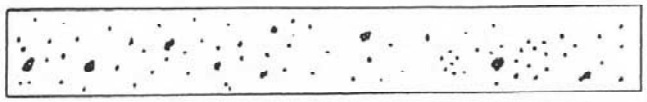

**รูปที่ 3** แผนภาพสำหรับค่า t ระหว่าง ถึง นิ้ว



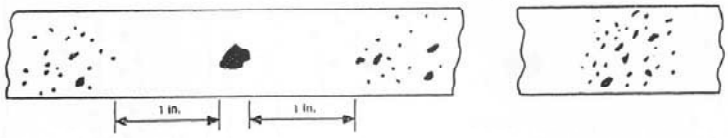

**รูปที่ 4** แผนภาพสำหรับค่า t ระหว่าง $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{3}{8}$ นิ้ว




**รูปที่ 5** แผนภาพสำหรับค่า t ระหว่าง $\frac{3}{8}$ ถึง $\frac{3}{4}$ นิ้ว



รอยบ่งชี้กระจาย
ปริมาณและขนาดที่อนุญาตไว้ที่ความยาวงานเชื่อม 6 นิ้ว ใด ๆ

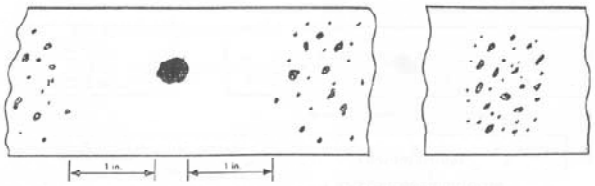



รอยบ่งชี้โดดเดี่ยว
ขนาดใหญ่ที่สุดตามตารางที่ 1

รอยบ่งชี้กลุ่ม

รูปที่ 6 แผนภาพสำหรับค่า t ระหว่าง $\frac{3}{4}$ ถึง 2 นิ้ว

รอยบ่งชี้กระจาย
ปริมาณและขนาดที่อนุญาตไว้ที่ความยาวงานเชื่อม 6 นิ้ว ใด ๆ



รอยบ่งชี้โดดเดี่ยว
ขนาดใหญ่ที่สุดตามตารางที่ 1

รอยบ่งชี้กลุ่ม

รูปที่ 8 แผนภาพสำหรับค่า t มากกว่า 4 นิ้ว

7. ความหนาของแนวเชื่อม (t) น้อยกว่า 1/8 นิ้ว (3.2 ม.ม.) สำหรับค่าความหนาที่น้อยกว่า 1/8นิ้ว (3.2 ม.ม.) จำนวนของรอยบ่งชี้กลมต้องไม่เกิน 12 ในระยะความยาวแนวเชื่อม 6 นิ้ว (152 ม.ม.) สำหรับความยาวรอยเชื่อมที่มีน้อยกว่า 6 นิ้ว (152 มม.) จำนวนรอยบ่งชี้ที่ยอมให้มีได้สามารถทาการคานวณตามสัดส่วนข้างต้นได้

8. รอยบ่งชี้กลุ่ม ความหนาแน่นของรอยบ่งชี้กลุ่มจะมีความหนาแน่นมากกว่ารอยบ่งชี้กระจายถึง 4 เท่า ความยาวของรอยบ่งชี้กลุ่มที่ยอมรับได้ต้องไม่เกินค่าที่น้อยกว่า 1 นิ้ว (25ม.ม.) หรือ 2t ในกรณีที่รอยบ่งชี้กลุ่มมีมากกว่าหนึ่งกลุ่ม ผลรวมของความยาวของกลุ่มต้องไม่เกิน 1 นิ้ว (25 ม.ม.) ความยาว 6 นิ้ว(152 ม.ม.) ที่ความยาว 6 นิ้ว(152 ม.ม.) ใด ๆ

**ตารางที่ 1 เกณฑ์กำหนดของรอยบ่งชี้กลม**

| ความหนา t (นิ้ว) | ขนาดใหญ่ที่สุดของรอยบ่งชี้กลมที่ยอมรับได้ (นิ้ว) | | ขนาดโตที่สุดของรอยบ่งชี้กลมที่ไม่ต้องนำมาพิจารณาตัดสิน |
|---|---|---|---|
| | กระจาย | เดี่ยว | |
| ต่ำกว่า 1/8 | 1/4 t | 1/3 t | 1/10 t |
| 1/8 | 0.031 | 0.042 | 0.015 |
| 3/16 | 0.047 | 0.063 | 0.015 |
| 1/4 | 0.063 | 0.083 | 0.015 |
| 5/16 | 0.078 | 0.104 | 0.031 |
| 3/8 | 0.091 | 0.125 | 0.031 |
| 7/16 | 0.109 | 0.146 | 0.031 |
| 1/2 | 0.125 | 0.168 | 0.031 |
| 9/16 | 0.142 | 0.188 | 0.031 |
| 5/8 | 0.156 | 0.210 | 0.031 |
| 11/16 | 0.156 | 0.230 | 0.031 |
| 3/4 ถึง 2 | 0.156 | 0.250 | 0.031 |
| มากกว่า 2 | 0.156 | 0.375 | 0.063 |

ภาคผนวก จ-UT-1

# วิธีการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของความสูงรูปคลื่นสะท้อน

**ภาคผนวก UT-1**

**วิธีการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของความสูงรูปคลื่นสะท้อน**

**(SCREEN HEIGHT LINEARIY)**

**1. ขอบข่าย**

มาตรฐานนี้ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบในความเป็นเชิงเส้นของการแสดงผลบนจอภาพไม่ว่าจะเป็นคลื่นสะท้อนที่สูงหรือต่ำ

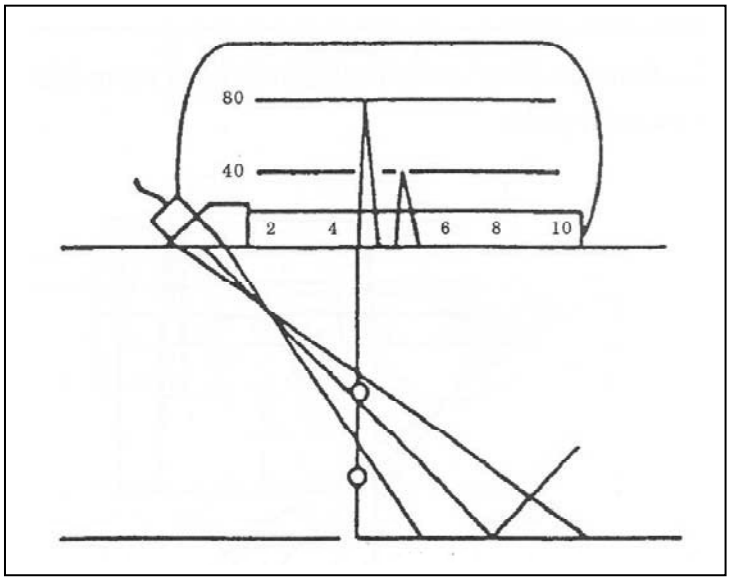
**2. วิธีทำ**

2.1 วางหัวทดสอบแบบมุมที่ตาแหน่งดังรูป ทาให้เกิดคลื่นสะท้อนปรากฏบนจอภาพจากรูทั้งสองให้มีอัตราส่วน 2 : 1 พอดี โดยปรับให้คลื่นสะท้อนอันสูง สูงเท่ากับ ร้อยละ 80 ของจอภาพพอดี

2.2 โดยไม่มีการขยับหัวทดสอบ ปรับกาลังขยายเครื่องให้คลื่นสะท้อนอันสูงสูงขึ้นถึงร้อยละ 100 ของจอภาพ แล้วปรับลดลงครั้งละ 2 dB จนไม่สามารถอ่านค่าได้ บันทึกความสูงของคลื่นทั้งสองให้ละเอียดถึง ร้อยละ 1 ของจอภาพ

2.3 ความสูงของคลื่นสะท้อนอันต่ากว่าจะต้องเป็นครึ่งหนึ่งของอันสูงกว่าตลอดโดยมีความผิดพลาดไม่เกิน ร้อยละ 5 ของความสูงเต็มจอภาพ

2.4 หากเครื่องมือทดสอบที่อ่านผลได้ไม่เป็นไปตามข้อ 2.3 ห้ามนามาใช้ในการทดสอบจนกว่าจะมีการปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง



ภาคผนวก จ-UT-2

# วิธีการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของภาคขยายภายในเครื่อง

**ภาคผนวก UT-2**

**วิธีการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของภาคขยายภายในเครื่อง**

**(AMPLITUDE CONTROL LINEARITY)**

**1. ขอบข่าย**

มาตรฐานนี้ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบในความเป็นเชิงเส้นของภาคขยายภายในเครื่อง

**2. วิธีทำ**

2.1 วางหัวทดสอบแบบมุมที่ตาแหน่งดังรูป ทาให้เกิดคลื่นสะท้อนจากรูขึ้นสูงสุด

2.2 ทำการปรับกาลังขยายเครื่องให้มีความสูงของคลื่นสะท้อนเริ่มต้นเป็นร้อยละของความสูงของจอภาพตามตารางต่อไปนี้ ตามคอลัมน์ซ้าย แล้วทำการปรับกาลังขยายเครื่องตามจานวน dB ที่ระบุในช่องกลาง ความสูงของคลื่นสะท้อนที่เปลี่ยนไปจะต้องอยู่ในช่วงที่กาหนดในคอลัมน์ขวา ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้ไว้

| ความสูงของคลื่นสะท้อนเริ่มต้น (ร้อยละ) | dB ที่ปรับเปลี่ยนไป (dB) | ความสูงของคลื่นสะท้อนที่เปลี่ยนไป (ร้อยละ) |
|---|---|---|
| 80 | -6 | 32 – 48 |
| 80 | -12 | 16 – 24 |
| 40 | +6 | 64 – 95 |
| 20 | +12 | 64 - 96 |

2.3 หากเครื่องมือทดสอบที่อ่านผลได้ไม่เป็นไปตามตาราง ห้ามนามาใช้ในการทดสอบจนกว่าจะมีการปรับแก้ให้ถูกต้อง

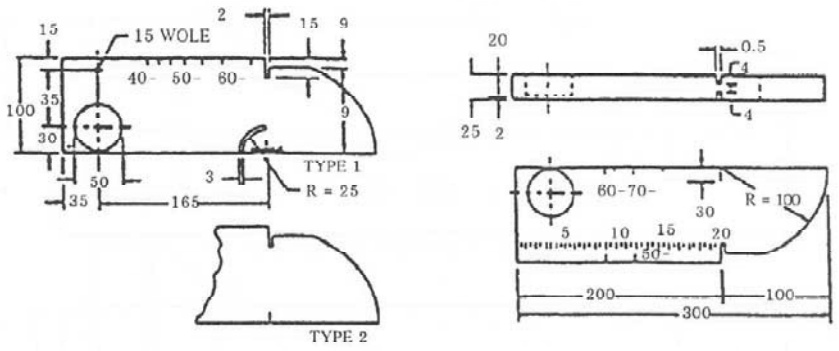
# ภาคผนวก จ-UT-3

# ตัวอย่างของแท่งปรับเทียบแกนเวลา

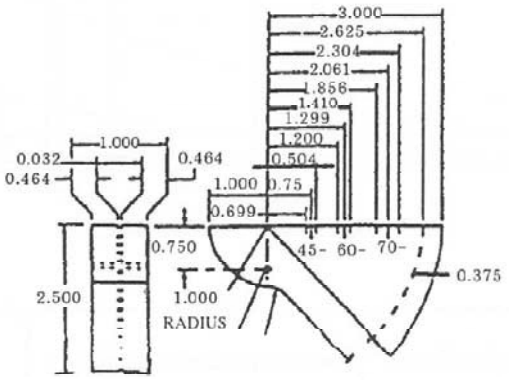
**ภาคผนวก UT-3**

**ตัวอย่างของแท่งปรับเทียบแกนเวลา**

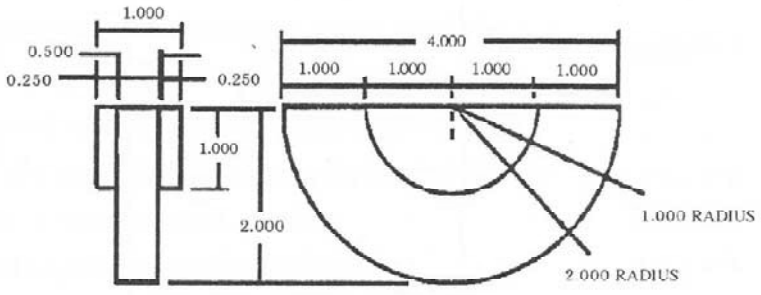
**(TIME BASE CALIBRATION BLOCK)**




แบบที่ 1



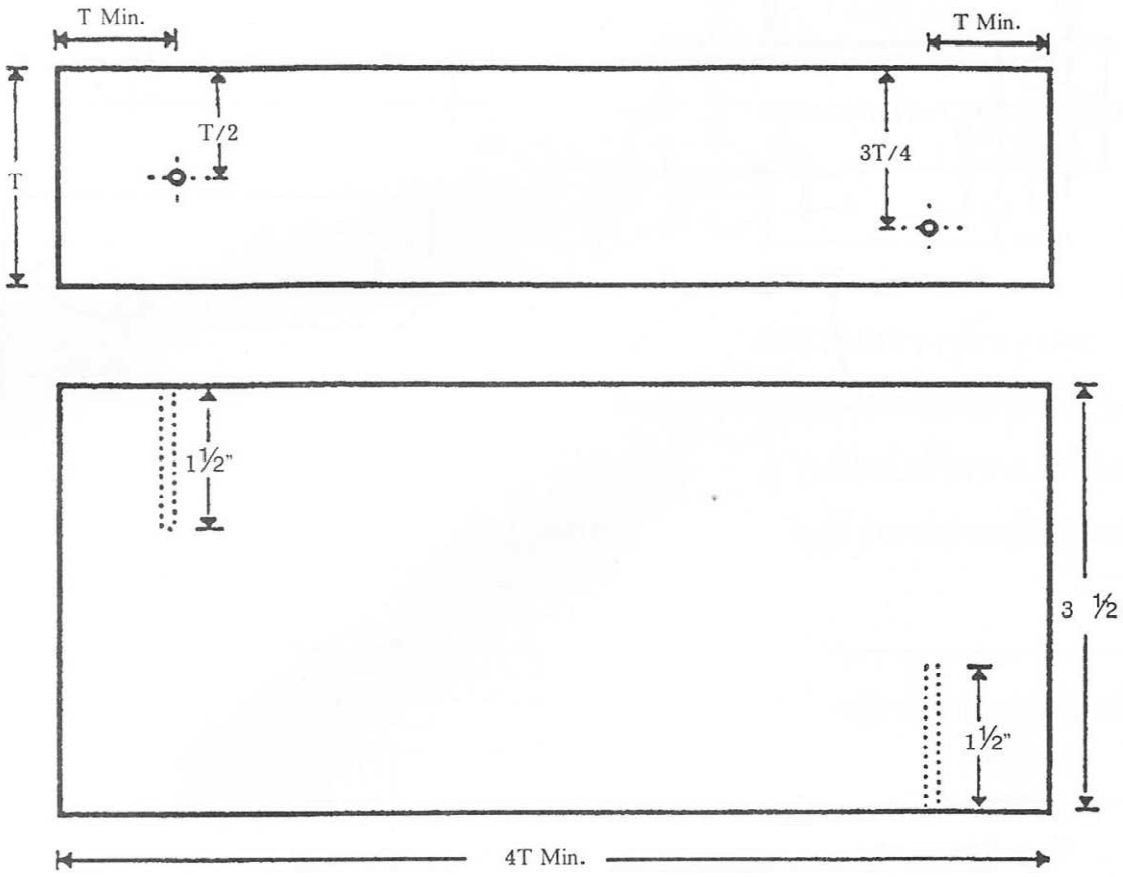

แบบที่ 2




แบบที่ 3

## แท่งปรับเทียบกาลังขยาย

(SENTIVITY CALIBRATION BLOCK)



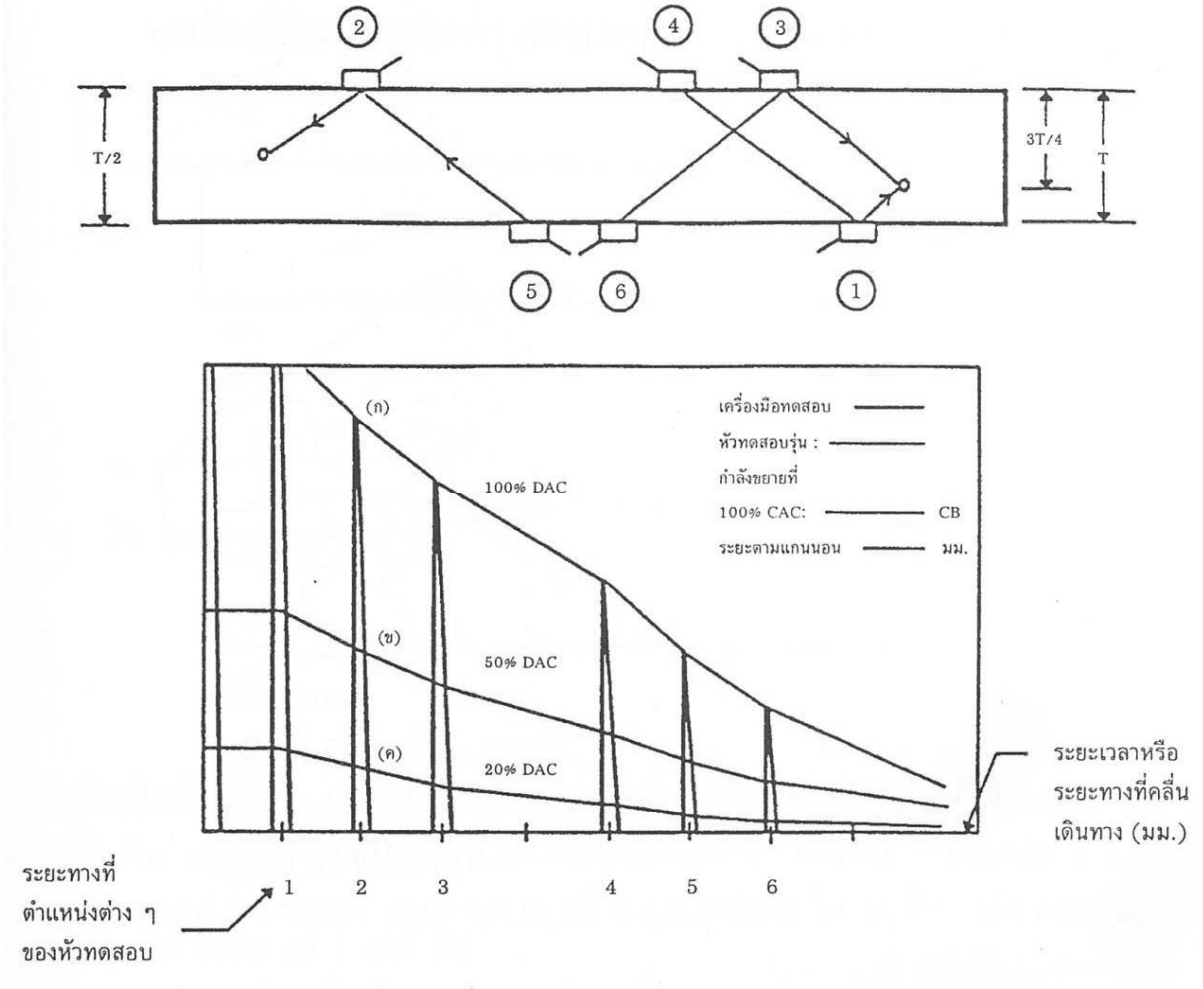

| ความหนาถัง (นิ้ว) | ความหนาของแท่งปรับเทียบ (นิ้ว) | ขนาดความโตของรู (นิ้ว) |
|---|---|---|
| 1 นิ้วหรือน้อยกว่า | ¾ หรือ t | 3/32 |
| 1 < t □ 2 | 1 ½ หรือ t | 1/8 |
| 2 < t □ 4 | 3 หรือ t | 3/16 |
| 4 < t □ 6 | 5 หรือ t | ¼ |
| 6 < t □ 8 | 7 หรือ t | 5/16 |
| 8 < t □ 10 | 9 หรือ t | 3/8 |
| t>10 | t ± 1 | 3/8 + 1/16 |

# ภาคผนวก จ-UT-4

# ตัวอย่างวิธีการสร้าง DAC

**ภาคผนวก UT-4**

**ตัวอย่างวิธีการสร้าง DAC**




**วิธีทำ**

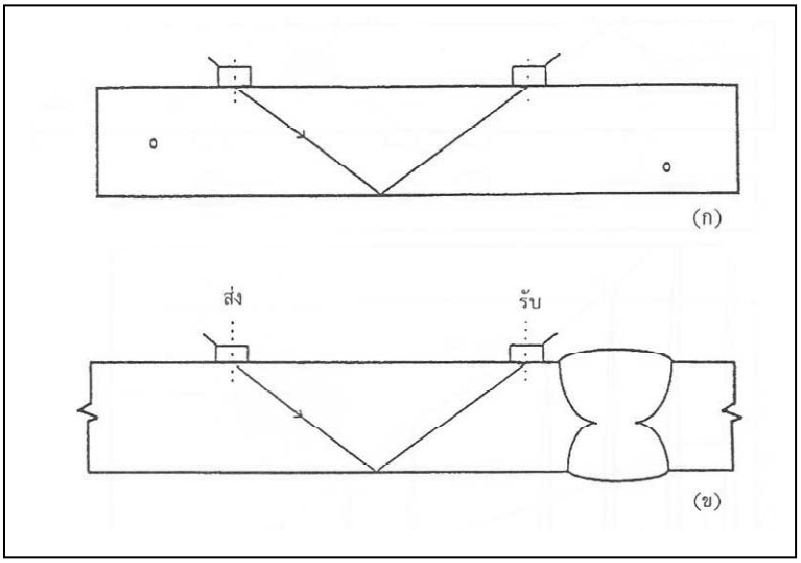
1. วางหัวทดสอบที่ตาแหน่ง 2 ขยับหัวทดสอบจนได้ความสูงของคลื่นสะท้อนสูงสุด ปรับกำลังขยายของเครื่องให้ความสูงของคลื่นสะท้อนสูงประมาณ ร้อยละ 80-95 ของจอภาพ ใช้ปากกาทาเครื่องหมายจุดสูงสุดของคลื่นสะท้อนบนแผ่นพลาสติกใสที่ติดซ้อนไว้บนจอภาพ (จุด ก) บันทึกค่า dB ไว้เป็นค่ากาลังขยายที่ ร้อยละ 100 DAC จากนั้นลดกาลังขยายลง 6 dB ได้จุด (ข) ร้อยละ 50 DAC และลดกาลังขยายลงอีก 8 dB ได้จุด (ค) ร้อยละ 20 DAC
2. ทำซ้ำที่ตำแหน่งหัวทดสอบอื่นๆ ที่ตาแหน่งหัวทดสอบ 1 ความสูงของคลื่นสะท้อนที่ร้อยละ 100 DAC อาจสูงกว่าจอภาพ
3. เชื่อมโยงจุดที่ทำเครื่องหมายเข้าด้วยกัน
4. บันทึกค่าต่างๆตามตัวอย่างที่มุมขวาบนของภาพล่าง

ภาคผนวก จ-UT-5

# ตัวอย่างการหาค่าความแตกต่างของการสูญเสียของการส่งคลื่นอุลตร้าโซนิคบนผิวถังกับแท่งปรับเทียบ

**ภาคผนวก UT-5**

**ตัวอย่างการหาค่าความแตกต่างของการสูญเสีย**
**ของการส่งคลื่นอุลตร้าโซนิคบนผิวถังกับแท่งปรับเทียบ**




**วิธีทำ**

1. ปรับตั้งเครื่องให้อยู่ในโหมดแยกหัวรับ-ส่ง วางหัวทดสอบ 2 หัว ซึ่งเป็นหัวทดสอบรุ่นเดียวกัน (เหมือนกัน) และมีสภาพใกล้เคียงกันลงบนแท่นปรับเทียบกาลังขยาย ขยับหัวทดสอบจนได้สัญญาณแรงที่สุด ปรับตั้งให้คลื่นสะท้อน เกิดขึ้นบนจอภาพสูง ร้อยละ 50 ของจอภาพ บันทึกค่ากำลังขยายเครื่องไว้เป็น dBก
2. โดยไม่ปรับกำลังขยายเครื่อง วางหัวทดสอบชุดเดิมลงบนผิวถังที่จะทำการทดสอบ ขยับหัวทดสอบจนได้สัญญานคลื่นสะท้อนแรงที่สุด ปรับตั้งให้คลื่นสะท้อนแรงที่สุด ปรับตั้งกำลังขยายของเครื่องให้ได้เท่ากับร้อยละ 50 ของจอภาพ อ่านค่ากาลังขยายของเครื่องขณะนี้เป็น dBข
3. ค่าความแตกต่างของการสูญเสียของการส่งผ่านคลื่นอุลตร้าโซนิคบนผิวกับแท่งปรับเทียบมีค่าเท่ากับ dBข - dBก

**หมายเหตุ**

วิธีการข้างต้นใช้ได้กับเครื่องมือทดสอบชนิดเร่งกาลังขยาย (Gain Setting) ถ้าผิวมีการสูญเสียคลื่นอุลตร้าโซนิคมากกว่าแท่งปรับเทียบ ค่า dBข จะมากกว่า dBก ถ้าเป็นเครื่องแบบบั่นทอน (Attenuation Setting) จะได้ค่าเดซิเบลกลับกัน

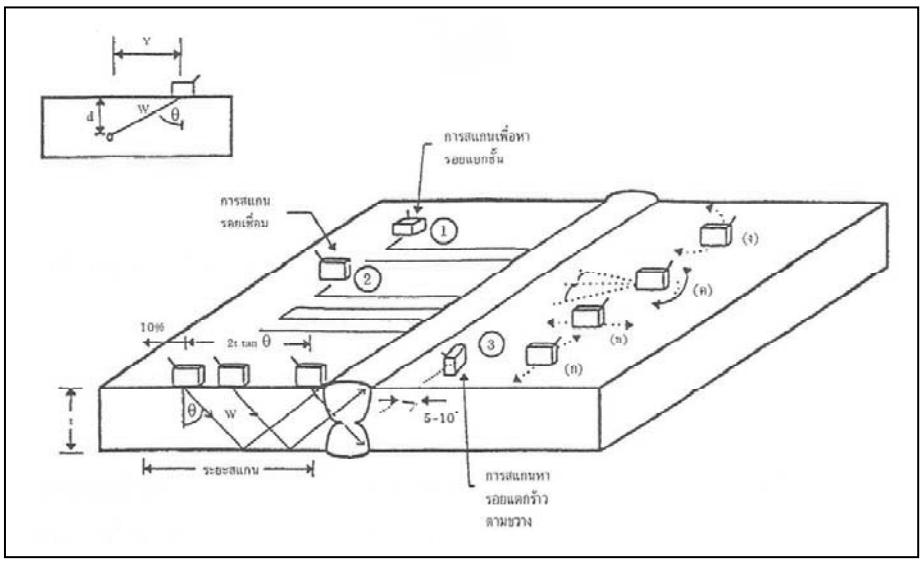
ค่าที่ได้อาจมีความผิดพลาดเนื่องจากการบั่นทอนสัญญาณ (Attenuation) ของแท่งปรับเทียบกับตัวถังไม่เท่ากัน และผลของการขยายลาคลื่น (Beam Spread) ในกรณีที่มีข้อสงสัยเกิดขึ้นถึงความถูกต้องของค่าที่ได้ จะต้องนาสิ่งเหล่านี้มาพิจารณาประกอบด้วย

ภาคผนวก จ-UT-6

# ตัวอย่างการสแกนเพื่อหารอยบกพร่องและวิธีการเคลื่อนที่หัวทดสอบ

**ภาคผนวก UT-6**

**ตัวอย่างการสแกนเพื่อหารอยบกพร่องและวิธีการเคลื่อนที่หัวทดสอบ**




ระยะสแกน = $2t \tan\theta$ + 10%

ระยะทางที่ปรับตั้งบนแกนเวลา = $2t / \cos\theta$ + 10% เป็นอย่างน้อย

ความลึกของรอยบกพร่อง(d) = $w \cos\theta$ หรือ $2t - w \cos\theta$

ระยะห่างตามผิว(y) = $w \sin\theta$

การเคลื่อนที่หัวทดสอบมี 4 แบบ คือ

ก. การเคลื่อนที่ไปข้างๆ (Lateral Scan)

ข. การเคลื่อนที่เข้า – ออกจากรอยเชื่อม (Traverse Scan)

ค. การหมุนอยู่กับที่ (Rotational Scan)

ง. การโคจรไปรอบ (Orbital Scan)

การสแกนมีอยู่ 3 แบบ

1) การสแกนโดยหัวทดสอบแบบตรงเพื่อหารอยแยกชั้นในแผ่นเหล็ก (Lamination) ซึ่งอาจมีผลต่อ การทดสอบเมื่อใช้หัวทดสอบแบบมุม

2) การสแกนเข้า – ออกด้วยหัวทดสอบแบบมุมเพื่อตรวจหารอยบกพร่องทั่วไปที่อยู่ในทิศทางหลัก ขนานกับแกนของรอยเชื่อม

3) การสแกนโดยหันหัวทดสอบทา มุมกับแกนของรอยเชื่อม ร้อยละ 5-10 เพื่อหารอยบกพร่องที่อยู่ ในทิศทางหลักตั้งฉากกับแกนของรอยเชื่อม เช่นรอยแตก ร้าวตามขวาง (Transverse Crack) เป็นต้น

ชื่อหนังสือ : คู่มือการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตหม้อน้ำ
เจ้าของลิขสิทธิ์ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระราม 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
กรมโรงงานอุตสาหกรรมขอสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำส่วนหนึ่งส่วนใด หรือตอนหนึ่งตอนใดของเนื้อเรื่อง และอื่น ๆ ที่ประกอบในคู่มือนี้ไป คัดลอก โดยวิธีพิมพ์ดีด เรียงตัว คัดสำเนา ถ่ายเอกสาร พิมพ์โดย เครื่องจักรหรือวิธีการอื่นใด เพื่อนำไปแจก จำหน่าย เว้นแต่ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นลายลักษณ์อักษร
พิมพ์เมื่อ : ตุลาคม 2553 จำนวน 400 เล่ม
คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน : สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

| | | |
|---|---|---|
| นายวิโรจน์ | เชาว์จิรพันธุ์ | ประธานกรรมการ |
| นายบวร | สัตยาวุฒิพงศ์ | กรรมการ |
| นายสมพงษ์ | เอกเอื้อมณี | กรรมการ |
| นายมานพ | แก้วฉาย | กรรมการ |
| นายปณตสรรค์ | สูจยานนท์ | กรรมการและเลขานุการ |
| ที่ปรึกษา : นายธีระ | หงส์รพิพัฒน์ | ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านมาตรฐานความปลอดภัยโรงงาน |

ที่ปรึกษาโครงการ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

จัดทำโดย
สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระราม6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 02-202-4000,02-202-4222
www.diw.go.th