

### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัย

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์ถึงความดันที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมต่ำเป็นส่วนมาก การศึกษาทดลองนี้จึงได้เลือกวัสดุที่เป็นที่นิยมใช้ในการสร้างอุปกรณ์ถึงความดันดังกล่าวมากที่สุดในปัจจุบัน คือ วัสดุ ASTM A516 Gr 70 หรือ ASME SA 516 Gr 70 โดยจะทำการเชื่อมวัสดุนี้ด้วยกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุดในการเชื่อมซ่อมผนังถึงความดันคือ กระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้าแบบปกคลุม (Shield Metal Arc Welding) หรือ SMAW ด้วยวัสดุลวดเชื่อมที่มีคุณสมบัติทางเคมีและทางกลที่เหมาะสมกับวัสดุดังกล่าวคือ ลวดเชื่อม E-7016 ที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงต่ำที่สุดไม่น้อยกว่า 70,000 Psi และมีคุณสมบัติทางเคมีที่ใกล้เคียงวัสดุก่อสร้างถึงความดันมากที่สุด

#### 3.1 การทดลอง

การทดลองจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนการเชื่อมสร้างชิ้นงานทดสอบ และส่วนการนำชิ้นงานทดสอบนั้นไปทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ

ในกระบวนการทดลองจะทำการเชื่อมชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีที่แตกต่าง 3 แบบคือ

- 1 การเชื่อมแบบเต็มแนวหรือ Full Bead Technique (FB)
- 2 การเชื่อมแบบเต็มแนวแล้วทำการอบลดความเค้นภายหลังการเชื่อมหรือ Full Bead with Post Weld Heat Treatment Technique (FBHT)
- 3 การเชื่อมแบบเทมเปอร์ปิดแบบครึ่งแนวหรือ Temper Half Bead Technique (TB)

ส่วนการทดสอบนั้นเมื่อทำการเชื่อมชิ้นงานทั้ง 3 เทคนิคแล้วจะทำการวัดหาค่าความเค้นหลงเหลือ ที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 เทคนิคด้วยการใช้ Strain gauge แบบ multi-directional หรือ Rosette Strain gauge เพื่อทำการวัดค่าความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นใน 3 ทิศทาง คือ a. ขวางแนวเชื่อม b. ทำมุม 45 องศากับแนวเชื่อม และ c. ขนานแนวเชื่อมในบริเวณ 3 ตำแหน่ง คือ แนวเชื่อม (Weld metal)

บริเวณที่ได้รับผลจากความร้อนในการเชื่อม (Heat Affected Zone)

### บริเวณวัสดุเดิม (Base Metal)

ของทั้ง 3 เทคนิค หลังจากที่ได้ทำการวัดค่า Strain ที่เกิดขึ้นแล้วจะนำไปคู่ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่นของวัสดุนั้น (Young's Modulus of Elasticity) ออกมาเป็นค่าความเค้นหลงเหลือในชิ้นงานภายหลังการวัดค่าความเค้นหลงเหลือแล้วจะนำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วย 3 เทคนิคไปทำการทดสอบเชิงกลคือ Tensile test, Impact test, Hardness test และ Macro/Micro structure test เพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลของทั้ง 3 เทคนิคเพื่อทำการศึกษเปรียบเทียบว่าแต่ละเทคนิคก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงกลอื่นอีกอย่างไร

### 3.2 การกำหนดตัวแปรในการทดลอง

จากทฤษฎีในการเชื่อมต่าง ๆ อันเป็นที่ยอมรับโดยสากลได้มีการบ่งชี้ตัวแปรหลักที่ส่งผลถึงคุณสมบัติทางกลของงานเชื่อมในวัสดุคือ ปริมาณความร้อนที่ชิ้นงานเชื่อมได้รับ ค่าของความร้อนคำนวณได้ตามข้อกำหนดของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของอเมริกา (American Society of Mechanical Engineers) code for Boiler and Pressure vessels section 9 ได้กำหนดไว้ใน part ที่ 4 paragraph ที่ QW-409.1(a) ของตามข้อกำหนดของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของอเมริกา (American Society of Mechanical Engineers) code for Boiler and Pressure vessels section 9

$$\text{Heat Input} = \text{Volt} \times \text{Ampares} \times 60 / \text{Speed of travel [X]}$$

โดย Heat Input มีหน่วยเป็นจูลต่อมิลลิเมตร (Joules/mm)

Volt มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volts)

Ampares มีหน่วยเป็นแอมป์ (Amps)

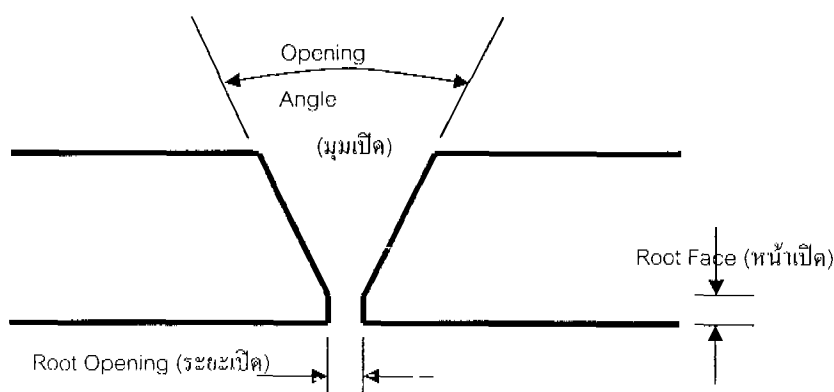
Speed of travel มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อนาที (mm/minute)

ตัวแปรในกระบวนการเชื่อมแบบ SMAW นั้นตามข้อกำหนดเดียวกันดังนี้

รอยเชื่อมต่อ (Joints) ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้รอยเชื่อมต่อชนิดต่อชน บากร่องตัว V ไม่มีแผ่นรองรับโลหะเชื่อมหลอมเหลวที่ด้านหลังรอยต่อ และทำการเชื่อมจากด้านเดียว (Single welded V-groove butt-joint without backing) ตามภาพประกอบที่ 3.1 สำหรับการเชื่อมทั้ง 3 แบบในการทดลองเพราะรอยต่อชนิดนี้จะทำให้เกิดความเค้นตกค้างที่ไม่สมดุลตาม

ความหนาในแนวเชื่อมและวัสดุเดิมในบริเวณใกล้เคียงอันจะส่งผลให้ทำการศึกษเปรียบเทียบความแตกต่างของความเค้นตกค้างในแนวเชื่อมระหว่างแนวชั้นเริ่มต้น (rootpass) และแนวชั้นสุดท้าย (coverpass) ได้

ภาพที่ 3.1 รอยเชื่อมต่อชนิดต่อชน ร่องบากรูปตัว V ไม่มีแผ่นรองรับน้ำโลหะเชื่อมที่ด้านหลังของรอยต่อ



วัสดุที่จะทำการเชื่อมต่อ (Base materials) โดยในการทดลองนี้ได้เลือกใช้วัสดุ ASTM A 516 Gr 70 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่อยู่ในกลุ่ม P-number 1 ที่มีความหนา 12 มิลลิเมตรซึ่งมีคุณสมบัติทางกลดังนี้ ค่าความต้านทานแรงดึง ณ จุดยืดหยุ่นไม่ต่ำกว่า 260 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ความต้านทานแรงสูงสุดระหว่าง 485 ถึง 620 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ค่าส่วนผสมทางเคมีดังนี้ คาร์บอน (C) ไม่เกิน 0.27% ซิลิกอน (Si) ระหว่าง 0.13 ถึง 0.45% แมงกานีส (Mn) ระหว่าง 0.79 ถึง 1.30% ฟอสฟอรัส (P) ไม่เกิน 0.035% และ ซัลเฟอร์ (S) ไม่เกิน 0.035%

วัสดุเชื่อม (Filler metals) ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้วัสดุเชื่อม AWS classification E7016 ขนาด 3.2 มิลลิเมตรซึ่งเป็นลวดเชื่อมไฟฟ้าที่มี ASME specification SFA-5.1 และมี F-number 1 สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (ASME SA 516 Gr 70) สำหรับการเชื่อมทั้ง 3 เทคนิคในการทดลอง

ท่าเชื่อม (Position) ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้การเชื่อมในท่าราบสำหรับทั้ง 3 เทคนิคในการทดลองเพราะเป็นท่าเชื่อมที่ช่างเชื่อมสามารถควบคุมทิศทางของบ่อหลอม (weld pool) ในระหว่างการเชื่อมได้มากที่สุด

การให้ความร้อนต่อชิ้นงานก่อนการเชื่อม (Preheat) ในการทดลองนี้ได้เลือกกำหนดอุณหภูมิก่อนทำการเชื่อมต่ำสุดที่ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิระหว่างทำการเชื่อมแต่ ละแนวสูงสุดที่ 250 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นการเชื่อมในขณะอุณหภูมิบรรยากาศปกติในเขต อากาศร้อนที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 35 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ดังกล่าวจะไม่ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่เร็วหรือช้าเกินไปอันอาจทำให้สูญเสียคุณสมบัติของงานวัสดุและ เชื่อมนั้นๆไปได้

การให้ความร้อนภายหลังการเชื่อม (Post Weld Heat Treatment) ในการทดลอง นี้ได้กำหนดให้ทำการอบลดความเค้น (stress relieve) ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 594 ถึง 649 องศา เซลเซียส<sup>4,5</sup> ในหนึ่งชิ้นงานที่ทำการเชื่อมด้วยเทคนิคปกติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่าง ของคุณสมบัติต่างๆที่จะได้จากการทดลองทดสอบ ในขณะที่อีก 2 ชิ้นงานจะไม่มีทำการอบลด ความเค้นใดๆ

ลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical characteristics) ในการทดลองนี้ได้เลือกกำหนด ลักษณะทางไฟฟ้าสำหรับการเชื่อมทั้ง 3 เทคนิคตามคู่มือการแนะนำของผู้ผลิตลวดเชื่อม [Kobe Steel Co., Ltd. WELDING HANDBOOK 1993] คือ ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับระหว่าง 80 ถึง 130 แอมแปร์ ที่ความดัน 20 ถึง 30 โวลต์โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.2.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าลักษณะทางไฟฟ้าที่กำหนดในการเชื่อม

แนวชั้น ที่	กระบวนการ การ เชื่อม	วัสดุเชื่อม		กระแสไฟฟ้า		ช่วง ความดัน ไฟฟ้า	ความเร็ว การเดิน แนวเชื่อม
		class	dia. (มม)	ขั้วไฟฟ้า	ช่วง (แอมป์)		
1	SMAW	E 7016	3.2	กระแส สลับ	80-130	20-30 โวลต์	5-10 ซม/ นาที
2	SMAW	E 7016	3.2	กระแส สลับ	80-130	20-30 โวลต์	5-10 ซม/ นาที
3 ถึง สุดท้าย	SMAW	E 7016	3.2	กระแส สลับ	80-130	20-30 โวลต์	5-10 ซม/ นาที

ตัวแปรต่างๆที่ได้ถูกกำหนดขึ้นจะถูกเขียนลงในเอกสารกำหนดกระบวนการเชื่อม หรือ Welding Procedure Specification (WPS) เพื่อนำไปใช้ในระหว่างทำการเชื่อมทดลอง โดยใน

การทดลองนี้ได้มีการเขียนเอกสารกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) สำหรับแต่ละเทคนิค จำนวน 3 ฉบับดังนี้

W-Th-C-NP-01 สำหรับการเชื่อมด้วยเทคนิคฟูลบีดหรือแบบเต็มแนว (Full Bead Technique) ตามเอกสารในภาคผนวกที่ ก-1

W-Th-C-PW-02 สำหรับการเชื่อมด้วยด้วยเทคนิคฟูลบีดแล้วทำการอบลดความเค้นภายหลังการเชื่อม (Full Bead with Post Weld Heat Treatment Technique) ตามเอกสารในภาคผนวกที่ ก-2

W-Th-TB-NP-03 สำหรับการเชื่อมด้วยเทคนิคเทมเบอร์ฮาล์ฟบีดแบบครึ่งแนว (Temper Half Bead Technique) ตามเอกสารในภาคผนวกที่ ก-3

### 3.3 การดำเนินการทดลอง

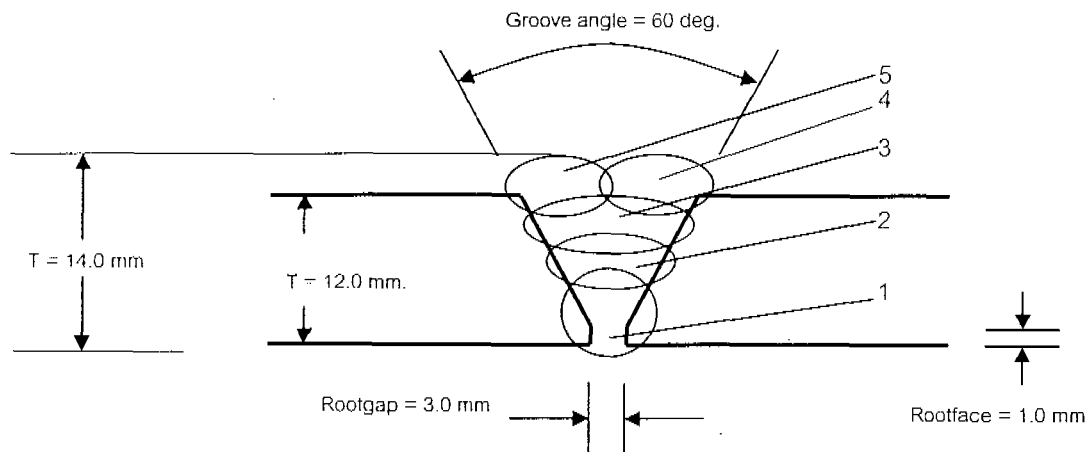
#### 3.3.1 การทดลองการเชื่อม

เมื่อได้ข้อกำหนดในการเชื่อมต่างๆตามเอกสารข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) ทั้ง 3 แบบก็ได้ทำการเชื่อมชิ้นงานทดลอง ณ โรงงานกึ่งแก้ว ของบริษัท พัฒนกล จำกัด มหาชน โดยนายดาวเรือง ชัยคำจันทร์ เป็นผู้ทำการเชื่อมทั้ง 3 ชิ้นงานโดยได้ทำการเลือกใช้วัสดุ ASTM A516 grade 70 หนา 12 มิลลิเมตร ที่มีคุณสมบัติดังนี้ ค่าความต้านทานแรงดึง ณ จุดยืดหยุ่น 358.5 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ความต้านทานแรงสูงสุด 530.9 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร เลขหมาย Heat Number 3732951 KB7801 ของ KOBE STEEL, LTD. ที่มีเอกสารรับรองการตรวจสอบคุณภาพตามเอกสารในภาคผนวก ค ที่มีขนาดความยาว 18 นิ้ว ความกว้างเมื่อเชื่อมแล้ว 12 นิ้ว ของแต่ละชิ้นงาน

ในระหว่างการเชื่อมทดลองได้ทำการกำหนดชื่อชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นดังนี้

NP-01 สำหรับการเชื่อมด้วยเทคนิคฟูลบีดหรือแบบเต็มแนว (Full Bead Technique) ตามเอกสารข้อกำหนดในการเชื่อม (WPS) W-Th-C-NP-01 โดยทำการบันทึกค่าตัวแปรในการเชื่อมต่างๆลงในเอกสาร Procedure Qualification Record (PQR) P-Th-C-NP-01 ตามเอกสารในภาคผนวก ข-1 โดยมีลักษณะภาคตัดขวางของรอยต่อตามภาพประกอบที่ 3.2 และมีรายละเอียดของลักษณะทางไฟฟ้าตามตารางที่ 3.2 ดังนี้

ภาพที่ 3.2 ภาพตัดขวางของการบันทึกการเชื่อมที่ P-Th-C-NP-01

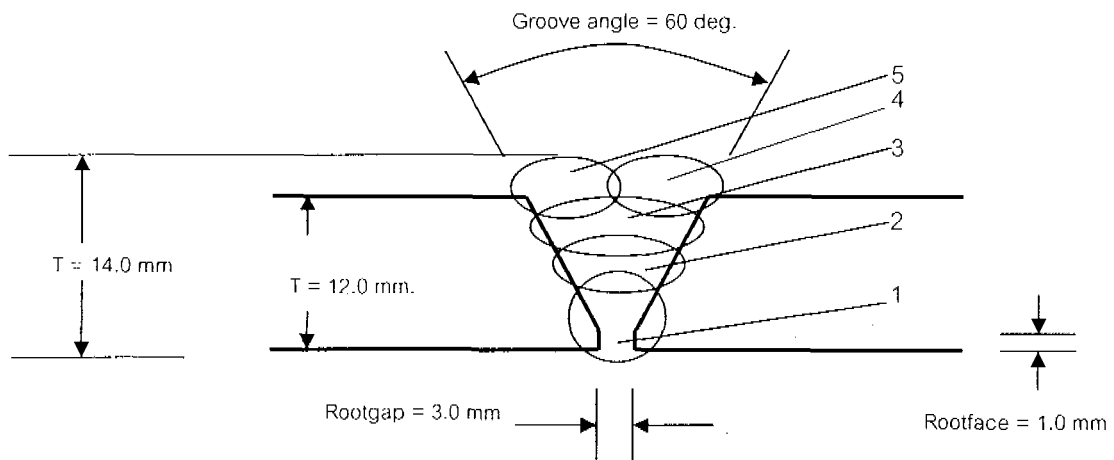


ตารางที่ 3.2 ค่าลักษณะทางไฟฟ้าที่บันทึกการเชื่อมที่ P-Th-C-NP-01

แนว ชั้นที่	กระ บวน การ เชื่อม	วัสดุเชื่อม		กระแสไฟฟ้า		ความ ดัน ไฟฟ้า (โวลต์)	ความ เร็ว การเดินแนว เชื่อม (ซม/นาที)	ความ ลึกแนว เชื่อม (มม)
		class	dia. (มม)	หัวไฟฟ้า	ค่า (แอมป์)			
1	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	90	20	6.75	6.0
2	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	115	22	6.85	8.0
3	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	118	25	8.0	10.5
4	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	100	23	15.5	14.0
5	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	100	23	12.5	14.0

PW-02 สำหรับการเชื่อมด้วยด้วยเทคนิคฟูลบีดแล้วทำการอบลดความเค้นภายหลังการเชื่อม (Full Bead with Post Weld Heat Treatment Technique) ตามเอกสารข้อกำหนดในการเชื่อม (WPS) W-Th-C-PW-02 โดยทำการบันทึกค่าตัวแปรในการเชื่อมต่างๆลงในเอกสาร Procedure Qualification Record (PQR) P-Th-C-PW-02 ตามเอกสารในภาคผนวก ข-2 โดยมีลักษณะภาคตัดขวางของรอยต่อตามภาพประกอบที่ 3.3 และมีรายละเอียดของลักษณะทางไฟฟ้าตามตารางที่ 3.3 ดังนี้

ภาพที่ 3.3 ภาพตัดขวางของการบันทึกการเชื่อมที่ P-Th-C-PW-02

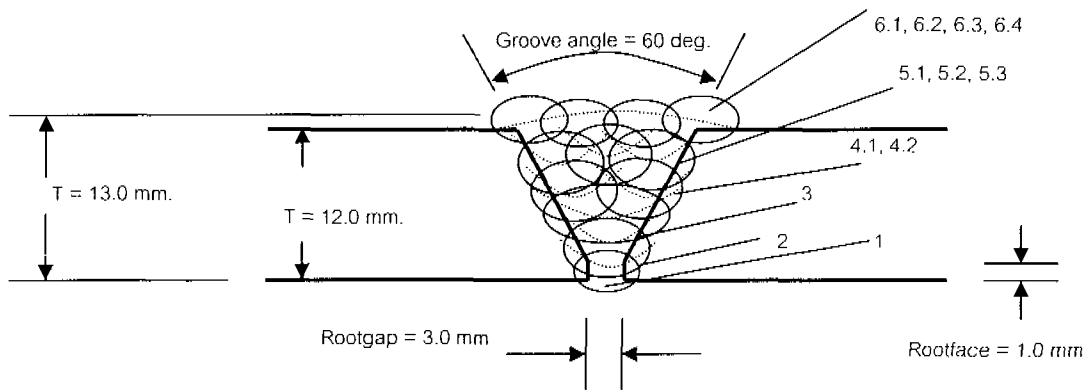


ตารางที่ 3.3 ค่าลักษณะทางไฟฟ้าที่บันทึกการเชื่อมที่ P-Th-C-PW-02

แนว ชั้นที่	กระ บวน การ เชื่อม	วัสดุเชื่อม		กระแสไฟฟ้า		ความ ดัน ไฟฟ้า (โวลต์)	ความ เร็ว การเดินแนว เชื่อม (ซม/นาที)	ความ ลึกแนว เชื่อม (มม)
		class	dia. (มม)	ขั้วไฟฟ้า	ค่า (แอมป์)			
1	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	85	20	6.8	6.0
2	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	120	22	7.3	8.0
3	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	122	23	11.4	10.0
4	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	110	23	14.6	14.0
5	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	105	22	12.9	14.0

TB-03 สำหรับการเชื่อมด้วยเทคนิคเทมเบอริบิคแบบครึ่งแนว (Temper Half Bead Technique) ตามเอกสารข้อกำหนดในการเชื่อม (WPS) W-Th-TB-NP-03 โดยทำการบันทึกค่าตัวแปรในการเชื่อมต่างๆลงในเอกสาร Procedure Qualification Record (PQR) P-Th-TB-NP-03 ตามเอกสารในภาคผนวก ข-3 โดยมีลักษณะภาคตัดขวางของรอยต่อตามภาพประกอบที่ 3.4 และมีรายละเอียดของลักษณะทางไฟฟ้าตามตารางที่ 3.4 ดังนี้

ภาพที่ 3.4 ภาพตัดขวางของการบันทึกการเชื่อมที่ P-Th-TB-NP-03



ตารางที่ 3.4 ค่าลักษณะทางไฟฟ้าที่บันทึกการเชื่อมที่ P-Th-TB-NP-03

แนว ชั้นที่	กระ บวน การ เชื่อม	วัสดุเชื่อม		กระแสไฟฟ้า		ความ ดัน ไฟฟ้า (โวลต์)	ความเร็ว การเดินแนว เชื่อม (ซม/นาที)	ความ ลึกแนว เชื่อม (มม)
		class	dia. (มม)	ขั้วไฟฟ้า	ค่า (แอมป์)			
1	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	82	20	7.5	2.5
2	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	105	22	10.2	4.0
3	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	115	22	9.0	6.0
4.1	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	115	22	13.0	9.0
4.2	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	115	22	14.4	9.0
5.1	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	115	22	18.0	12.0
5.2	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	115	22	16.8	12.0
5.3	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	120	22	16.4	12.0
6.1	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	110	22	14.0	13.0
6.2	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	110	22	15.0	13.0
6.3	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	110	22	15.0	13.0
6.4	SMAW	E 7016	3.2	กระแสสลับ	110	22	15.0	13.0

จากตารางบันทึกลักษณะทางไฟฟ้าของทั้ง 3 ชั้นงานนี้ สามารถทำการคำนวณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม (Heat Input) จากสูตรการคำนวณดังที่ระบุไว้



ข้างต้นได้ผลการคำนวณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม (Heat Input) แต่ละชิ้นงานเป็นดังตารางที่ 3.5 3.6 และ 3.7 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมชิ้นงาน NP-01

แนว ชั้นที่	ความดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	ความเร็วการเดินแนว เชื่อม (มม/นาที)	ค่าความร้อน (จูล/มิลลิเมตร)
1	20	90	67.5	1600
2	22	115	68.5	2216
3	25	118	80.0	2213
4	23	100	155.0	890
5	23	100	125.0	1104
รวมสะสม				8023

ตารางที่ 3.6 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมชิ้นงาน PW-02

แนว ชั้นที่	ความดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	ความเร็วการเดินแนว เชื่อม (มม/นาที)	ค่าความร้อน (จูล/มิลลิเมตร)
1	20	85	6.8	1500
2	22	120	7.3	2170
3	23	122	11.4	1477
4	23	110	14.6	1040
5	22	105	12.9	1074
รวมสะสม				7261

เมื่อทำการเชื่อมได้แล้วจึงได้ทำการทดสอบด้วยรังสีแกมมาเพื่อหาความบกพร่องในชิ้นงานเชื่อมทั้ง 3 ชิ้นงานอันอาจเป็นอุปสรรคต่อการทดสอบในขั้นกระบวนการต่อไป จากการทดสอบด้วยรังสีไม่พบความบกพร่องใด ๆ ในชิ้นงานทั้ง 3 ชนิดตามเอกสารรายงานการทดสอบด้วยรังสีในภาคผนวก ง หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงาน PW-02 ไปทำการอบลดความเค้นที่ช่วงอุณหภูมิ 620 +/- 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในเตาอบความร้อนชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงโดยทำการติด Thermo Couple เพื่อการวัดและบันทึกอุณหภูมิที่ชิ้นงานในระหว่างการอบ 1 ตำแหน่ง

ตารางที่ 3.7 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมชิ้นงาน TB-03

แนว ชั้นที่	ความดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	ความเร็วการเดินแนว เชื่อม (มม/นาที)	ค่าความร้อน (จูล/มิลลิเมตร)
1	20	82	7.5	1312
2	22	105	10.2	1359
3	22	115	9.0	1687
4.1	22	115	13.0	1168
4.2	22	115	14.4	1054
5.1	22	115	18.0	843
5.2	22	115	16.8	904
5.3	22	120	16.4	966
6.1	22	110	14.0	1037
6.2	22	110	15.0	968
6.3	22	110	15.0	968
6.4	22	110	15.0	968
รวมสะสม				13233

กราฟบันทึกอุณหภูมิระหว่างการอบตามเอกสารในภาคผนวก ๔

### 3.3.2 การวัดความเครียดในชิ้นงานเชื่อม

การทดสอบจะเริ่มต้นด้วยการนำชิ้นงานเชื่อมทั้ง 3 ชิ้นงานมาทำการวัดหาความเครียดตกค้างด้วยการติดตั้ง Strain gauge แบบ multi-directional หรือ Rosette Strain gauge ลงบนผิวหน้าบริเวณตำแหน่งที่จะทำการวัดค่าความเครียดแล้วทำการเจาะชิ้นงานด้วยหัวเจาะ milling ขนาด 1.5 มิลลิเมตรลงไปใ้รูตรงกลาง Strain gauge ที่ความลึกครึ่งละ 0.25 มิลลิเมตรโดยทำการวัดค่าความเครียดที่หายไปในแต่ละค่าความลึกจนได้ความลึกที่ 2 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจึงทำการเจาะทะลุตลอดความหนาชิ้นงานด้วยดอกสว่าน high speed steel ขนาดเดียวกันแล้วทำการวัดค่าความเครียดสุดท้ายในตำแหน่งนั้น

การวัดค่าความเครียดในแต่ละชิ้นงานได้ทำการวัดใน 3 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งวัสดุเชื่อมที่กึ่งกลางแนวเชื่อม (Weld Metal) ตำแหน่งบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (Heat Affected Zone) และตำแหน่งบริเวณที่เป็นวัสดุเดิม (Base Metal)

### 3.3.3 การทดสอบชิ้นงานเชื่อมด้วยวิธีการเชิงกล

เมื่อทำการวัดค่าความเครียดได้แล้วจึงนำชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้นมาทำการตัดทำชิ้นทดสอบ (test specimens) เพื่อทำการทดสอบทางกลต่าง ๆ เพื่อหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของทั้ง 3 ชิ้นงาน การทดสอบเป็นดังนี้

การทดสอบหาค่าแรงดึง (Tensile test) จำนวน 2 ชิ้นทดสอบต่อชิ้นงานเชื่อมด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 50 ตัน โดยทำการบันทึกค่าความต้านทานแรงดึงตลอดการทดสอบลงบนแผ่นกราฟเพื่อทำการหาค่าความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก (yield point) และ ณ จุดสูงสุด (ultimate point) ทั้งนี้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นจริงของชิ้นงานเชื่อมได้จากความชันของเส้นกราฟบันทึกการทดลองในช่วงของการยืดก่อนถึงจุดคราก

การทดสอบหาค่าแรงกระแทก (Impact test) จำนวน 9 ชิ้นทดสอบ (3 ตำแหน่งตำแหน่งละ 3 ชิ้น) ต่อชิ้นงานเชื่อมด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทกที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าต่ำที่สุดที่วัสดุ ASTM A 516 Gr 70 ที่มีความหนา 12 มิลลิเมตรถูกอนุญาตให้ใช้งานได้โดยไม่ต้องทำการทดสอบค่าแรงกระแทกเมื่อทำการอบลดความเค้นแล้ว<sup>5</sup> ทำการบันทึกค่าทุกค่าแรงกระแทกเพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง

การทดสอบหาค่าความแข็ง (Hardness test) จำนวน 30 จุด (12 จุดบนตำแหน่งวัสดุเชื่อม (Weld Metal) 12 จุดบนตำแหน่งบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (Heat Affected Zone) และ 6 จุดบนตำแหน่งบริเวณที่เป็นวัสดุเดิม (Base Metal)) บน 1 ชิ้นทดสอบต่อชิ้นงานเชื่อมด้วยเครื่องทดสอบค่าความแข็งด้วยการกดผิวหน้า ทำการบันทึกค่าทุกค่าความแข็งที่ทำการทดสอบ

การทดสอบโครงสร้างมหภาค Macro structure ในแนวตัดขวางแนวเชื่อมด้วยการทำการขัดหยาบแล้วกัดกรดจำนวน 1 ชิ้นทดสอบต่อชิ้นงานเชื่อมเพื่อดูถึงลักษณะการเกิดผลึกของโลหะระหว่างการแข็งตัวจากการเชื่อม ทำการบันทึกด้วยการถ่ายภาพ

การทดสอบโครงสร้างจุลภาค Micro structure โดยนำชิ้นงานที่ทำการทดสอบโครงสร้างมหภาคแล้วมาทำการขัดละเอียดแล้วทำการกัดกรดจำนวน 1 ชิ้นทดสอบต่อชิ้นงาน

เชื่อมเพื่อดูถึงลักษณะการเกิดผลึกของโลหะอันเกิดจากการเชื่อมในบริเวณต่าง ๆ ของชิ้นทดสอบ  
ทำการบันทึกด้วยการถ่ายภาพขยาย 100 เท่า