

การจัดการมาตรฐานกระบวนการงานเชื่อมของรั้วเหล็กกลมและการวัด
ระดับความสามารถของพนักงานเชื่อมจากกรณีศึกษาโรงงาน A
STEEL PIPE FENCE WELDING PROCESS MANAGING AND
WELDER EFFICACY EVALUATION FROM "A" PLANT STUDY



นางสาวเพ็ญขวัญ แจ่มใส

MS.PIANGKWAN JAMSAI

นางสาวมณฑนา ปัญญาพร

MS.MANTANA PUNYAPORN

นางสาวรดา โมเสส

MS.RADA MOSES

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEEL PIPE FENCE WELDING PROCESS MANAGING AND WELDER EFFICACY EVALUATION FROM "A" PLANT STUDY



MS.PIANGKWAN JAMSAI
MS.MANTANA PUNYAPORN
MS.RADA MOSES

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การจัดการมาตรฐานกระบวนการงานเชื่อมของรั้วเหล็กกลมและการวัดระดับ
ความสามารถของพนักงานเชื่อมจากกรณีศึกษาโรงงาน A
STEEL PIPE FENCE WELDING PROCESS MANAGING AND WELDER
EFFICACY EVALUATION FROM "A" PLANT STUDY

นักศึกษา

นางสาวเพ็ญขวัญ	แจ่มใส	รหัสประจำตัว	61010773
นางสาวมณฑนา	ปัญญาพร	รหัสประจำตัว	61010864
นางสาวรดา	โมเสส	รหัสประจำตัว	61010884

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(ผศ.ดร.เพ็ญศักดิ์ สิริสุข)

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การจัดการมาตรฐานกระบวนการงานเชื่อมของรั้วเหล็กกลมและการวัดระดับ
ความสามารถของพนักงานเชื่อมจากกรณีศึกษาโรงงาน A

นักศึกษา นางสาวเพ็ญขวัญ แจ่มใส
นางสาวมณฑนา ปัญญาพร
นางสาวรดา โมเสส

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.เผ่าศักดิ์ สิริสุข

บทคัดย่อ

ในโรงงานผลิตเครื่องจักรกรณีศึกษาที่แผนกขึ้นรูปโครงสร้าง ในปัจจุบันพบปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ข้อร้องเรียนจากลูกค้าในเรื่องของรอยเชื่อมไม่สวยงามของรั้วเหล็กกลมที่ขาดมาตรฐาน ซึ่งอยู่ที่ 29.41% และขาดการอบรมพนักงานในส่วนของการเชื่อม ทำให้ของเสียหลุดไปสู่กระบวนการถัดไปถึงลูกค้า ซึ่งส่งผลทำให้ความน่าเชื่อถือของบริษัทลดลง ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการจัดการมาตรฐานกระบวนการงานเชื่อมของรั้วเหล็กกลมและการวัดระดับความสามารถของพนักงานเชื่อมในแผนกขึ้นรูปโครงสร้าง โดยการแก้ปัญหาจะใช้ทฤษฎี DMAIC และเทคนิคอีซีอาร์เอส (ECRS Technique) มาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว และได้จัดทำทดสอบพนักงานภาคทฤษฎีและปฏิบัติเพื่อวัดระดับความสามารถของพนักงานก่อนและหลังปรับปรุง พบว่าหลังจากที่ได้นำหลักทฤษฎีและเทคนิคต่างๆมาปรับปรุงร่วมด้วยกับการทดสอบเพื่อวัดระดับความสามารถของพนักงาน ผลปรากฏว่าพนักงานมีทักษะและผลการประเมินชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีค่า 44.45% และจำนวนข้อร้องเรียนของลูกค้าลดลงถึง 80%

Thesis Title	Steel Pipe Fence Welding Process Managing and Welder Efficacy Evaluation from "A" Plant Study
Student	Ms.Piangkwan Jamsai Ms.Mantana Punyaporn Ms.Rada Moses
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Assistant Prof. Dr. Phaophak Sirisuk

ABSTRACT

In the machine factory, a case study at the structural forming department at present, the problem that arises is Complaints from customers about the unsightly welds of the round steel fence that lack the standard which is at 29.41% and the lack of training for the staff in welding work. Causing the waste to pass into the next process to the customer. This results in a decrease in the credibility of the company. This thesis therefore manages the welding process standards of the round steel fence and the measurement of the skill level of the welding staff in the structural forming department. By solving the problem, DMAIC theory and ECRS Technique are used to solve such problems. And has conducted a theoretical and practical test for employees to measure the skill level of employees before and after improvement. It was found that after applying various theories and techniques to improve together with testing to measure the skill level of employees. The results showed that the staff's skills and the results of the evaluation of the work were increased, the results show that skilled officials and evaluation results increased by 44.45% and customer complaints up to 80%

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการจัดการมาตรฐานกระบวนการงานเชื่อมของรั้วเหล็กกลมและการวัดระดับความสามารถของพนักงานเชื่อมจากกรณีศึกษาโรงงาน A สามารถสำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี ทางกลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผศ.ดร.เผ่าภักดิ์ สิริสุข อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ผศ.ดร.เชาวลิต หามนตรี อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือตลอดเวลาที่ผ่านมา

รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข ดร.พชรพล ตันทวีรุฬห์ นายสิทธิชัย บุญกิจ และ นายจุลวิชัย มาพัก กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในด้านการประเมินผลการทดสอบภาคปฏิบัติตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

บริษัท เอ.ไอ เทคโนโลยี จำกัด ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณวินัย รักษาภักดิ์ คุณประเสริฐ แซ่โจ้ว คุณภัทรา สุวรรณศรี คุณยอดชัย รักถนอม คุณธยกร วัชรมงคลกุล คุณวศิน บุญสอด คุณนิกรณ จงเสริมกลาง และพนักงานเป็นอย่างสูงสำหรับความรู้คำแนะนำและความช่วยเหลือทุกๆด้านในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นางสาวเพียงขวัญ แจ่มใส
นางสาวมณฑนา ปัญญาพร
นางสาวรดา โมเสส

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2. วัตถุประสงค์.....	2
1.3. ขอบเขตปริญญานิพนธ์.....	2
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5. แผนการดำเนินงาน	3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาวิธีการทำงาน	4
2.1.1 ความหมายของการศึกษาวิธีการทำงาน	4
2.1.2 ขั้นตอนในการศึกษาวิธีการทำงาน	5
2.1.3 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต.....	8
2.2 การศึกษาเหล็กกล่ม	9
2.2.2 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง (Hollow Structure Steel).....	9
2.2.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงในการผลิต	10
2.2.4 กระบวนการผลิตท่อเหล็กกล้า (Steel Pipe Manufacturing Process).....	10

สารบัญ

หน้า

2.2.5 เกรดหรือชั้นคุณภาพ.....	11
2.3 การศึกษาประเภทงานเชื่อม	13
2.3.1 ประเภทกระบวนการเชื่อมโลหะ	13
2.3.2 กระบวนการเชื่อมแบบต่างๆ	16
2.3.3 การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Shielded Metal Arc Welding : GMAW)	18
2.3.3 การเชื่อมอาร์คทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Shielded Tungsten Arc Welding : GTAW) ..	21
2.3.4 การเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding : SAW)	23
2.3.5 การเชื่อมแก๊ส (Gas Welding).....	26
2.3.6 การเชื่อมจุด (Resistance Spot Welding : RSW).....	28
2.4 การศึกษามาตรฐานงานเชื่อม	29
2.4.1 สัญลักษณ์การเชื่อม.....	29
2.4.2. การเตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อมและการทำความสะอาด	35
2.4.3 ทำเชื่อม	37
2.4.4 การอุ่นชิ้นงาน (Preheat).....	39
2.4.5 การเจียรรอยเชื่อม	43
2.4.6 เกณฑ์การยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม	47
2.4.8 การปรับตั้งค่าในการเชื่อม.....	60
2.5 เครื่องมือและเทคนิคการแก้ปัญหา.....	61
2.5.1 กระบวนการ DMAIC	61
2.5.2 เครื่องมือคุณภาพ.....	63
2.6 การศึกษาทฤษฎีการออกแบบทดสอบผลปฏิบัติงานของพนักงานในงานเชื่อม	65
2.6.1 การทดสอบผลปฏิบัติงานของพนักงาน	65
2.6.2 การออกแบบการทดสอบตามมาตรฐาน WPS	65

สารบัญ

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase).....	75
3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ	75
3.1.2 แผนผังของแผนงานที่ทำการศึกษา	84
3.1.3 การสำรวจสภาพปัญหาเบื้องต้น.....	84
3.1.4 การกำหนดหัวข้อปัญหา ตัวชี้วัดและเป้าหมาย.....	84
3.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase).....	85
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase).....	88
3.3.1 ปัญหาคำร้องเรียนจากลูกค้าเกี่ยวกับงานเชื่อม.....	88
3.3.2 ปัญหาไม่มีการวัดระดับความสามารถของพนักงานให้เหมาะสมกับงาน.....	89
3.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase).....	89
3.4.1 แนวทางการแก้ไขปัญหา	89
3.4.2 แนวทางการวัดผลการแก้ไขปัญหา.....	90
3.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase).....	91

บทที่ 4 ผลการดำเนินการ

4.1 ผลการดำเนินงานตามแนวทางการแก้ไขปัญหา.....	92
4.1.1 ระบายนียามปัญหา (Define Phase).....	92
4.1.2 ระยะตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)	95
4.1.3 ระยะวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analyze Phase).....	96
4.1.4 ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)	99
4.1.5 ระยะควบคุมกระบวนการ (Control phase)	108

สารบัญ

หน้า

4.2 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานในทดสอบเพื่อวัดระดับความสามารถของพนักงานก่อน และหลังปรับปรุง.....	110
4.3 ผลการดำเนินงานในเรื่องการใช้คู่มือ	113
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลดำเนินงาน	114
5.2 ข้อเสนอแนะ	115
เอกสารอ้างอิง	116
ภาคผนวก	120
ภาคผนวก ก (ข้อมูลการวิเคราะห์หาสาเหตุ).....	119
ภาคผนวก ข (เอกสารในการทดสอบ)	131
ภาคผนวก ค (ผลการทดสอบภาคปฏิบัติ).....	147
ภาคผนวก ง (คู่มือมาตรฐาน).....	174

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินของปริญญานิพนธ์.....	3
ตารางที่ 2.1	การเปรียบเทียบวัสดุระหว่างประเทศของเหล็ก JIS G3101 SS400.....	12
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบทางเคมีของ JIS G3101 SS400.....	12
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติทางกลของ JIS G3101 SS400.....	12
ตารางที่ 2.4	สัญลักษณ์รอยเชื่อม.....	33
ตารางที่ 2.5	สัญลักษณ์แนวเชื่อมพื้นฐานและตำแหน่งที่สำคัญของมาตรฐาน AWS.....	35
ตารางที่ 2.6	ตารางแสดงอุณหภูมิในการอุ่นขึ้นงานของแต่ละกลุ่มเหล็ก.....	40
ตารางที่ 2.7	ตารางแสดงอุณหภูมิในการอุ่นขึ้นงานของเหล็กแต่ละประเภท.....	43
ตารางที่ 2.8	ตารางเกณฑ์การยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม.....	47
ตารางที่ 2.9	ความหมายต่างๆของตัวเลขที่ 4 หรือ 5.....	55
ตารางที่ 2.10	อิทธิพลของฟลักซ์ต่อคุณภาพแนวเชื่อม.....	59
ตารางที่ 2.11	การปรับตั้งค่าในการเชื่อมระบบ MMA.....	60
ตารางที่ 2.12	การปรับตั้งในการเชื่อมระบบ MIG/MAG.....	60
ตารางที่ 2.13	การปรับตั้งค่าในการเชื่อมระบบ TIG.....	61
ตารางที่ 2.14	กระบวนการเชื่อม (Welding Process).....	66
ตารางที่ 4.1	รายละเอียดโครงการ (Project Charter).....	94
ตารางที่ 4.2	สาเหตุรากเหง้าของปัญหาคำร้องเรียนงานเชื่อมของลูกค้า.....	97
ตารางที่ 4.3	สิ่งที่ได้ดำเนินการปรับปรุงและแนวทางการควบคุม.....	108
ตารางที่ 4.4	ปริมาณข้อร้องเรียนของลูกค้าหลังการปรับปรุง (เดือน มกราคม-มีนาคม พ.ศ. 2565).....	113

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	6
รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์มาตรฐานในการเขียนแผนภูมิการไหลพื้นฐาน.....	9
รูปที่ 2.3 แสดงหลักการเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์.....	17
รูปที่ 2.4 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์.....	17
รูปที่ 2.5 แสดงการเชื่อมงานโครงสร้างขนาดใหญ่.....	18
รูปที่ 2.6 แสดงหลักการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม.....	18
รูปที่ 2.7 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม.....	19
รูปที่ 2.8 แสดงการใช้การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมเชื่อมงาน.....	20
รูปที่ 2.9 แสดงหลักการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสคลุม.....	21
รูปที่ 2.10 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสคลุม.....	22
รูปที่ 2.11 แสดงการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสคลุม.....	23
รูปที่ 2.12 แสดงหลักการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์.....	23
รูปที่ 2.13 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์.....	24
รูปที่ 2.14 แสดงการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์.....	26
รูปที่ 2.15 แสดงหลักการเชื่อมแก๊ส.....	26
รูปที่ 2.16 แสดงการเชื่อมแก๊ส.....	27
รูปที่ 2.17 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมแก๊ส.....	27
รูปที่ 2.18 แสดงหลักการเชื่อมจุด.....	28
รูปที่ 2.19 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมจุด.....	28
รูปที่ 2.20 แสดงการใช้งานการเชื่อมจุด.....	29
รูปที่ 2.21 ส่วนต่างๆ ของสัญลักษณ์งานเชื่อมตามมาตรฐาน AWS.....	30
รูปที่ 2.22 ส่วนประกอบที่สำคัญของสัญลักษณ์งานเชื่อมตามมาตรฐาน AWS.....	31
รูปที่ 2.23 ลูกศร.....	31
รูปที่ 2.24 เส้นอ้างอิง.....	32
รูปที่ 2.25 ทางลูกศร.....	32
รูปที่ 2.26 การเชื่อมรอบชิ้นงาน.....	33

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.27 สัญลักษณ์แสดงจุดที่จะทำการเชื่อมอยู่นอกสถานที่.....	34
รูปที่ 2.28 ตัวอย่างการกำหนดขนาดมุมบากรอยต่อชิ้นงาน.....	34
รูปที่ 2.29 การกำหนดขนาดและข้อมูลต่างๆของแนวเชื่อม.....	34
รูปที่ 2.30 การบากชิ้นงานก่อนเชื่อม.....	37
รูปที่ 2.31 ทำราบ.....	37
รูปที่ 2.32 ทำขนานนอน.....	38
รูปที่ 2.33 ทำตั้ง.....	38
รูปที่ 2.34 ทำเหนือศีรษะ.....	38
รูปที่ 2.35 ส่วนประกอบของเครื่องเจียร.....	44
รูปที่ 2.36 ใบเจียรรอยเชื่อมโลหะ.....	45
รูปที่ 2.37 การตรวจสอบประเภทรอยเชื่อม.....	46
รูปที่ 2.38 ลักษณะแนวเชื่อมแบบ Groove Weld และ Fillet Weld.....	47
รูปที่ 2.39 แสดงลักษณะโครงสร้างของลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์.....	54
รูปที่ 2.40 แสดงลักษณะโครงสร้างของลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์.....	54
รูปที่ 2.41 แสดงมาตรฐานสัญลักษณ์ลวดเชื่อม.....	56
รูปที่ 2.42 แสดงรอยต่อที่กำหนดใน WPS.....	67
รูปที่ 2.43 ตารางเชื่อมมาตรฐาน.....	68
รูปที่ 2.44 ตารางโลหะเติม.....	69
รูปที่ 2.45 ตารางโลหะเติม.....	70
รูปที่ 2.46 ทำเชื่อม.....	71
รูปที่ 2.47 ทำเชื่อมทอกลม.....	71
รูปที่ 2.48 ทำเชื่อมตั้งฉาก.....	71
รูปที่ 2.49 ทำเชื่อมทอต่อแปลน.....	72
รูปที่ 3.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ Assembly Line.....	76
รูปที่ 3.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ระบบหุ่นยนต์.....	77
รูปที่ 3.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องกด.....	78

ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องล้างและเป่าแห้ง.....	78
รูปที่ 3.5 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องขึ้นเกลียว.....	79
รูปที่ 3.6 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องเติมและบรรจุ.....	79
รูปที่ 3.7 ลักษณะของผลิตภัณฑ์อุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง.....	80
รูปที่ 3.8 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องทดสอบการรั่ว.....	80
รูปที่ 3.9 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ระบบจัดเก็บและเรียกค้นข้อมูลอัตโนมัติ.....	81
รูปที่ 3.10 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ระบบจัดเก็บและเรียกค้นข้อมูลอัตโนมัติ.....	81
รูปที่ 3.11 ลักษณะของผลิตภัณฑ์การซื้อขาย.....	82
รูปที่ 3.12 การไหลของชิ้นงานก่อนเข้าและหลังศึกษาในแผนงานเชื่อม.....	83
รูปที่ 3.13 แผนผังของแผนงานที่ทำการศึกษา.....	84
รูปที่ 3.14 แผนภูมิการไหลแสดงข้อมูลขั้นตอนการทำงาน.....	86
รูปที่ 3.15 คู่มือปฏิบัติ.....	87
รูปที่ 3.16 แผนภาพแสดงสาเหตุและผล.....	88
รูปที่ 4.1 การไหลของชิ้นงาน.....	92
รูปที่ 4.2 แนวคิด SIPOC มาช่วยในการวิเคราะห์ในส่วนของกระบวนการ.....	93
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งปัญหาที่เกิดขึ้นในแผนงานขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้าง เดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2564.....	95
รูปที่ 4.4 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหาคำร้องเรียนส่วนงานเชื่อมจากลูกค้า.....	96
รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ด้วยคำถามทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) จากสาเหตุ.....	98
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์การประเมินการสอบทฤษฎี (ก่อนการปรับปรุง).....	100
รูปที่ 4.7 แผนภูมิวิเคราะห์การประเมินท่าที่ 1 (ก่อนการปรับปรุง).....	101
รูปที่ 4.8 แผนภูมิวิเคราะห์การประเมินท่าที่ 2 (ก่อนการปรับปรุง).....	102
รูปที่ 4.9 แผนภูมิวิเคราะห์การประเมินท่าที่ 3 (ก่อนการปรับปรุง).....	103
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์การประเมินการสอบทฤษฎี (หลังการปรับปรุง).....	104
รูปที่ 4.11 แผนภูมิวิเคราะห์การประเมินท่าที่ 1 (หลังการปรับปรุง).....	105
รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 2 (หลังการปรับปรุง).....	106

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.13 แผนภูมิการวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 3 (หลังการปรับปรุง).....	107
รูปที่ 4.14 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การประเมินการสอบทฤษฎี ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	108
รูปที่ 4.15 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการปรับปรุงของท่าที่ 1.....	110
รูปที่ 4.16 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการปรับปรุงของท่าที่ 2.....	111
รูปที่ 4.17 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการปรับปรุงท่าที่ 3.....	112
รูปที่ 4.18 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบจำนวนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง.....	113



บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ โดยผู้จัดทำได้บรรยายถึงข้อมูลทั่วไปและปัญหาที่พบในโรงงานกรณีศึกษา รวมไปถึงแนวทางการดำเนินงานปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องมือและเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม มีรายละเอียดดังนี้

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
2. วัตถุประสงค์การศึกษา
3. ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
5. แผนการดำเนินงาน

1.1. ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในสถานการณ์ปัจจุบันการแข่งขันทางด้านธุรกิจอุตสาหกรรม มีความจำเป็นที่จะต้องนำเครื่องจักรมาช่วยอำนวยความสะดวกในการผลิตและเพิ่มกำลังการผลิตในธุรกิจ เนื่องจากความสามารถในการแข่งขันทางการออกแบบ คุณภาพ ต้นทุน และบริการของเครื่องจักรที่ดี จะเพิ่มมูลค่าเพิ่มงานให้กับพนักงาน จึงเกิดแนวคิดในการจัดการงานด้านการเชื่อมของอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรโดยมุ่งความสำคัญไปที่การจัดการมาตรฐานขั้นตอนงานเชื่อมของเหล็กกลม และจัดทำมาตรฐานการวัดระดับความสามารถของพนักงานในงานเชื่อมให้เหมาะสมกับความสามารถของพนักงาน

บริษัทผลิตเครื่องจักรกรณีศึกษานั้นมีสายการผลิตเครื่องจักรแบบการบริหารโครงการ โดยบริษัทนี้ในส่วนของการผลิตจะประกอบไปด้วยการขึ้นรูปและการตรวจสอบงานโครงสร้าง การทำสี การประกอบเครื่องจักร การทดสอบเครื่องจักร การบรรจุเครื่องจักร การขนส่งเครื่องจักร การติดตั้งเครื่องจักร และการบริการหลังการขาย ซึ่งหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญในสายการผลิต คือ การขึ้นรูปและการตรวจสอบงานโครงสร้าง จะเกี่ยวกับกระบวนการงานเชื่อม ที่ถือเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและความน่าเชื่อถือ ความพึงพอใจ

ให้กับลูกค้าและบริษัท ซึ่งในส่วนกระบวนการงานเชื่อมของบริษัท ตัวเครื่องจักรและจุดรองรับโครงสร้าง เช่น ตัวฐานของเครื่องจักร รัดกันเครื่องจักร เป็นต้น จะต้องมีความมั่นคงโดยต้องผ่านกระบวนการเชื่อมเป็นส่วนใหญ่ เมื่อทำการเชื่อมชิ้นงานเสร็จ ชิ้นงานนั้นจะถูกตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแบบการควบคุมคุณภาพในกระบวนการ (QC In Process) โดยพนักงานที่เชื่อมจะต้องทำการตรวจสอบข้อบกพร่องของรอยเชื่อม เพื่อส่งต่อในกระบวนการต่อไป จากกรณีศึกษาของทางบริษัท ลูกค้าได้ทำการส่งคืนชิ้นงานที่รอยเชื่อมมีปัญหา กลับคืนมา เมื่อได้เข้าไปศึกษากระบวนการงานเชื่อมของบริษัท พบว่า ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นกับกระบวนการนี้ คือ ปัญหากระบวนการงานเชื่อมไม่มีมาตรฐานและปัญหาระดับความสามารถของพนักงานเชื่อมของบริษัทที่ยังขาดฝีมือ

ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้ 2 สาเหตุหลัก คือ พนักงานมีความสามารถในการเชื่อมต่ำ และกระบวนการขั้นตอนงานเชื่อมที่ไม่มีการอ้างอิงตามมาตรฐาน เช่น การ Pre-Heat ก่อนทำการเชื่อม การทำความสะอาดผิวงาน การตรวจสอบรอยเชื่อม รวมไปถึงท่าเชื่อม ซึ่งถ้าทางบริษัทไม่มีการแก้ไขหรือจัดการกระบวนการงานเชื่อมให้มีมาตรฐาน อาจส่งผลทำให้เครื่องจักรที่มีชิ้นส่วนบกพร่องในส่วนเชื่อมหลุดออกไปยังลูกค้าได้ ทำให้ส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของลูกค้าที่มีต่อบริษัท

จากที่ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลส่วนประกอบของเครื่องจักร พบว่ารั้วกันเครื่องจักร (Fence) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องจักรที่สำคัญเนื่องจากป้องกันและลดความเสี่ยงที่เกิดอุบัติเหตุระหว่างคนกับเครื่องจักร โดยผู้วิจัยเลือกที่จะศึกษารั้วกันเครื่องจักร (Fence) ชนิดเหล็กกลม ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมที่พบปัญหาบ่อยทั้งหมด 2 แบบ ได้แก่ ท่อต่อท่อ และ ท่อต่อแปลน ผู้วิจัยจึงได้เลือกจัดการและจัดทำคู่มือมาตรฐานขั้นตอนงานเชื่อมส่วนรั้วกันเหล็กกลมและการวัดระดับความสามารถในงานเชื่อมของพนักงาน เพื่อให้พนักงานมีระดับความสามารถในงานเชื่อมมากขึ้นและกระบวนการเชื่อมพบปัญหาชิ้นงานบกพร่องในส่วนของรั้วกันเหล็กกลมลดลง ส่งผลข้อบกพร่องของชิ้นงานที่เกิดขึ้นเมื่อถึงมือลูกค้าลดลง

1.2 วัตถุประสงค์

ทางผู้วิจัยจึงทำการกำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาการจัดการมาตรฐานขั้นตอนงานเชื่อมส่วนของรั้วกันเหล็กกลม
2. เพื่อจัดทำมาตรฐานวัดระดับความสามารถในงานเชื่อมให้เหมาะสมกับความสามารถของพนักงาน

1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

ทางผู้วิจัยจึงทำการกำหนดขอบเขตของโครงการดังต่อไปนี้

1. จะพิจารณาการเชื่อมเฉพาะของรั้วกันเหล็กกลม SS400 ทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ ท่าต่อชนแบบบาก เสาร่อง ท่าต่อชนเชื่อมรอบ และ ท่าเชื่อมรอบแนวเต็ม เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญในการป้องกันความเสี่ยงจากอุบัติเหตุและพบปัญหาบ่อย

2. จัดทำคู่มือมาตรฐานของงานเชื่อมและทดสอบวัดระดับความสามารถการปฏิบัติงานของ
3. จัดทำการทดสอบวัดระดับความสามารถของพนักงานเชื่อม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากทำตามวัตถุประสงค์ของโครงการประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการเชื่อมพบปัญหาชิ้นงานบกพร่องในส่วนของการเชื่อมรั่วกันเหล็กกลม SS400 ทั้ง 3 รูปแบบ ลดลงหลังจากการจัดการมาตรฐานขั้นตอนงานเชื่อมโดยใช้คู่มือมาตรฐานของงานเชื่อม
2. พนักงานจะมีระดับความสามารถการทำงานเชื่อมเพิ่มขึ้น

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินของปริญญานิพนธ์

รายการ	พ.ศ. 2564					พ.ศ. 2565		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. กำหนดปัญหา ขอบเขตการศึกษา และศึกษาสภาพปัจจุบันเบื้องต้น								
2. กำหนดตัวชี้วัด และเป้าหมาย								
3. ศึกษาทฤษฎี และความรู้ที่เกี่ยวข้องของงานเชื่อม								
4. ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการเชื่อมและการตรวจสอบงานเชื่อม								
5. วิเคราะห์ปัญหาและจัดทำคู่มือมาตรฐานของงานเชื่อม								
6. ทดลองโดยนำวิธีการใหม่มาปรับใช้								
7. เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง								
8. จัดทำเป็นมาตรฐานของขั้นตอนและระดับความสามารถขึ้นใหม่								
9. สรุปการดำเนินงานและจัดทำรูปเล่ม								

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการจัดการมาตรฐานกระบวนการงานเชื่อมของเหล็กกลและ การวัดระดับความสามารถของพนักงานเชื่อมจากกรณีศึกษามีดังต่อไปนี้

1. การศึกษาวิธีการทำงาน
2. การศึกษาเหล็กกล
3. การศึกษาประเภทงานเชื่อม
4. การศึกษามาตรฐานงานเชื่อม
5. เครื่องมือและเทคนิคการแก้ปัญหา
6. การวัดความสามารถของพนักงานในงานเชื่อม

2.1 การศึกษาวิธีการทำงาน

2.1.1 ความหมายของการศึกษาวิธีการทำงาน

การศึกษาวิธีการทำงาน หมายถึง การศึกษา การวิเคราะห์ และการออกแบบวิธีการทำงานของพนักงานที่มีอยู่เดิม เพื่อปรับปรุงพัฒนาวิธีการทำงานใหม่ให้ง่ายและเกิดประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรสูงสุด ทำให้ผลิตภาพเพิ่มขึ้น ลดต้นทุนและขจัดความสูญเปล่าต่างๆ ลง [1]

การศึกษาวิธีการทำงานมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน โดยหาวิธีการทำงานที่ดีกว่า
2. การปรับปรุงโรงงาน โรงปฏิบัติการ และการวางแผนสถานที่ทำงาน ตลอดจนถึงการออกแบบโรงงานและเครื่องจักรต่างๆ
3. ศึกษาเศรษฐศาสตร์ในด้านการประหยัดแรงงาน และการลดความเมื่อยล้าที่ไม่จำเป็นของคนงาน
4. เพื่อหาวิธีการเคลื่อนย้ายวัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสม
5. เพื่อใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ได้เต็มกำลังการผลิต
6. เพื่อลดความเมื่อยล้าของพนักงาน [2]

2.1.2 ขั้นตอนในการศึกษาวิธีการทำงาน

ขั้นตอนการศึกษาวิธีการทำงานพอสรุปได้ดังนี้

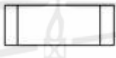
1. การเลือกงาน
2. การเก็บข้อมูลวิธีการทำงาน
3. การวิเคราะห์วิธีการทำงาน
4. การปรับปรุงวิธีการ
5. การเปรียบเทียบวัดผลวิธีการทำงาน
6. การพัฒนามาตรฐานวิธีการทำงาน
7. การส่งเสริมใช้วิธีการทำงานที่ปรับปรุงแล้ว
8. การติดตามการใช้วิธีการปรับปรุงที่ปรับปรุงแล้ว

2.1.2.1 การเลือกงาน

ขั้นตอนการเลือกงานที่จะศึกษาเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเพราะงานที่ต้องการการปรับปรุงมีอยู่มากมาย การเลือกงานผิดย่อมเป็นการเสียโอกาสงานบางอย่างถ้าเลือกทำก่อนจะใช้ประโยชน์ต่อเนื่องไปถึงงานอื่น ๆ ได้ถ้าเลือกทำทีหลังจะไม่มีผลดีต่องานอื่นงานหลายอย่างมีเงื่อนไขเวลาถ้าไม่เลือกที่จะศึกษาก่อนจะไม่สามารถใช้ประโยชน์จากการศึกษาวิธีการทำงานได้อย่างเต็มที่ในการเลือกงานที่จะศึกษาสิ่งแรกจึงควรพิจารณาความสำคัญของงานตามเงื่อนไขต่าง ๆ อย่างเป็นระบบเพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจเราจะวางแผนการตัดสินใจเลือกงานเพื่อศึกษาวิธีการทำงานเราจะพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (1) ด้านเศรษฐกิจ (2) ด้านเทคนิค (3) ด้านปฏิบัติการ แรงงานและ (4) ด้านผลกระทบอื่น ๆ

2.1.2.2 การเก็บข้อมูลวิธีการทำงาน

เพื่อจะสามารถวิเคราะห์และปรับปรุงวิธีการทำงานเราจำเป็นต้องการเก็บข้อมูลวิธีการทำงานของงานที่เราเลือกที่จะศึกษาวิธีการทำงานแล้วการบันทึกข้อมูลวิธีการทำงานให้ถูกต้องแม่นยำครบถ้วนตามความเป็นจริงเท่านั้นโดยการเก็บข้อมูลวิธีการทำงานมีขั้นตอนดังนี้ 1) ศึกษาสภาพของหน่วยงานจริงอันเป็นที่มาของปัญหาและมาตรฐานของโรงงานที่เป็นอยู่เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องชัดเจน 2) การแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนความสัมพันธ์ของหน้าที่ในของงานให้เขียนภาพขั้นตอนหรือการไหลของงานและทำความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ของงานนั้น ๆ โดยใช้แผนภูมิการไหลพื้นฐาน (Basic Flowchart)

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	Terminator	สัญลักษณ์แทนจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด
	Process	สัญลักษณ์กระบวนการต่างๆ เช่น การประมวลผล การนับ เป็นต้น
	Decision	สัญลักษณ์เงื่อนไข
	Data	สัญลักษณ์ติดต่อกับผู้ใช้ โดยกรับข้อมูลหรือแสดงข้อมูล
	Manual Input	สัญลักษณ์การรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน
	Display	สัญลักษณ์การแสดงผลออกทางจอภาพ
	Predefined Process	สัญลักษณ์ระบุการทำงานย่อยหรือฟังก์ชันย่อย
	Connect	สัญลักษณ์จุดเชื่อม
	Arrow	สัญลักษณ์เส้นทางการดำเนินงาน

รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

2.1.2.3 การวิเคราะห์วิธีการทำงาน

การวิเคราะห์วิธีการทำงานและการพิจารณาตั้งคำถามตรวจสอบข้อมูลวิธีการทำงานที่บันทึกมาเพื่อทำการวิเคราะห์วิธีการทำงานจะใช้ คือ “เทคนิคการตั้งคำถามเพื่อช่วยให้สามารถกำหนดแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงานเทคนิคการตั้งคำถามนี้ด้วย การวิเคราะห์ปัญหาด้วยหลักการทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบมีขั้นตอนอย่างละเอียด

โดยวิธีการพิจารณาก่อนการวิเคราะห์ด้วย Why-Why Analysis มีขั้นตอนดังนี้

1) ก่อนจะทำการวิเคราะห์ด้วย Why-Why Analysis ศึกษาสภาพของหน้างานจริงอันเป็นที่มาของปัญหา เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องชัดเจน แต่หากขอบเขตของปัญหามากเกินไปจะทำให้การวิเคราะห์กว้างเกินไปด้วยและมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากเกินไปถึงแม้ได้ผลการวิเคราะห์ออกมาแล้วก็ตามมาตรการที่ตามมาจะมีมากกว่าที่จะนำมาปฏิบัติได้

2) ทำความเข้าใจในโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนที่เป็นปัญหาจะต้องทำการแจกแจงส่วนงานที่เป็นปัญหาให้ออกมาเป็นไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนความสัมพันธ์ของหน้าที่ในกรณีของงานทั่วไปให้เขียนภาพขั้นตอนหรือการไหลของงานและทำความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ของงานนั้น ๆ

ส่วนถัดมาจะเป็นขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขด้วย Why-Why Analysis ซึ่งประกอบไปด้วย

- 1) กำหนดหัวข้อเรื่องที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไข
- 2) สำนวความจริงของสภาพที่เป็นอยู่ของปัญหา
- 3) ตั้งเป้าหมายที่จะลดปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นให้กลายเป็นศูนย์
- 4) กำหนดแผนของกิจกรรม

2.1.2.4 การปรับปรุงวิธีการทำงาน

การปรับปรุงวิธีการทำงานโดยการจัดทำคู่มือมาตรฐานการเชื่อม เพื่อให้การปฏิบัติงานนั้นเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ป้องกันความผิดพลาด สามารถทำงานซ้ำๆโดยคาดหวังผลได้ และประกันว่างานใด ๆ จะได้รับการปฏิบัติอย่างถูกต้อง ราบรื่น และมีประสิทธิผลแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องสร้างความชัดเจนในเรื่องขอบเขตของบทบาทหน้าที่และ วิธีการทำงานที่ถูกต้องพร้อมต้องบันทึกไว้ในกระดาษเป็นลายลักษณ์อักษร เพื่อว่าใครก็ตามมาอ่านและรับทราบจะสามารถปฏิบัติงานนั้น ๆ ได้เหมือน ๆ กัน หากได้ทำตามคำแนะนำในเอกสารชุดนั้น และสิ่งเหล่านี้ก็คือหลักสำคัญของ การสร้างมาตรฐานปฏิบัติ

2.1.2.5 การเปรียบเทียบการวัดผลงานการทำงาน

การเปรียบเทียบการวัดผลงานการทำงานจะมีขั้นตอนดังนี้

1) จะเป็นการทำแบบทดสอบเพื่อที่จะวัดระดับความสามารถของพนักงานเชื่อม โดยให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนพิจารณาความคิดเห็นว่าจุดประเมิณแต่ละข้อวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้หรือไม่ โดยกำหนดคะแนนความคิดเห็นไว้ดังนี้

+1 หมายถึงแน่ใจว่าจุดประเมิณวัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

1 หมายถึงแน่ใจว่าจุดประเมิณไม่ได้วัดได้ตรงตามที่ระบุไว้จริง

2) บันทึกผลการพิจารณาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเนื้อหาวิชาแต่ละคน ในแต่ละข้อแล้วหาคะแนนผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดเป็นรายข้อ ตามหัวข้อเกณฑ์การพิจารณารอยเชื่อม

3) กำหนดคะแนนโดยกำหนดเป้าหมายในการผ่านเกณฑ์ในแต่ละรายการตรวจคือร้อยละ 50 ของจำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ

2.1.2.6 การพัฒนามาตรฐานวิธีการทำงาน

เมื่อมั่นใจได้จากการเปรียบเทียบวิธีการทำงานก่อนและหลังการปรับปรุงแล้วงานต่อไปคือการพัฒนาวิธีการทำงานที่ปรับปรุงแล้วให้เป็นวิธีการมาตรฐานเพื่อใช้เป็นแนวปฏิบัติมาตรฐานตามวิธีการทำงานที่ปรับปรุงแล้วซึ่งจะใช้เป็นเอกสารอ้างอิง ก็จะสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการอบรมพัฒนาบุคลากรในด้านมาตรฐานวิธีการทำงานเราสามารถพัฒนามาตรฐานมาตรฐานของวิธีการทำงานเป็น 2 รูปแบบคือ (1) คู่มือมาตรฐานการในกระบวนการงานเชื่อม (2) แบบทดสอบวัดระดับความสามารถของพนักงานเชื่อม

2.1.2.7 การส่งเสริมใช้วิธีการทำงานที่ปรับปรุงแล้ว

การใช้วิธีการทำงานใหม่ซึ่งต้องทำความเข้าใจกับผู้ปฏิบัติงานถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงาน รวมทั้งต้องฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้สามารถทำงานด้วยวิธีที่ถูกต้อง

2.1.2.8 การติดตามการใช้วิธีการปรับปรุงที่ปรับปรุงแล้ว

การควบคุมดูแลให้ผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติงานตามวิธีการทำงานใหม่และค้นหาวิธีการทำงานที่ดีกว่าเดิมอยู่เสมอเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานขององค์กร

2.1.3 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต

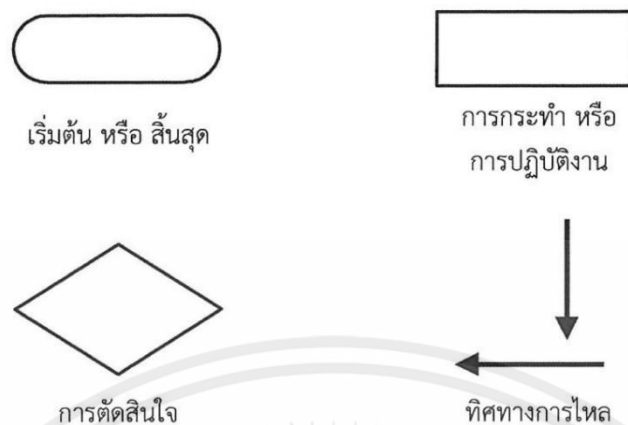
การวิเคราะห์ว่ากระบวนการผลิตหรือวิธีการทำงานนั้นจัดไว้ดีหรือไม่ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูล การจัดบันทึกข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็น สิ่งที่จะช่วยในการจัดบันทึกข้อมูล ได้แก่ แผนภูมิการไหลพื้นฐาน แผนภูมิการไหลพื้นฐาน (Basic Flowchart) [1]

แผนภูมิการไหลพื้นฐาน คือ แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอน (หรือกิจกรรม) การไหล วิธีการประมวลผล การรับส่งข้อมูล และผลลัพธ์ของการทำงานสำหรับระบบงาน (System Flowchart) รวมถึง สิ่งที่น่าสนใจต่างๆ เช่น กิจกรรมประจำวัน, ระบบการตรวจสอบคุณภาพ เป็นต้น และการทำงานสำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Program Flowchart) โดยเหตุการณ์แต่ละกิจกรรมจะใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน จัดว่าเป็นภาษาที่ใช้สื่อสาร โดยปกติจะยึดการไหลจากบนลงล่าง หรือจากซ้ายไปขวา

แผนภูมิการไหลพื้นฐานถูกใช้เพื่อช่วยรวบรวมและจัดลำดับความคิด นำไปสู่การวิเคราะห์ ปรับปรุงการทำงาน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงได้ รวมถึงการสร้างมาตรฐานการทำงาน

เมื่ออ้างอิงสถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา หรือ แอนซี (American National Standard Institute (ANSI)) สัญลักษณ์ที่ถูกใช้บ่อยในการเขียนแผนภูมิการไหลพื้นฐานสำหรับอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 2.1

- รูปไข่ (Oval หรือ Elongated Circle) แสดงการเริ่มต้นหรือจบของแผนภูมิการไหลพื้นฐาน
- รูปกล่อง (Box) หรือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แสดงถึงขั้นตอน หรือกิจกรรม หรือการกระทำ
- รูปเพชร (Diamond) แสดงจุดที่ต้องสนใจ (Decision)
- เส้นลูกศร (Flow Line หรือ Arrow) แสดงทิศทางการไหลของกระบวนการ



รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์มาตรฐานในการเขียนแผนภูมิการไหลพื้นฐาน

ลักษณะเด่นของแผนภูมิการไหลพื้นฐาน คือ การแสดงเหตุการณ์ของการตัดสินใจ (หรือการเปรียบเทียบ) รวมถึงเส้นทางการไหลหลังจากการตัดสินใจ สัญลักษณ์การตัดสินใจมักพบแบบสองทางเลือกและสามทางเลือก มีรายละเอียดดังนี้

- แบบสองทางเลือก คือ จริงหรือเท็จ (ผ่านหรือไม่ผ่าน ใช่หรือไม่ใช่ ของดีหรือของเสีย เป็นต้น) เส้นการทำงานที่ออกจาก “การตัดสินใจ” จะมีสองเส้นด้วยเช่นกัน
- แบบสามทางเลือก มักพบในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น น้อยกว่า 0 เท่ากับ 0 หรือมากกว่า 0 เป็นต้น

2.2 การศึกษาเหล็กกล่ม

2.2.1 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้มีดังต่อไปนี้

ท่อเหล็กกล้าคาร์บอนสำหรับงานโครงสร้างทั่วไป (Carbon Steel Tubes For General Structure) ในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “ท่อ” หมายถึงท่อที่ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนมีหน้าตัดกลมหรือหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าสม่ำเสมอตลอดความยาวท่อที่มีตะเข็บหมายถึงท่อที่ผลิตโดยนำเหล็กแผ่นม้วนขึ้นรูปตามแนวยาวแล้วทำการเชื่อมบริเวณขอบของเหล็กแผ่นตลอดแนวยาว [3]

2.2.2 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง (Hollow Structure Steel)

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง เป็นเหล็กที่ทำ จากการม้วนและเชื่อมให้ติดกัน (Welded Pipe) หรือ การให้ความร้อนที่แบ่งเหล็กให้ร้อนแดงแล้วเอาลูกรีดทะลวงผ่าน (Seamless Pipe) เพื่อนำไปใช้สำหรับ งานโครงสร้างหรืองานระบบต่างๆ เหล็กโครงสร้าง รูปพรรณกลวงนี้มีศักยภาพในการประยุกต์สูง ไม่เพียงเฉพาะสามารถทดแทน

โครงสร้างดั้งเดิมจำพวกคอนกรีต เสริมเหล็ก หรือแม้กระทั่งสามารถทดแทนเหล็ก โครงสร้างหน้าตัดผนังบางชนิดเปิด (Open Sections) เช่น ตัว I - Beam, H- Beam ด้วยคุณสมบัติที่เหนือกว่าทั้งในด้านความแข็งแรง (Stiffness) และการมีรูปทรงหน้าตัดที่มีเสถียรภาพ (Stability) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) และรูปทรงเรขาคณิต (Geometrical Properties) ของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง และหน้าตัดเปิดจะเห็นได้ถึงการลดปริมาณวัสดุภายใต้สภาวะแรงกระทำในหลาย ๆ ลักษณะ [4]

2.2.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงในการผลิต

การผลิตเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวงมีการผลิตและควบคุมคุณภาพภายใต้มาตรฐานของสากลและของภายในประเทศไทยดังนี้

มาตรฐานประเทศไทย มอก.107-2533, มอก.276 -2532 และ มอก. 277-2532 เป็นต้น

มาตรฐานประเทศอเมริกา ASTM - A53, เป็นต้น

มาตรฐานประเทศญี่ปุ่น JIS G3444-1994, JIS G3466-1988, JIS G3452-1997 เป็นต้น

มาตรฐานประเทศเยอรมัน DIN 2439, DIN 2440, DIN 2441, DIN 2395 เป็นต้น

มาตรฐานประเทศอังกฤษ BS 1387-1985, BS 6363, BS 1139 เป็นต้น

มาตรฐานประเทศออสเตรเลีย AS 1163, AS1074 เป็นต้น

มาตรฐานยุโรป EN 10219 เป็นต้น

2.2.4 กรรมวิธีการผลิตท่อเหล็กกล้า (Steel Pipe Manufacturing Process)

แบ่งตามกรรมวิธีการผลิตได้ 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1. ท่อเชื่อมตะเข็บ (Welded Pipe) ท่อชนิดนี้ผลิตโดยการนำเหล็กแผ่นม้วนและเชื่อมวิธีการม้วนทำได้ทั้งม้วนตามแนวยาวหรือม้วนแบบ Spiral

2. ท่อไร้ตะเข็บ (Seamless Pipe)

2.2.4.1 ท่อตะเข็บ

แบ่งประเภทตามวิธีการเชื่อมตะเข็บดังต่อไปนี้

1. Electric Resistance Welding (ERW)

เป็นการเชื่อมโดยอาศัยแรงอัด (Pressing) ในเดียวกันขณะที่ตะเข็บหลอมละลาย ด้วยความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า กรรมวิธีการผลิตเริ่มต้นด้วยการคลี่เหล็กออกจากคอยล์ จากนั้นจะค่อยๆ ม้วนเหล็กแผ่นให้เป็น รูปทรงกระบอกอย่างต่อเนื่อง ผ่านลูกรีดหลายแท่นโดย ไม่ใช้ความร้อน (Cold Forming) แล้วทำการผ่านกระแส ตกคร่อมระหว่างขอบทั้งสองของตะเข็บ ด้วยความต้านทานของกระแสไฟฟ้าจะทำให้ขอบของเหล็กนั้นร้อนแดงและหลอมละลายที่อุณหภูมิระหว่าง 1,200°C ถึง 1,400°C (2,200°F ถึง 2,600°F) แล้วจึงทำการกดอัด ตะเข็บติดกัน ท่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะมีตะเข็บตรง (Longitudinal Welded Seam)

2. Butt Welding (BW) หรือ Continuous Butt Welding (CBW)

เป็นการเชื่อมโดยอาศัยแรงอัด (Pressing) ในขณะที่ตะเข็บร้อนแดงด้วยความร้อนจากเตาเผา กรรมวิธีการผลิตเริ่มต้นด้วยการคลี่เหล็กแผ่นออกจากคอยล์ จากนั้นป้อนแผ่นเหล็กผ่านเตาเพื่อให้ความร้อนโดยแผ่นเหล็กจะได้รับความร้อนทั่วทั้งแผ่น แต่ด้วยเทคนิคการจัดเรียงหัวเผาในเตานั้นจัดให้บริเวณขอบแผ่นเหล็กร้อนที่สุด จากนั้นค่อยๆ ม้วนเหล็กแผ่น ให้เป็นรูปทรงกระบอกอย่างต่อเนื่อง โดยผ่านลูกรีดหลายแท่น (Hot Forming) แล้วจึงกดอัดให้ตะเข็บติดกันต่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะมีตะเข็บตรง (Longitudinal Welded Seam)

3. Electric Fusion Welding (EFW)

เป็นการเชื่อมที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการอาร์ค บริเวณแนวเชื่อมให้หลอมละลายติดกัน โดยอาจใช้ลวดเชื่อม (Filler Metal) หรือไม่ใช้ก็ได้ กระบวนการเชื่อม Fusion Welding มีด้วยกันหลายวิธีเช่น Submerge Arc Welding (SAW), Double Submerge Arc Welding (DSAW) ซึ่งเหมือนกับ SAW แต่เป็นการเชื่อมตะเข็บ ทั้งด้านนอกและด้านใน Gas Tungsten Arc Welding (GTAW หรือ TIG) และ Gas Metal Arc Welding (GMAW หรือ MIG) เป็นต้น

โดยการผลิตท่อด้วยกระบวนการเชื่อม Fusion Welding มีทั้งแบบตะเข็บตรง (Longitudinal Welded Seam) และตะเข็บแบบ Spiral Welded Seam ดังต่อไปนี้

1. ท่อเชื่อมตะเข็บตรงขึ้นรูปต่อเนื่อง ขั้นตอนการขึ้นรูปคล้ายกับวิธี ERW ขึ้นรูปแบบ U - O ใช้วิธีการกดแผ่นเหล็กแต่ละชั้นให้เป็น รูปตัว “U” จากนั้นจึงกดต่อให้เป็นรูปตัว “O” แล้วจึงทำการเชื่อม ท่อที่ผลิตด้วย วิธีนี้เรียกว่า UO Pipe หรือ UOE

2. ท่อเชื่อมตะเข็บ Spiral ขึ้นรูปอย่างต่อเนื่องด้วยการคลี่เหล็กแผ่นออกจากคอยล์แล้วม้วนเป็น Spiral แนวเชื่อมจะมีลักษณะวนคล้ายขดสปริง ซึ่งบางที่เรียกว่า Helical ท่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้เรียกว่า Spiral Pipe

2.2.4.2 ท่อไร้ตะเข็บ (Seamless Pipe)

ผลิตจากแท่งเหล็ก (Steel Billet) ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้แท่งเหล็กหน้าตัดกลม วิธีการผลิตเริ่มจากการให้ความร้อนแท่งเหล็กที่อุณหภูมิ ประมาณ $1,230^{\circ}\text{C}$ ($2,250^{\circ}\text{F}$) จากนั้นแท่งเหล็กที่ร้อน แดงจะถูกหมุนและดึงด้วยลูกรีดผ่านแท่งทะลวง (Piercing Rod หรือ Mandrel) ลูกรีดจะดึงให้เนื้อโลหะไหลผ่านแท่ง ทะลวงทำให้เกิดเปลือกท่อกว้าง (Hollow Pipe Shell) ขึ้น หลังจากนั้นจะให้ความร้อนอีกครั้งแล้วจึงรีดท่อโดยมี Support Bar อยู่ด้านใน เพื่อปรับให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของผนังท่อที่ต้องการ

2.2.5 เกรดหรือชั้นคุณภาพ

SS400 ตามเกรดวัสดุและชื่อที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน JIS G 3101 S ตัวแรกย่อมาจาก "Steel" S ตัวที่สองหมายถึง "Structure" และ 400 สำหรับค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดที่ 400 MPa เหล็กโครงสร้างธรรมดาที่มีความต้านทานแรงดึง 400 เมกะปาสกาล เหล็กนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในมาตรฐาน JIS การใช้งานครอบคลุม

โครงสร้างต่างๆ เช่น สะพาน เรือ ยานพาหนะ ฯลฯ ในรูปของแผ่นเหล็ก เหล็กเส้น และส่วนต่างๆ วัสดุเสริมเกือบทั้งหมดสำหรับเครื่องจักรและโครงสร้างถูกนำมาใช้

SS400 มีความแข็งแรงเนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนต่ำ ไม่แนะนำให้ใช้กับส่วนประกอบหลักที่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการสึกหรอ หรือความแข็ง อย่างไรก็ตาม มีความสามารถในการเชื่อมและการแปรรูปที่ดีเยี่ยม มักใช้สำหรับเชื่อมชิ้นส่วนโครงสร้าง น็อต ชิ้นส่วนขนาดเล็ก ชิ้นส่วนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์และยานยนต์ ฯลฯ [5]

2.2.5.1 การเปรียบเทียบวัสดุ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบวัสดุระหว่างประเทศของเหล็ก JIS G3101 SS400

TAIWAN - CNS	CHINA - GB	JAPAN - JIS	USA - ASTM	GERMANY - DIN
SS400	Q235A, Q235B, Q235C, Q235D	SS400	A570 Gr.30, A570 Gr.45, A36/A283M Gr.D	St37-2, Ust37-2, RSt37-2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของ JIS G3101 SS400

Grade	Chemical Composition, % by weight				
	C. max	Si. max	Manganese	P. max	S. max
SS400	-	-	-	0.050	0.050

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกลของ JIS G3101 SS400

Grade	Yield Strength min (Mpa)		Tensile Strength MPa	Elongation min %			Impact Resistance min.[J]
	Thickness < 16 mm	Thickness ≥16mm		Thickness < 5mm	Thickness 5-16mm	Thickness ≥16mm	
SS400	245	235	400-510	21	17	21	-

2.3 การศึกษาประเภทงานเชื่อม

2.3.1 ประเภทกระบวนการเชื่อมโลหะ

การจำแนกประเภทกระบวนการเชื่อมโลหะนั้น จากคำจำกัดความของการเชื่อมที่หมายถึงกระบวนการในการต่อโลหะให้ติดกัน โดยอาศัยความร้อนให้ชิ้นงานหลอมเหลวประสานเข้าด้วยกัน ซึ่งจะใช้ลวดเชื่อมหรือไม่ก็ได้ ใช้แรงกดหรือไม่ก็ได้ ดังนั้นการเชื่อมจึงทำได้หลายกระบวนการ

สำหรับกระบวนการเชื่อมที่ใช้อยู่ในงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ไม่สามารถแยกประเภทว่าวิธีใดที่ทุกคนยอมรับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด ในการแยกประเภทของกระบวนการเชื่อมโลหะ โดยปกติสามารถแยกออกเป็นหมวดใหญ่ๆ หลายกระบวนการ คือ กระบวนการเชื่อมหลอม (Fusion Welding) โดยใช้แรงกด (Pressure Welding) การบัดกรี (Soldering) และกระบวนการอื่นๆ ซึ่งสมาคมการเชื่อมของอเมริกา (AWS) ได้รวบรวมไว้โดยแบ่งเป็นกระบวนการเชื่อมและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกระบวนการย่อยๆ อีกมากกว่า 50 กระบวนการ ดังต่อไปนี้ [6]

1. การเชื่อมแก๊ส
 - 1.1 การเชื่อมออกซี-ไฮโดรเจน
 - 1.2 การเชื่อมแก๊สใช้แรง
 - 1.3 การเชื่อมอะเซทิลีน-อากาศ
 - 1.4 การเชื่อมออกซี-อะเซทิลีน
2. การบัดกรีแข็ง
 - 2.1 การบัดกรีแข็งด้วยการอาร์ค
 - 2.2 การบัดกรีแข็งเป็นกลุ่ม
 - 2.3 การบัดกรีแข็งแบบจุ่ม
 - 2.4 การบัดกรีแข็งแพร่
 - 2.5 การบัดกรีแข็งแบบโพล
 - 2.6 การบัดกรีแข็งในเตา
 - 2.7 การบัดกรีแข็งเหนียวน้ำ
 - 2.8 การบัดกรีแข็งด้วยเปลวไฟ
 - 2.9 การบัดกรีแข็งด้วยความต้านทาน
 - 2.10 การบัดกรีแข็งอินฟาเรด
 - 2.11 การบัดกรีแข็งคาร์บอนอาร์ค
3. กระบวนการเกี่ยวเนื่อง
 - 3.1 การพ่นพอกด้วยความร้อน

- การพ่นอกด้วยพลาสมา
- การพ่นพอกด้วยเปลวไฟ
- การพ่นพอกด้วยอาร์ค

3.2 การตัดด้วยความร้อน

3.2.1 การตัดด้วยออกซิเจน

- การตัดแก๊สด้วยออกซิ-อะเซทิลีน
- การตัดแก๊สด้วยออกซิ-ไฮโดรเจน
- การตัดแก๊สด้วยออกซิ-แก๊สธรรมชาติ
- การตัดแก๊สด้วยออกซิ-โพรเพน
- การตัดใช้ฟลักซ์เคมี
- การตัดใช้ผงเหล็ก
- การตัดด้วยอาร์คออกซิเจน
- การตัดใช้แลนซ์ออกซิเจน

3.2.2 การตัดด้วยอาร์ค

- การตัดอาร์คทั้งสแตนเลสคลุม
- การตัดอาร์คโลหะแก๊สคลุม
- การตัดอาร์คคาร์บอน
- การตัดอาร์คคาร์บอน-อากาศ
- การตัดด้วยลวดหุ้มฟลักซ์
- การตัดพลาสมา
- การตัดอาร์คโลหะ

3.2.3 การตัดชนิดอื่นๆ

- การตัดลำเลเซอร์
- การตัดลำอิเล็กตรอน

3.3 การต่อด้วยการ

4. การเชื่อมด้วยความต้านทาน

4.1 การเชื่อมอัมเพส

4.2 การเชื่อมตะเข็บ

4.3 การเชื่อมแบบจุด

4.4 การเชื่อมโพรเจกชัน

- 4.5 การเชื่อมชนราบ
- 4.6 การเชื่อมกระแทก
- 4.7 การเชื่อมความต้านทานที่สูง
- 5. การเชื่อมอาร์ค
 - 5.1 การเชื่อมสลัก
 - 5.2 การเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์
 - 5.3 การเชื่อมอาร์คพลาสมา
 - 5.4 การเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม
 - 5.5 การเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสกลุ่ม
 - อาร์คฟิลล์
 - 5.6 การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สกลุ่ม
 - การเชื่อมมิก
 - การเชื่อมแม็ก
 - อิเล็กโตรแก๊ส
 - อาร์คฟิลล์
 - อาร์คคัตวจน
 - 5.7 การเชื่อมด้วยไฮโดรเจนอะตอม
 - 5.8 การเชื่อมอาร์คลวดเปลือย
 - 5.9 การเชื่อมอาร์คลวดไส้ฟลักซ์
 - 5.10 การเชื่อมอาร์คคาร์บอน
 - ใช้แก๊ส
 - ใช้สารพอกหุ้ม
 - ใช้แท่งคู่
- 6. การเชื่อมในสถานะของแข็ง
 - 6.1 การเชื่อมอัลตราโซนิก
 - 6.2 การเชื่อมหมุน
 - 6.3 การเชื่อมกดร้อน
 - 6.4 การเชื่อมกดเสียดทาน
 - 6.5 การเชื่อมตีทุบ
 - 6.6 กดระเบิด

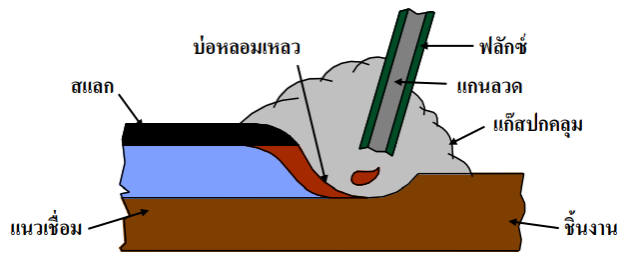
- 6.7 การเชื่อมแพรว
- 6.8 การเชื่อมกดเย็น
- 7. การบัดกรี
 - 7.1 การบัดกรีด้วยเปลวไฟ
 - 7.2 การบัดกรีด้วยคลื่นน้ำโลหะเหลว
 - 7.3 การบัดกรีด้วยความต้านทาน
 - 7.4 การบัดกรีด้วยหัวแรง
 - 7.5 การบัดกรีด้วยอินฟาเรด
 - 7.6 การบัดกรีในเตา
 - 7.7 การบัดกรีในเตาเหนี่ยวนำ
 - 7.8 การบัดกรีแบบจุ่ม
- 8. การเชื่อมแบบอื่นๆ
 - 8.1 การเชื่อมเทอร์มิต
 - 8.2 การเชื่อมเหนี่ยวนำ
 - 8.3 การเชื่อมเลเซอร์
 - 8.4 การเชื่อมแบบโพล
 - 8.5 การเชื่อมอิเล็กโทรสแลก
 - 8.6 การเชื่อมลำอิเล็กตรอน

2.3.2 กระบวนการเชื่อมแบบต่างๆ

จะเห็นว่ากระบวนการเชื่อมมีมากมายหลายกระบวนการที่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม ในหน่วยนี้จะนำเฉพาะกระบวนการเชื่อมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มากล่าวถึงหลักการและกรรมวิธีการทำงานของกระบวนการอย่างย่อๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้กระบวนการเชื่อมให้เหมาะสมกับลักษณะงาน

2.3.2.1 การเชื่อมอาร์คสวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding : SMAW)

การเชื่อมอาร์คสวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) หมายถึงกระบวนการเชื่อมที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับงาน ทำให้ลวดเชื่อมและชิ้นงานบริเวณอาร์คหลอมเหลวรวมตัวกันเป็นแนวเชื่อม ส่วนฟลักซ์หุ้มจะกลายเป็นแก๊สและสแลกปกคลุมแนวเชื่อมจากบรรยากาศภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงหลักการเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

อุปกรณ์ที่ใช้ เครื่องเชื่อมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟเชื่อมให้เหมาะสมต่อการเชื่อม มีทั้งแบบกระแสไฟตรง (DC) และกระแสไฟสลับ (AC) กระแสไฟถูกส่งมาตามสายเชื่อมและสายดิน ระหว่างเชื่อมจะควบคุมการเชื่อมด้วยหัวจับลวดเชื่อม ลวดเชื่อมที่นิยมใช้กันอยู่มีหลายชนิด แบ่งออกตามชนิดของโลหะเชื่อม ชนิดของฟลักซ์หุ้มและมีขนาดความโตลวดต่าง ๆ กัน อุปกรณ์ในการเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

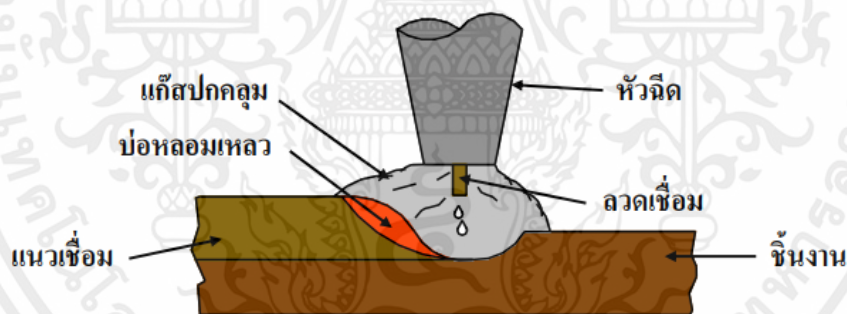
การนำไปใช้งาน เป็นกระบวนการเชื่อมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายอย่างมากในปัจจุบัน สามารถเชื่อมโลหะในกลุ่มเหล็กและนอกกลุ่มเหล็กได้แทบทุกชนิด ใช้เชื่อมโลหะที่มีความหนาตั้งแต่ 1.2 มิลลิเมตร ขึ้นไปโดยไม่จำกัดความหนาและเชื่อมได้ทุกตำแหน่งท่าเชื่อม เช่น โครงสร้างอาคารสะพาน งานต่อเรือ งานโครงสร้างและงานซ่อมบำรุงเครื่องมือเครื่องจักรกล ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการเชื่อมงานโครงสร้างขนาดใหญ่

2.3.3 การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Shielded Metal Arc Welding : GMAW)

เป็นกระบวนการเชื่อมโดยวิธีการอาร์คอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งความร้อนที่ได้จะเกิดจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมที่ป้อนเข้ามาแบบต่อเนื่องหรือแบบสั่นเปลืองกับชิ้นงานและจะมีแก๊สปล่อยออกมาเพื่อปกคลุมแนวเชื่อมขณะอาร์ค ป้องกันการรวมตัวจากบรรยากาศภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.6

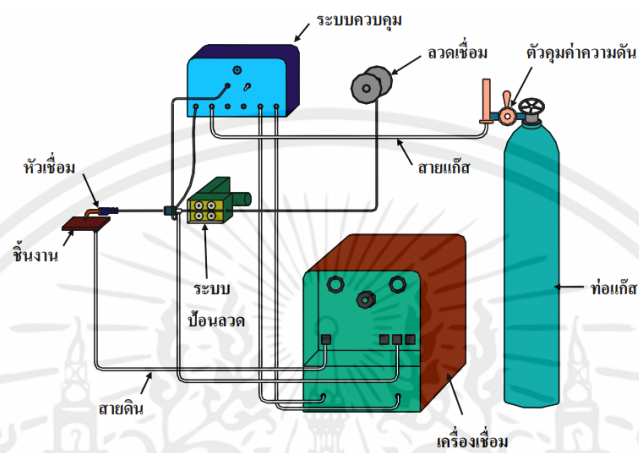


รูปที่ 2.6 แสดงหลักการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม

กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมจะแบ่งตามชนิดของแก๊สปกคลุม ดังนี้

2.3.2.1 การเชื่อมมิก (Metal Inert-Gas : MIG) ใช้แก๊สเฉื่อย จะเป็นอาร์กอนหรือฮีเลียมหรือแก๊สผสมเป็นแก๊สปกคลุม สามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิดโดยเฉพาะโดยเฉพาะโลหะที่เชื่อมยาก เช่น อะลูมิเนียม แมกนีเซียม เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นต้น

2.3.2.2 การเชื่อมแม่เหล็ก (Metal Active-Gas : MAG) แก๊สปกคลุมใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ใช้เชื่อมเฉพาะเหล็กกล้า นิยมใช้เชื่อมเหล็กบางจึงใช้กับลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็ก อุปกรณ์ประกอบต่างๆที่ใช้ในการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม

โดยการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมจะมีคุณลักษณะดังนี้

1. มีการอาร์คที่รุนแรง อาร์คได้เรียบ จึงทำให้เชื่อมได้ง่าย
2. ลวดเชื่อมมีอัตราการหลอมเหลวสูง ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมสูง
3. ไม่มีสเปกในการเชื่อม จึงทำความสะอาดแนวเชื่อมได้ง่าย
4. แนวเชื่อมที่ได้รับความเหนียว มีอำนาจการยึดหยุ่น ไม่ไวต่อการเกิดรอยร้าว
5. สามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิดและอาจเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม

เครื่องเชื่อมที่ใช้ จะเป็นเครื่องสำหรับลวดเชื่อมชนิดสั่นเปลี่ยน ชนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่หรือ (Constant Voltage : CV) แรงเคลื่อนทางออกจะต้องคงที่ตลอดเวลา ไม่ว่ากระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปขนาดใดก็ตาม เครื่องเชื่อมที่ใช้มีทั้งแบบหม้อแปลงเรกติไฟเออร์ หรือแบบมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์ โดยลักษณะของเครื่องเชื่อม ชนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่นั้นจะไม่มีตัวควบคุมหรือปรับกระแสไฟฟ้า จึงไม่สามารถนำมาใช้กับการเชื่อมอาร์คด้วย ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ได้ อีกทั้งกระแสที่จ่ายออกมาอาจถูกควบคุมด้วยโวลต์ที่ป้อนเข้าไปและความเร็วของการป้อน ลวดเชื่อม โดยปกติแล้วการเชื่อมจะต่อลวดเชื่อมเข้ากับขั้วบวก ซึ่งปัจจุบันจะมีการผลิตหลายขนาด

เครื่องป้อนลวดเชื่อม แบบการป้อนลวดเชื่อม ระบบการป้อนลวดเชื่อมจะต้องมีความสัมพันธ์กัน เพราะ การเชื่อมแบบแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อัตราการหลอมเหลวของลวดเชื่อมกับขนาดของกระแสไฟที่ใช้ทำการเชื่อมต้องมี

ความสัมพันธ์กับความเร็วของการป้อนลวดเชื่อม เพื่อรักษาการอาร์คให้คงที่ตลอดเวลา อัตราความเร็ว การป้อนลวดเชื่อมจะเป็นตัวที่กำหนดขนาดของกระแสไฟฟ้าของการอาร์ค ดังนั้นในระบบการเชื่อมแบบแรงเคลื่อนคงที่จึงเป็นระบบที่ควบคุมตัวเองได้ดี

หัวเชื่อม ชุดสายประกอบกับหัวเชื่อม จะใช้เป็นทางเดินของลวดเชื่อม กระแสไฟเชื่อมและแก๊สสำหรับปกคลุมแนวเชื่อม รุนำลวดเชื่อมจะอยู่ตรงกลางในปลอกหัวเชื่อม ซึ่งจะมีแก๊สสำหรับปกคลุมไหลผ่านออกโดยรอบขณะเกิดการอาร์ค หัวเชื่อมถูกถือให้ใกล้กับงานพอที่จะสามารถควบคุมการอาร์คของลวดเชื่อมได้ดี และเพื่อที่จะให้แก๊สปกคลุมได้อย่างทั่วถึง หัวเชื่อมมีทั้งหล่อเย็นด้วยน้ำและหล่อเย็นด้วยอากาศ

แก๊สปกคลุม เป็นแก๊สที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อม เพื่อป้องกันบรรยากาศจากภายนอก เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สไฮโดรเจน ไม่ให้ไปรวมตัวกับแนวเชื่อม เพื่อให้แนวเชื่อมที่ได้มีคุณภาพสูง แก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อม คือ แก๊สอาร์กอน แก๊สฮีเลียมหรือเป็นแก๊สผสม ซึ่งจะใช้สำหรับการเชื่อมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ใช้สำหรับการเชื่อมเหล็ก

ลวดเชื่อม ลวดเชื่อมที่ใช้จะต้องสัมผัสกับโลหะงานที่จะเชื่อม ขนาดของลวดเชื่อมที่ใช้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการเชื่อมและตำแหน่งท่าเชื่อมเป็นสำคัญ ลวดเชื่อมที่ใช้งานจะเป็นแบบเปลือกแข็งเปลือย ลวดเชื่อมชนิดเหล็กกล้าคาร์บอน โดยจะเคลือบผิวด้วยทองแดงเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและถูกเตรียมไว้ในล้อที่สวมเข้ากับเครื่องพอดีและบรรจุไว้ในกล่องเพื่อป้องกันการเสื่อมจากการเก็บรักษา



รูปที่ 2.8 แสดงการใช้การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมเชื่อมงาน

2.3.3 การเชื่อมอาร์คทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Shielded Tungsten Arc Welding : GTAW)

การเชื่อมอาร์คทังสเตนแก๊สคลุม โดยทั่วไปเรียกว่า การเชื่อมทิก เป็นกระบวนการเชื่อมโดยการอาร์คชนิดหนึ่ง ซึ่งได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างแท่งทังสเตนกับชิ้นงาน ใช้แก๊สเฉื่อยหรือแก๊สเฉื่อยผสม เพื่อปกคลุมแนวเชื่อมในขณะอาร์ค เพื่อป้องกันการรวมตัวจากบรรยากาศภายนอก แท่งทังสเตนจะได้ไม่เกิดการสั่นเปลี่ยนขึ้น แนวเชื่อมอาจเต็มลวดเชื่อมหรือไม่ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

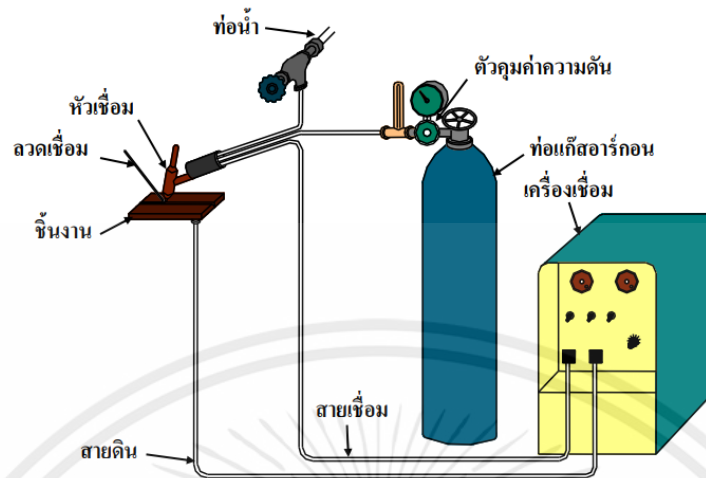


รูปที่ 2.9 แสดงหลักการเชื่อมอาร์คทังสเตนแก๊สคลุม

2.3.3.1 ข้อดีของกระบวนการการเชื่อมทิก

1. สามารถป้อนลวดเชื่อมเข้าไปในบริเวณการอาร์ค โดยไม่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟเชื่อม การหลอมลึกในแนวเชื่อมทำได้ตามขนาดที่ต้องการ จึงทำให้สามารถเชื่อมได้ทั้งโลหะที่หนาและบาง
2. แนวเชื่อมและโลหะชิ้นงานบริเวณใกล้เคียงมีคุณภาพดี
3. ไม่มีสเปกและสะเก็ดโลหะกระเด็น ทำความสะอาดง่าย
4. ลวดเชื่อมไม่เป็นตัวอาร์คจึงไม่มีสะเก็ดโลหะ
5. การเชื่อมสามารถเชื่อมได้ทุกตำแหน่งท่าเชื่อม

กระบวนการเชื่อมทิก นิยมใช้ในการเชื่อมแนวแรก (Root Pass) ของงานเชื่อมที่ต้องการคุณภาพสูง เนื่องจากหลังการเชื่อมจะไม่เกิดสเปกและแนวเชื่อมมีความสะอาดสูง จึงเหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะต่างๆ ดังนี้ คือ อะลูมิเนียม แมกนีเซียม สแตนเลส ซิลิคอน บรอนซ์ นิกเกิล ทองแดงและเงินนิกเกิล เป็นต้น อุปกรณ์การเชื่อมทิกดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสแก๊สคลุม

อุปกรณ์ที่ใช้ เครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อมทิก เป็นเครื่องที่ออกแบบพิเศษซึ่งมีทั้งชนิด กระแสตรงและกระแสสลับและสามารถเชื่อมได้ทั้งแบบ DCEN และ DCEP ซึ่งมักจะมีระบบการผลิตความถี่สูง รวมอยู่ด้วย ในส่วนของกรณีที่ใช้เชื่อมกระแสสลับระบบความถี่สูงจะถูกใช้งานอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าเป็นการเชื่อมด้วย กระแสตรงจะถูกนำมาใช้ในการเริ่มต้นอาร์ค และในการเลือกใช้ชนิดของกระแสไฟขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะชิ้นงาน ที่นำมาเชื่อม อะลูมิเนียมและแมกนีเซียมใช้กระแสสลับในการเชื่อม ส่วนกระแสตรงใช้เชื่อมสแตนเลส เหล็กหล่อ เหล็กเหนียว ทองแดง เงิน นิกเกิล และนิกเกิลผสม

ทอร์ชเชื่อม ทำหน้าที่เป็นตัวจับแท่งทั้งสแตน และเป็นที่พักแก๊สเพื่อปกคลุมแนวเชื่อมขณะอาร์คโดยตรง และเป็นตัวรับกระแสไฟที่ใช้ในการอาร์คซึ่งมีทั้งชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศและระบายความร้อนด้วยน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟเชื่อมที่ใช้แต่ชนิดที่หล่อเย็นด้วยน้ำจะนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน

แท่งทั้งสแตน ทำหน้าที่ในการอาร์คเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูง แท่งทั้งสแตนจึงไม่เกิดการ หลอมเหลวขณะเกิดการอาร์ค ขณะใช้งานปลายแท่งทั้งสแตนจะอยู่เหนือบ่อหลอมเหลวและทำการอาร์คกับชิ้นงาน แท่งทั้งสแตนที่ใช้จะมีหลายชนิด มีทั้งทั้งสแตนบริสุทธิ์ ซึ่งเหมาะสำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียม ส่วนเชื่อมผสมทองเหลือง เหมาะสำหรับการเชื่อมเหล็กต่างๆ และใช้งานได้นาน

ลวดเติม กระบวนการเชื่อมทิกจะใช้ลวดเติมหรือไม่ก็ได้ ตามปกติแล้วถ้าเชื่อมโลหะบางจะไม่ใช่ลวดเติม ชนิดของลวดเชื่อมเติมที่ใช้ควรจะมีส่วนผสมที่ใกล้เคียงกับโลหะชิ้นงาน ขนาดของลวดเติมที่ใช้ขึ้นอยู่กับความหนา

ของชิ้นงาน และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ การป้อนลวดเติมโดยปกติ ผู้เชื่อมจะใช้มือป้อนเติม แต่บางครั้งอาจป้อนด้วยระบบอัตโนมัติ

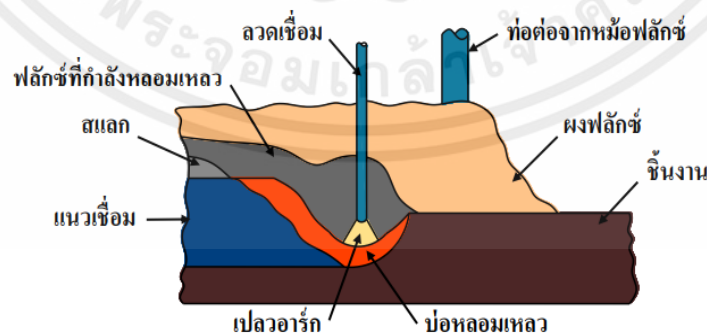
แก๊สปกคลุม แก๊สที่ใช้สำหรับการปกคลุม จะเป็นแก๊สอาร์กอนและแก๊สฮีเลียมหรือแก๊สผสม โดยปกติจะใช้แก๊สอาร์กอนมากกว่า เพราะสามารถหาได้ง่าย มีน้ำหนักมากกว่าและทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมได้ดีกว่า ให้อัตราการไหลของแก๊สต่ำ



รูปที่ 2.11 แสดงการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสสตีล

2.3.4 การเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding : SAW)

เป็นกระบวนการเชื่อมด้วยการอาร์คชนิดหนึ่ง ซึ่งโลหะหลอมเหลวติดกันโดยอาศัยความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมเคลื่อนที่กับโลหะงานและแนวเชื่อมจะถูกปกคลุมด้วยฟลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

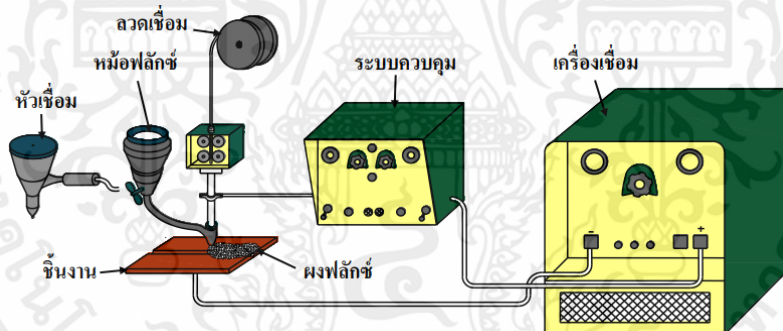


รูปที่ 2.12 แสดงหลักการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์

2.3.4.1 ลักษณะสำคัญของการเชื่อมใต้ฟลักซ์

1. ให้อัตราความเร็วในการเชื่อมสูง
2. มีการหลอมลึกสูง
3. มีอัตราการเติมโลหะลงในแนวเชื่อมสูง
4. สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันได้และเคาะสแลกออกง่าย
5. รูปร่างของแนวเชื่อมสม่ำเสมอ

ในการเชื่อม ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถมองเห็นการหลอมเหลวของงานขณะเกิดการอาร์คเพราะบริเวณการอาร์คจะถูกปกคลุมไปด้วยผงฟลักซ์ จึงไม่จำเป็นต้องใช้หน้ากากเชื่อม เหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะประเภทเหล็ก เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าคาร์บอนกลางและเหล็กกล้าไร้สนิม ใช้ในการเชื่อมพอกให้ได้ขนาดหรือเชื่อมพอกผิวแข็ง โลหะที่หน้าตั้งแต่เบอร์ 16 ถึงประมาณ $\frac{1}{2}$ นิ้ว สามารถเชื่อมได้โดยไม่ต้องบากหน้าชิ้นงาน อุปกรณ์การเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์

อุปกรณ์ที่ใช้ เครื่องเชื่อมที่ใช้เป็นเครื่องเชื่อมที่ออกแบบพิเศษ ใช้ได้ทั้งไฟกระแสสลับและกระแสตรง ซึ่งมีรอบทำงาน (Duty Cycle) 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะกระบวนการเชื่อมแบบนี้จะเชื่อมติดต่อกันเป็นระยะเวลานานเกินกว่า 10 นาที ในกรณีที่ใช้ไฟกระแสตรงใช้ได้ทั้งชนิดแรงเคลื่อนคงที่และชนิดกระแสคงที่ ชนิดแรงเคลื่อนคงที่เหมาะกับการใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็ก ส่วนชนิดกระแสคงที่ที่เหมาะสมสำหรับลวดเชื่อมขนาดใหญ่ ขนาดของเครื่องเชื่อมจะมีขนาดตั้งแต่ 200-1,200 แอมแปร์

เครื่องป้อนลวดเชื่อม ประกอบด้วยเครื่องควบคุม และระบบกลไกสำหรับป้อนลวดเชื่อมไปยังบริเวณการอาร์ค ซึ่งเครื่องเชื่อมชนิดกระแสคงที่เครื่องป้อนลวดเชื่อมชนิดที่ควบคุมแรงเคลื่อนให้อยู่ที่ค่าหนึ่งตลอดเวลาโดยอาศัยความเร็วของการป้อนลวดเป็นเครื่องควบคุม แต่ถ้าเป็นเครื่องเชื่อมชนิดแรงเคลื่อนคงที่ เครื่องป้อนลวดที่ใช้ต้องเป็นชนิดความเร็วคงที่ กระแสที่ถูกจ่ายจากเครื่องเชื่อมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของการป้อนลวดเชื่อม ส่วนค่าของแรงเคลื่อนสามารถปรับให้สูงหรือต่ำได้โดยปรับค่าที่เครื่องเชื่อม

หัวเชื่อม หัวปืนแบบปืนใช้สำหรับการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ ทำหน้าที่เป็นตัวนำลวดและผงฟลักซ์ไปยังบริเวณการอาร์ค โดยปกติอุปกรณ์บรรจุฟลักซ์จะติดอยู่กับหัวเชื่อมและจะเคลื่อนที่ปล่อยฟลักซ์ไปพร้อมๆกับการอาร์ค และส่วนในระบบการเชื่อมอัตโนมัติหัวเชื่อมจะเป็นแบบทอร์ชซึ่งติดอยู่กับมอเตอร์ของเครื่องป้อนลวด โดยอุปกรณ์ที่บรรจุฟลักซ์ติดอยู่กับทอร์ชอีกทีหนึ่ง การเชื่อมทั้งสองแบบนี้ จะต้องมีฟลักซ์ไหลป้อนไปยังแนวเชื่อมให้มากพอที่จะป้องกันบรรยากาศภายนอกได้

ฟลักซ์ที่ใช้ ขณะทำการเชื่อมจะมีฟลักซ์เป็นเม็ดเล็กๆ หลอมเหลวไหลปกคลุมแนวเชื่อมซึ่งทำหน้าที่ป้องกันบรรยากาศจากภายนอกไม่ให้เข้ามารวมตัวกับแนวเชื่อม และยังช่วยให้โลหะเชื่อมบริสุทธิ์ขึ้นและสามารถผสมธาตุบางอย่างรวมกับฟลักซ์เพื่อเพิ่มสมบัติให้กับแนวเชื่อม ซึ่งฟลักซ์ที่อยู่บนแนวเชื่อมที่ยังไม่หลอมเหลวจะสามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก โดยฟลักซ์ที่ใช้มีอยู่หลายชนิดและหลายเกรด ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะที่จะนำมาใช้และเข้ากับส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม

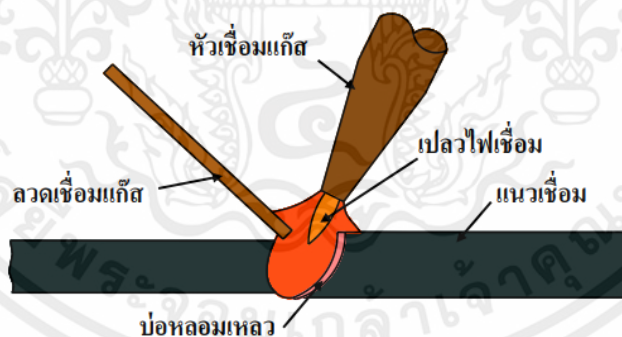
ลวดเชื่อม สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์คได้ฟลักซ์ จะเป็นลวดเชื่อมเปลือยต่อเนื่อง ผิวของลวดเชื่อมจะถูกเคลือบไว้ด้วยทองแดงเพื่อช่วยป้องกันการเกิดสนิมและลวดเชื่อมมีส่วนผสมของสารไดออกซิไดเซอร์ (Deoxidizers) ที่มีสมบัติช่วยขจัดสิ่งสกปรกออกจากโลหะงานทำให้แนวเชื่อมมีคุณภาพสูงและยังมีโลหะชนิดต่างๆ ผสมรวมอยู่ในลวดเชื่อมเพื่อช่วยทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.14 แสดงการเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์

2.3.5 การเชื่อมแก๊ส (Gas Welding)

เป็นกระบวนการเชื่อมหลอม (Fusion Welding) วิธีหนึ่ง ได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงกับแก๊สออกซิเจนหลอมโลหะให้ติดกัน โดยเติมลวดเชื่อมหรือให้เนื้อของโลหะหลอมเหลวประสานกันเอง โดยไม่ต้องเติมลวดเชื่อมก็ได้ สำหรับแก๊สเชื้อเพลิงมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น อะเซทิลีน ไฮโดรเจน โพรเพน มีเทน แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ แก๊สอะเซทิลีน เรียกการเชื่อมแบบนี้ว่า การเชื่อมอะเซทิลีน (Oxy-acetylene Welding) หลักการเชื่อมแก๊สดังแสดงในรูปที่ 2.15



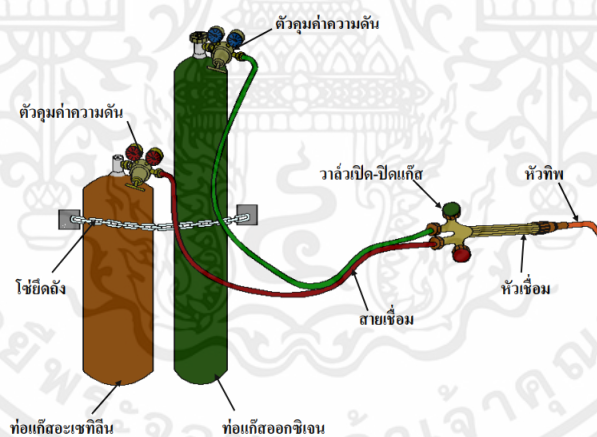
รูปที่ 2.15 แสดงหลักการเชื่อมแก๊ส

การนำไปใช้งานเป็นกระบวนการเชื่อมที่นิยมใช้กันทั่วไป เชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิด เชื่อมงานบางอย่างได้ดี ใช้เชื่อมโครงสร้างที่เป็นโลหะบาง งานท่อขนาดเล็ก ท่อน้ำบาง งานซ่อมสร้างทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงการเชื่อมแก๊ส

อุปกรณ์ที่ใช้ ท่อบรรจุแก๊สออกซิเจนความดันสูงและท่อเชื่อมแก๊สเชื้อเพลิง ตัวคุมค่าความดันของแก๊สทั้งสอง สายเชื่อม หัวเชื่อมเป็นอุปกรณ์สำหรับผสมแก๊สและกำเนิดเปลวไฟสำหรับการเชื่อม มีหัวทิฟเป็นตัวกำหนดปริมาณความร้อนและรูปร่างของเปลวไฟเชื่อม อุปกรณ์ทำความสะอาดหัวทิฟ อุปกรณ์จุดเปลวไฟ อุปกรณ์การเชื่อมแก๊สดังแสดงในรูปที่ 2.17

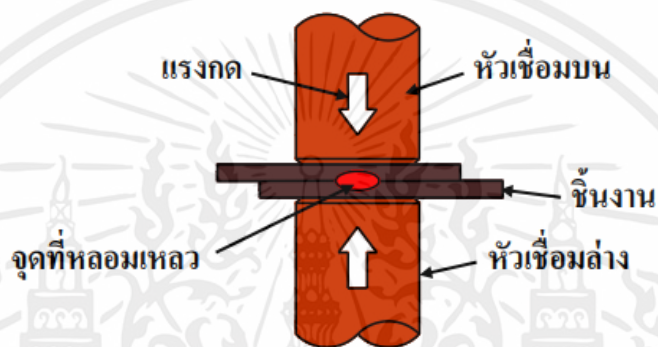


รูปที่ 2.17 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมแก๊ส

ลวดเชื่อม ลวดเชื่อมแก๊สเป็นลวดเติมมีลักษณะเป็นแท่งโลหะ ใช้เติมลงไปในแนวเชื่อม การเลือกใช้ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ลวดเชื่อมที่เป็นเหล็กมีส่วนผสมของธาตุเหล็กเป็นหลักและมีธาตุอื่นๆผสมอยู่ เช่น คาร์บอน แมงกานีส ซิลิคอน ใช้สำหรับการเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็ก ลวดเชื่อมที่ไม่ใช่เหล็กมีส่วนผสมของธาตุอื่นๆ เป็นหลักใช้เชื่อมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

2.3.6 การเชื่อมจุด (Resistance Spot Welding : RSW)

เป็นกระบวนการเชื่อมโดยอาศัยความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าของชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนขึ้น ชิ้นงานบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะเกิดการหลอมเหลว แล้วจึงใช้แรงกดให้ชิ้นงานติดกัน โดยองค์ประกอบสำคัญของการเชื่อมจุด คือ ปริมาณและระยะเวลาที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน พื้นที่หน้าตัดและแรงกดของหัวเชื่อมบนชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงหลักการเชื่อมจุด

อุปกรณ์ที่ใช้ เครื่องเชื่อมที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเชื่อมเป็นชนิดหม้อแปลง ซึ่งสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าในลักษณะแรงเคลื่อนต่ำ กระแสไฟฟ้าสูงผ่านหัวเชื่อมทั้ง 2 ข้าง ที่ทำด้วยโลหะที่เป็นตัวนำ แขนของหัวเชื่อมข้างหนึ่งจะมีกลไกต่อไว้สำหรับยกขึ้นและกดยึดชิ้นงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมจุด

การนำไปใช้งาน เป็นกระบวนการเชื่อมโลหะวิธีการหนึ่งที่ได้สะดวกและรวดเร็วมาก การบดของชิ้นงานน้อย ใช้กับชิ้นงานที่เป็นโลหะบาง เช่น งานประกอบตัวถังรถยนต์ ผลิตภัณฑ์งานโลหะแผ่น กรอบหรือโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการใช้งานการเชื่อมจุด

2.4 การศึกษามาตรฐานงานเชื่อม

2.4.1 สัญลักษณ์การเชื่อม

2.4.1.1 สัญลักษณ์การเชื่อม

ช่างเชื่อมจะสามารถทำงานได้คล่องแคล่วและรวดเร็ว เมื่อนำเอาวิธีการใช้สัญลักษณ์มาแทนรายละเอียดต่างๆ ที่จะใช้ในการเชื่อม สัญลักษณ์จะถูกเขียนไว้ในแบบงานซึ่งจะเป็นการบอกให้รู้กันทุกหน่วยงาน ทุกฝ่ายตั้งแต่ผู้ออกแบบถึงผู้ปฏิบัติงานเชื่อม โดยเป็นที่เข้าใจกันตามความมุ่งหมายเดียวกันทุกฝ่าย

สำหรับสัญลักษณ์ของการเชื่อมที่จะนำมากล่าวในที่นี้ เป็นแบบมาตรฐานของ AWS (American Welding Society) ซึ่งแบบมาตรฐานนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากเข้าใจได้ง่ายเป็นมาตรฐานสากล จึงสมควรที่ช่างเชื่อมหรือผู้ที่เกี่ยวข้องนี้จะต้องทราบรายละเอียดและทำความเข้าใจได้เป็นอย่างดี [7]

2.4.1.2 ส่วนประกอบของสัญลักษณ์งานเชื่อม

ความแตกต่างระหว่างสัญลักษณ์แนวเชื่อม และสัญลักษณ์การเชื่อม (Welding Symbols) คือสัญลักษณ์แนวเชื่อม หมายถึงสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องเฉพาะแนวเชื่อมเท่านั้น ส่วนสัญลักษณ์การเชื่อม หมายถึงสัญลักษณ์การเชื่อมที่ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 8 ส่วน หรือบางส่วนของจำเป็น [8]

สัญลักษณ์การเชื่อม ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 8 ส่วน คือ

- เส้นฐาน
- หัวลูกศร
- สัญลักษณ์แนวเชื่อมพื้นฐาน
- ขนาดและข้อมูลอื่น ๆ
- สัญลักษณ์เพิ่มเติม
- สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการแต่งผิวแนวเชื่อม
- หางลูกศร
- ข้อกำหนดรายละเอียด กรรมวิธีการเชื่อม หรือการอ้างอิงอื่นๆ

สัญลักษณ์ที่เป็นส่วนประกอบ 8 อย่างนี้ ส่วนที่ไม่ประสงค์จะกำหนดให้มีกับงานแต่ละอย่างก็ไม่จำเป็นต้องใส่ลงไปในหางลูกศร และเมื่อไม่ต้องการจะกำหนดรายละเอียดใดๆ ก็ไม่จำเป็นต้องเขียนหางลูกศรลงไป โดยส่วนประกอบทั้ง 8 เมื่อประกอบกัน เป็นสัญลักษณ์การเชื่อมจะต้องเขียนลงตามตำแหน่งนั้นๆ ที่กำหนดไว้ให้ ถูกต้องโดยส่วนต่างๆ ของสัญลักษณ์งานเชื่อมตามมาตรฐาน AWS มีดังนี้

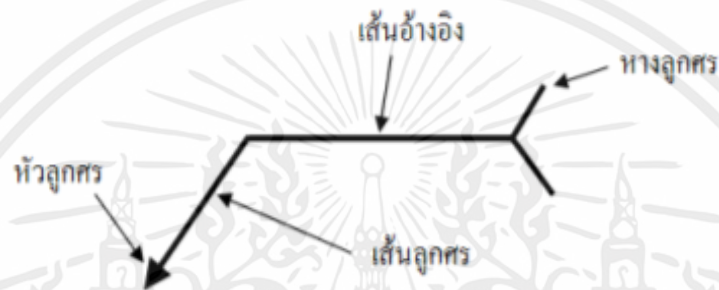


รูปที่ 2.21 ส่วนต่างๆ ของสัญลักษณ์งานเชื่อมตามมาตรฐาน AWS

โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของสัญลักษณ์งานเชื่อมดังนี้

1. ส่วนหัวลูกศร แสดงตำแหน่งที่ทำการเชื่อม
2. ส่วนกลางลูกศรเป็นเส้นอ้างอิง แสดงสัญลักษณ์แนวเชื่อมพื้นฐาน
3. ส่วนหางลูกศร แสดงรายละเอียดของกระบวนการเชื่อมและข้อมูล อ้างอิงต่างๆ ส่วนต่างๆ ของสัญลักษณ์

งานเชื่อมตามมาตรฐาน AWS



รูปที่ 2.22 ส่วนประกอบที่สำคัญของสัญลักษณ์งานเชื่อมตามมาตรฐาน AWS

2.4.1.3 สัญลักษณ์การเชื่อมพื้นฐานและตำแหน่งความสำคัญ

ก่อนที่จะไปดูสัญลักษณ์ต่างๆ ในการเชื่อม เราควรที่จะมาทำความเข้าใจสัญลักษณ์ว่าแต่ละส่วนมีไว้เพื่อ บอกอะไร หมายถึงอะไร เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้เข้าใจตรงกัน

1. ลูกศร (Arrow)

ประกอบด้วย เส้นลูกศรหรือ เส้นชี้หน้า (Leader Line) และหัวลูกศร (Arrow Head) สังเกตได้จากรูปที่

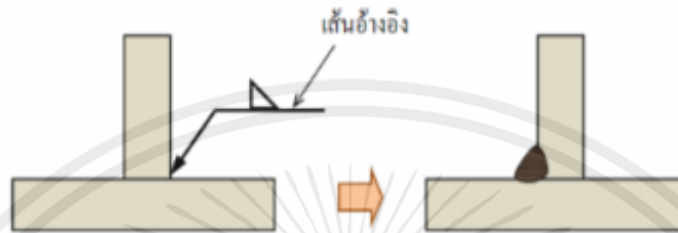
2.23 จะเห็นได้ว่าลูกศรจะชี้ไปยังตำแหน่งรอยต่อของชิ้นงานที่จะทำการเชื่อม



รูปที่ 2.23 ลูกศร

2. เส้นอ้างอิง (Reference Line)

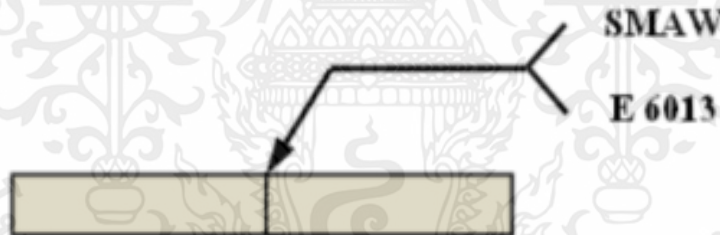
เป็นเส้นลำตัวลูกศร วางตำแหน่งอยู่ทางด้านข้างของรอยต่อ การกำหนดสัญลักษณ์งานเชื่อมที่เส้นอ้างอิงจะเป็นดังรูปที่ 2.24 โดยที่สัญลักษณ์อยู่ด้านบนเส้นอ้างอิง



รูปที่ 2.24 เส้นอ้างอิง

3. หางลูกศร (Tail)

เป็นส่วนท้ายของลูกศรต่อจากเส้นอ้างอิง ใช้แสดงข้อมูลเพิ่มเติม ในการกำหนด กระบวนการเชื่อม หรือรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับ การเชื่อม มาตรฐาน ข้ออ้างอิงและข้อกำหนดต่างๆ



รูปที่ 2.25 หางลูกศร

4. สัญลักษณ์รอยเชื่อม

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์รอยเชื่อม

สัญลักษณ์ของรอยเชื่อม										
การแต่งขอบงาน		เชื่อมต่อชนบากร่อง(Groove)					เชื่อมมุม (Fillet)	เชื่อมจุด (Plug of- Spot)	เชื่อมจุด หรือจุด ต่อเนื่อง (Spotor)	เชื่อม ตะเข็บ (seam)
เชื่อมชน หน้าเหลี่ยม	ต่อชนบาก ตัว V	ต่อชนบาก ครึ่ง V	ต่อชนตัว Y	ต่อชนครึ่ง U	ต่อชนตัว V โค้ง	ต่อชนครึ่ง V โค้ง				
	∇	∇	Y	U	)(	(V โค้ง	△	□	○	⊗
เชื่อมทับ ด้านหลัง	เชื่อมพอก ด้านหน้า	เชื่อมขอบ (Flange)		เชื่อมรอบ ให้สมบูรณ์	เชื่อมใน สถานที่ ก่อสร้าง	รอยซึมลึก ด้านล่าง	เชื่อมมุม			
		เชื่อมขอบ ริม	เชื่อมขอบ มุม				หน้าเรียบ	หน้าโค้งนูน	หน้าเว้า	
⌒	⌒	⌒	⌒	⌒	⌒	⌒	—	⌒	⌒	⌒

นอกจากสัญลักษณ์ตามที่ระบุในตารางแล้วยังมีสัญลักษณ์ระบุรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

4.1 สัญลักษณ์การเชื่อมรอบ เป็นลักษณะของการเชื่อมโดยรอบชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การเชื่อมรอบชิ้นงาน

4.2 สัญลักษณ์แสดงจุดที่จะทำการเชื่อมอยู่นอกสถานที่ ซึ่งจะเป็นบริเวณที่ทำการเชื่อมประกอบหรือการปฏิบัติงานภาคสนาม



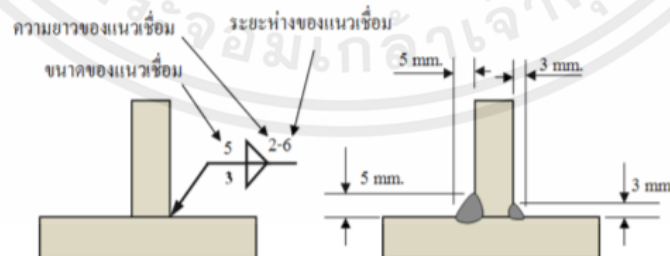
รูปที่ 2.27 สัญลักษณ์แสดงจุดที่จะทำการเชื่อมอยู่นอกสถานที่

5. การกำหนดขนาดและข้อมูลอื่นๆ

เป็นการกำหนดขนาดของรอยต่อและข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแนวเชื่อม เช่น มุมบากของรอยต่อชิ้นงาน การเว้นระยะห่างของชิ้นงาน ขนาดความ ยาวของแนวเชื่อม ดังรูปที่ 2.28 และการกำหนดขนาดและข้อมูลต่างๆ ของแนวเชื่อมมุมดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างการกำหนดขนาดมุมบากรอยต่อชิ้นงาน



รูปที่ 2.29 การกำหนดขนาดและข้อมูลต่างๆของแนวเชื่อม

ตารางสัญลักษณ์แนวเชื่อมพื้นฐานและตำแหน่งที่สำคัญตามมาตรฐาน AWS ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สัญลักษณ์แนวเชื่อมพื้นฐานและตำแหน่งที่สำคัญตามมาตรฐาน AWS

สัญลักษณ์แนวเชื่อมพื้นฐานตามมาตรฐาน AWS								
ตำแหน่ง	เชื่อมต่อฉาก	เชื่อมปลั๊กและสก็อต	เชื่อมจุด	เชื่อมสลัก	เชื่อมตะเข็บ	เชื่อมปิดหลัง	เชื่อมพอกผิว	เชื่อมขอบ
ด้านหัวลูกศรชี้								
ตรงกันข้ามหัวลูกศรชี้				-			-	
สองด้าน		-	-	-	-	-	-	
ไม่ระบุด้าน	-	-		-		-	-	-
ตำแหน่ง	ร่องบาก							เชื่อมทาบแนว
	ต่อชนด้านขนาน	บากร่องตัววี	บากร่องเอียง	บากร่องตัวยู	บากร่องตัวเจ	ขอบโค้งสองด้าน	ขอบโค้งด้านเดียว	
ด้านหัวลูกศรชี้								
ตรงกันข้ามหัวลูกศรชี้								
สองด้าน								
ไม่ระบุด้าน		-	-	-	-	-	-	-

2.4.2. การเตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อมและการทำความสะอาด

2.4.2.1 การเตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อม

คุณภาพของงานเชื่อม นอกจากจะได้จากทักษะในการเชื่อมที่ดีแล้ว ยังได้จากการเตรียม ชิ้นงานที่ถูกต้องตามลักษณะของงาน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วชิ้นงานที่จะนำเชื่อมจะต้องทำความสะอาดสิ่งสกปรก เช่น สนิม คราบน้ำมันจารบี สีหรืออื่นๆ ออกให้หมดเพราะจะเป็นผลเสียต่อชิ้นงาน

2.4.2.2 การทำความสะอาดระหว่างดำเนินการ

ก่อนที่จะทำการเชื่อมกับโลหะที่สะสมไว้ก่อนหน้านี้ จะต้องขจัดเศษโลหะ (Slag) ทั้งหมดออก และทำความสะอาดรอยเชื่อมและฐานโลหะที่อยู่ติดกัน

ข้อกำหนดนี้จะต้องใช้ไม่เพียงแต่กับชั้นที่ต่อเนื่องกันเท่านั้น แต่ยังรวมถึงแนวเชื่อมที่ต่อเนื่องกันและกับบริเวณแอ่งเมื่อเริ่มการเชื่อมต่อการเชื่อมหลังจากการหยุดชะงักใดๆ อย่างไรก็ตาม จะต้องไม่จำกัดการเชื่อมรูปแบบปลั๊ก

2.4.2.3 การทำความสะอาดรอยเชื่อมที่เสร็จสมบูรณ์

เศษโลหะ (Slag) จะถูกลบออกจากรอยเชื่อมที่เสร็จสมบูรณ์ทั้งหมด รวมถึงรอยเชื่อมและฐานโลหะที่อยู่ติดกันจะต้องทำความสะอาดด้วยการแปรงหรือวิธีการอื่นที่เหมาะสม การกระเด็นที่เกาะติดแน่นที่เหลืออยู่หลังจากการดำเนินการทำความสะอาดเป็นที่ยอมรับ เว้นแต่จำเป็นต้องถอดออกเพื่อวัตถุประสงค์ในการทดสอบแบบไม่ทำลาย ห้ามทาสีรอยเชื่อมจนกว่าการเชื่อมจะเสร็จสิ้นและยอมรับการเชื่อม

2.4.2.4 การทำความสะอาดแนวเชื่อมในท่อ ท่อขนาดไม่เกิน 1 นิ้ว ในกรณีที่ต้องใช้ ในของท่อ (ใช้เป็นท่อส่งน้ำหรือของเหลว)

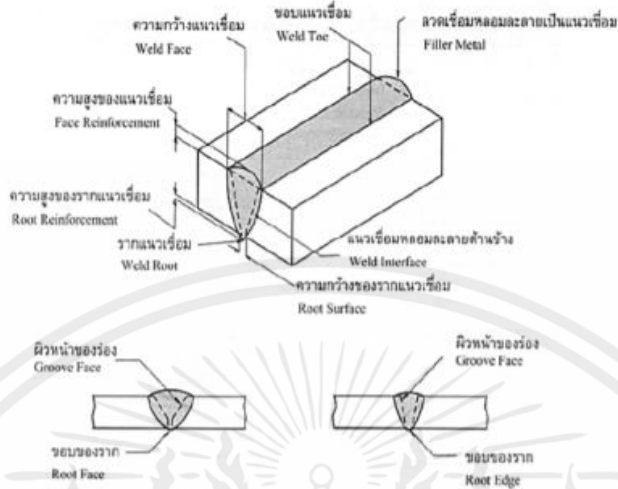
1. ใช้การทำความสะอาดทางเคมี : วิธีการแช่และวิธีการขัดถู สามารถใช้อะซิโตนน้ำมันเบนซินน้ำมันก๊าด และฟีนอลตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ กับน้ำมันได้โดยใช้สารละลาย NaOH ประมาณ 40 °C ~ 70 °C 5 ถึง 10% สารละลาย alkaline 3 นาที ~ 7 นาที (เวลาอุณหภูมิเบสิคสั้นกว่า แต่ไม่เกิน 20 นาที) ล้างน้ำแล้วล้างออกด้วยอุณหภูมิห้อง 60 °C 30% HNO₃ สารละลายดอง 1 นาที ~ 3 นาทีล้างน้ำที่ไหลแห้งหรือแห้งอุณหภูมิต่ำ

**** คำแนะนำเพิ่มเติม** การทำความสะอาดรอยเชื่อมและตะกรันในท่อที่ร้อน เช่าโซไปมาหรือเติมด้วยก้อนกรวด และเขย่ามันทั้งหมดขึ้นอยู่กับความยาวและความยากของการเข้าถึงพื้นที่เชื่อม หรือสามารถใช้แปรงขนาดเล็กๆ

2.4.2.5 การบากร่องรอยต่อ

ในการเชื่อมงาน แนวเชื่อมจะต้องมีความแข็งแรงเท่ากับหรือมากกว่าชิ้นงานที่นำมาเชื่อม แนวเชื่อมจะต้องมีการหลอมละลายตลอดความหนาของงาน ถ้าชิ้นงานไม่หนามากนักก็สามารถเชื่อมได้ทันที แต่ถ้าชิ้นงานมีความหนาเกินกว่า 3 มิลลิเมตรขึ้นไป จะต้องมีการบากร่องชิ้นงาน เพื่อเกิดการซึมลึกและได้เนื้อรอยเชื่อมที่มากพอที่จะทำให้เกิดความแข็งแรง ซึ่งการออกแบบการบากร่องนี้ จะทำการบากร่องแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานเป็นหลัก

การบากงาน (Groove Weld)



รูปที่ 2.30 การบากชิ้นงานก่อนเชื่อม

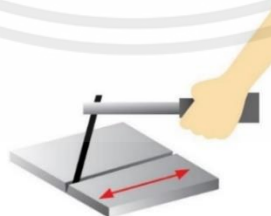
1. การบากร่อง ต้องเริ่มบากที่ความหนาเท่าไร บากลึกกี่เปอร์เซ็นต์ของความหนา

โดยปกติ ชิ้นงานที่หนา 3 – 4 มิลลิเมตร ขึ้นไปจะเริ่มทำการบากชิ้นงานเพื่อให้แนวเชื่อมนั้นสมบูรณ์มากขึ้น การเชื่อมได้สมบูรณ์ขึ้น โดยในการบากชิ้นงานนั้นจะทำการบากด้านละ 45 องศา ซึ่งถ้าเชื่อมติดกันก็จะอยู่ที่ 90 องศา ส่วนในกรณีชิ้นงานที่หนาอยู่ที่ 10 มิลลิเมตร การบากร่องก็จะทำการบากด้านละ 30-32 องศา เพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีการเชื่อมที่สมบูรณ์

2.4.3 ทำเชื่อม

ตำแหน่งการเชื่อม (Welding Position) แบ่งออกเป็น 4 ตำแหน่ง [9]

2.4.3.1 ท่าราบ (Flat Position) เป็นท่าเชื่อมมาตรฐานที่ง่ายที่สุด โดยเป็นการเชื่อมชิ้นงานซึ่งวางราบขนานอยู่บนพื้น



ตำแหน่งท่าราบ

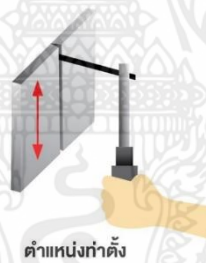
รูปที่ 2.31 ท่าราบ

2.4.3.2 ท่าขนานนอน (Horizontal Position) เป็นท่าเชื่อมแนวนอน ของงานที่วางขนานบนแนวตั้ง หรือเป็นผนัง ข้อควรระวังคือแรงดึงดูดของโลกจะทำให้เกิดรอยแห้ว (Undercut) บริเวณขอบด้านบนของรอยเชื่อมท่าขนานนอน (Horizontal Position)



รูปที่ 2.32 ท่าขนานนอน

2.4.3.3 ท่าตั้ง (Vertical Position) คล้ายกับท่าขนานนอน แต่เป็นท่าเชื่อมแนวตั้ง ของงานที่วางขนานบนแนวตั้ง หรือเป็นผนัง แรงดึงดูดของโลกจะทำให้เกิดรอยแห้วได้เช่นกันตามทิศทางการเชื่อม ลง หรือ ขึ้น



รูปที่ 2.33 ท่าตั้ง

2.4.3.4 ท่าเหนือศีรษะ (Overhead Position) เป็นท่าเชื่อมชิ้นงานที่อยู่เหนือศีรษะ ซึ่งทำหายที่สุดในบรรดางานเชื่อมทั้งหมด นอกจากข้อผิดพลาดหรือรอยแห้วจะเกิดขึ้นได้ง่าย ยังอาจเกิดอันตรายจากสะเก็ดไฟและเหล็กที่หลอมละลายอีกด้วย



รูปที่ 2.34 ท่าเหนือศีรษะ

2.4.4 การอุ่นชิ้นงาน (Preheat)

การอุ่นชิ้นงาน หมายถึง การให้ร้อนกับโลหะชิ้นงานที่จะเชื่อมให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยปกติจะทำเมื่อโลหะนั้นมีคุณสมบัติในการเชื่อมไม่ดี วัตถุประสงค์การอุ่นชิ้นงาน หรือโลหะที่มีความหนาแน่นมาก และเพื่อเป็นการลดความขึ้นบนผิวของชิ้นงาน โดยการกำหนดอุณหภูมิในการอุ่นชิ้นงานจะกำหนดให้มีอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานห่างแนวเชื่อมประมาณ 2-3 นิ้ว เมื่อก่อนการเชื่อม หลังจากการเชื่อมและก่อนที่จะเชื่อมในแนวเชื่อมถัดไป (Interpass) ในบางครั้งอาจจะระบุวิธีการอุ่นชิ้นงานด้วย เช่น ใช้ขดลวดไฟฟ้า ใช้หัวเผา เป็นต้น

การกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นชิ้นงานมักจะกำหนดโดยใช้มาตรฐานที่ใช้สำหรับออกแบบชิ้นงานนั้น และถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับทุกกระบวนการเชื่อม ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงไปกว่า 37 °C

การเพิ่มอุณหภูมิในการเชื่อมแนวถัดไป (Interpass Temperature) มากกว่า 30 °C สำหรับโลหะที่ต้องการทดสอบแรงกระแทก ถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญเพิ่มเติม [10]

2.4.4.1 การอุ่นชิ้นงานเพื่อการเชื่อม: สาเหตุและวิธีการอุ่นชิ้นงาน

การตัดสินใจที่จะอุ่นชิ้นงานเป็นสิ่งที่ช่างเชื่อมจะพิจารณาในโรงงานอุตสาหกรรม การอุ่นชิ้นงานขึ้นอยู่กับเกรดเหล็ก ความหนาของโลหะพื้นฐาน และการออกแบบ

2.4.4.2 การอุ่นชิ้นงานในการเชื่อมคืออะไร

คำนี้ค่อนข้างชัดเจนในตัวเอง เป็นการให้ความร้อนกับโลหะฐานใกล้กับรอยต่อก่อนทำการเชื่อม ทำให้ชิ้นงานอุ่นขึ้น

สำหรับเหตุผลของการอุ่นเครื่องในการเชื่อม มันทำให้อัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อมและโลหะที่อยู่ติดกันช้าลง ทำให้เกิดรอยต่อที่แข็งแรงขึ้นซึ่งต้านทานการแตกร้าว นอกจากนี้ยังช่วยลดความเครียดจากการหดตัวที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำความเย็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากข้อต่อเป็นส่วนหนึ่งของชุดประกอบที่มีการจำกัด แม้จะไม่มี การพิจารณาทางกลไกเหล่านี้ การอุ่นชิ้นงานจะมีผลในการขจัดความชื้นและคาร์บอนที่อาจส่งผลให้เกิดการหลอมละลายได้ไม่ดี มีกฎทั่วไปสองสามข้อเกี่ยวกับเกรดและความหนา โดยทั่วไป เกรดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีความหนาน้อยกว่าหนึ่งนิ้ว (25 มิลลิเมตร) ไม่จำเป็นต้องอุ่นล่วงหน้า แต่ควรเป็นอย่างน้อยที่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องมาตรฐาน นั่นหมายความว่าถ้าคุณทำงานนอกบ้านในวันที่อากาศเย็น อาจมีการพิจารณาการอุ่นชิ้นงานก่อน หากนำเหล็กไปเก็บไว้ข้างนอกและนำเข้าร้าน ต้องใช้เวลาในการอุ่นถึงอุณหภูมิห้อง หรือเวลานี้สามารถสั้นลงได้โดยการอุ่นล่วงหน้า เนื่องจากปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นสูงกว่า 0.20% คาร์บอนหรือโลหะผสม

เช่น โครเมียมหรือโมลิบดีนัม จะถูกเพิ่มเข้าไป หรือส่วนที่หนากว่าหนึ่งนิ้ว (25 มม.) ควรพิจารณาการอุ่นขึ้นงาน มีตารางและสมการที่ใช้คำนวณอุณหภูมิอุ่นขึ้นงานได้อย่างแม่นยำ โดยทั่วไปแล้ว สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนที่สูงกว่า การอุ่นขึ้นงานสูงสุดที่ 400 องศาฟาเรนไฮต์ (200 °C) เป็นที่ยอมรับได้ สำหรับเหล็กกล้าอัลลอยด์ 250 องศาฟาเรนไฮต์ (120 °C) จะทำอุ่นเครื่องจนถึงอุณหภูมิการเชื่อมต้องได้รับการควบคุมอย่างเหมาะสม

2.4.4.3 การอุ่นขึ้นงานอย่างไร

การอุ่นสามารถทำได้หลายวิธี สำหรับการเชื่อมในร้าน การใช้เปลวไฟจากโพลายโพรเพนเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปมากที่สุด มีข้อดีคือราคาถูกและใช้งานง่าย

อีกวิธีหนึ่งคือการใช้ปืนความร้อนซึ่งมักใช้ในการลอกสี หากคุณต้องการความแม่นยำมากกว่านี้ ผ้าห่มเซรามิกไฟฟ้าจะช่วยให้คุณหมุนอุณหภูมิที่ต้องการได้ คุณอาจพิจารณาใช้ผ้าห่มหุ้มฉนวนเพื่อปิดพื้นที่อุ่นเพื่อรักษาความร้อนหากคุณมีความล่าช้าหรือการหยุดชะงักระหว่างการดำเนินการเชื่อม

อุณหภูมิ Pre heat ระบุว่า 15 °C ในเอกสารระบุว่า 37 °C อายากทราบการ Pre heat จริงๆว่า เผาด้วยอุณหภูมิเท่าไร (คาดการณ์ว่า 200-250 °C)

2.4.4.4 ตารางแสดงอุณหภูมิในการอุ่นขึ้นงานของแต่ละกลุ่มเหล็ก

ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงอุณหภูมิในการอุ่นขึ้นงานของแต่ละกลุ่มเหล็ก

กลุ่มเหล็ก	คำอธิบายของเหล็ก		คาร์บอน	อุณหภูมิ Preheat °F.(°C)(a)	
				ขึ้นงานหนา 4 นิ้ว	
Carbon steels	AISI - SAE	1015	.13-.18	150°	(66°)
		1020	.18-.23	150°	(66°)
		1030	.28-.34	200°	(93°)
		1040	.37-.44	300°	(149°)
		1080	.75-.88	600°	(316°)
Manganese steels	AISI - SAE	1330	.28-.33	250°	(121°)
		1335	.33-.38	300°	(149°)
		1340	.38-.43	350°	(177°)
		1345	.43-.48	400°	(204°)

		1345H	.42-.49	400°	(204°)
Molybdenum Steels	AISI - SAE	4027H	.24-.30	250°	(121°)
		4032H	.29-.35	300°	(149°)
		4037H	.34-.41	350°	(177°)
		4042H	.39-.46	400°	(204°)
		4047H	.44-.51	450°	(232°)
Chrome Molybdenum Steels	AISI - SAE	4118	.17-.23	250°	(121°)
		4130	.27-.34	300°	(149°)
		4135	.32-.39	400°	(204°)
		4145	.41-.49	500°	(260°)
		4145H	.42-.49	500°	(260°)
Ni - Chrome Molybdenum And - Ni - Moly Steel	AISI - SAE	4340	.38-.43	500°	(260°)
		4615	.18-.18	250°	(121°)
		4620	.17-.22	250°	(121°)
		4720H	.17-.23	300°	(149°)
		4820H	.17-.23	300°	(149°)
Chromium steels	AISI - SAE	5015	.12-.17	200°	(93°)
		5046	.43-.48	450°	(232°)
		5115	.13-.18	200°	(93°)
		5145	.43-.48	450°	(232°)
		5160	.56-.64	550°	(288°)
Austenitic Manganese and	ASTM	11-14% Mn	.5-1.3	อุ่นชิ้นงานเพื่อเอา chill ออกไปจาก ชิ้นงานฐานเท่านั้น	
		302	.15 Max.		
		309	.20 Max.		
		310	.25 Max.		

Chrome - Ni Steels		347	.08 Max.		
Carbon Steel	ASTM	A36	.27 Max.	250°	(121°)
Plate		A131 Gr.B	.21 Max.	200°	(93°)
Structural		A284 Gr.C	.29 Max.	250°	(121°)
Quality		A678 Gr.B (c)	.20 Max.	200°	(93°)
High Strength	ASTM	A131-H.S.	.18 Max.	350°	(177°)
Low alloy		A242 Type 2	.20 Max.	200°	(93°)
Steels		A441	.22 Max.	200°	(93°)
Structural		A588 Gr.B	.20 Max.	250°	(149°)
Quality		A633 Gr.E	.22 Max.	300°	(121°)
Alloy and	ASTM	A514 Gr.F (c)	.10-.21	350°	(177°)
Pressure		A514 Gr.H (c)	.12-.21	300°	(149°)
Vessel		A514 Gr.Q(c)	.14-.21	550°	(288°)
Quality Steels		A515 Gr.70	.35 Max.	300°	(149°)
		A516 Gr.70	.30 Max.	250°	(121°)

2.4.4.5 ตารางแสดงอุณหภูมิในการอุ่นขึ้นงานของเหล็กแต่ละประเภท

ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงอุณหภูมิในการอุ่นขึ้นงานของเหล็กแต่ละประเภท

STEEL PREHEATING CHART Pre-Heating will eliminate crack formation, reduce distortion and prevent shrinkage stresses			
Metal Group	Metal Designation	%C	Recommended Preheat (°F)
Plain Carbon Steel	Plain carbon steel	Below .20	Up to 200
	Plain carbon steel	.20-.30	200-300
	Plain carbon steel	.30-.45	300-500
	Plain carbon steel	.45-.80	500-800
Carbon Moly Steels	Carbon moly steel	.10-.20	300-500
	Carbon moly steel	.20-.30	400-600
	Carbon moly steel	.30-.35	500-800
Manganese Steels	Silicon structural steel	.35	300-500
	Medium Manganese steel	.20-.30	300-500
	SAE T 1330 steel	.30	400-600
	SAE T 1340 steel	.40	500-800
	SAE T 1350 steel	.50	600-900
	12% Manganese steel	1.25	Usually not required
High Tensile Steels	Manganese moly steel	.20	300-500
	Manten steel	.30 max	400-600
	Armco high Tensile steel	.12 max	Up to 200
	Mayari R steel	.20 max	Up to 300
	Nax high tensile	.15-.25	Up to 300
	Chromenil steel	.14 max	300-400
	Corten steel	.12 max	200-400
	Yoloy steel	.05-.35	200-600
Nickel Steel	SAE 2015 steel	.10-.20	200-300
	SAE 2115 steel	.10-.20	200-300
	2 1/2% nickel steel	.10-.20	200-400
	SAE 2315, 2320 steel	.15-.20	200-500
	SAE 2330, 2340 steel	.30-.40	400-600
Medium Nickel Chromium Steel	SAE 3115, 3125 steel	.15-.25	300-400
	SAE 3130, 3140 steel	.30-.40	500-700
	SAE 3150 steel	.50	600-900
	SAE 3215, 3230 steel	.15-.30	400-600
	SAE 3240, 3250 steel	.40-.50	900-1000
	SAE 3315 steel	.15	500-700
	SAE 3325, 3435 & 3450	.25-.50	900-1100
Moly Chromium & Chromium Nickel Steels	SAE 4140 steel	.40	600-800
	SAE 4340 steel	.40	700-900
	SAE 4615 steel	.15	400-600
	SAE 4630 steel	.30	500-700
	SAE 4640, 4620 steel	.40-.20	600-800
Low Chrome Moly Steels	2% Cr. - 1/2% Mo. steel	Up to .15	400-600
	2% Cr. - 1/2% Mo. steel	.15-.25	500-800
	2% Cr. - 1% Mo. steel	Up to .15	500-700
	2% Cr. - 1% Mo. steel	.15 max	600-800
Medium Chrome Moly Steel	5% Cr. - 1/2% Mo. steel	Up to .15	500-800
	5% Cr. - 1/2% Mo. steel	.15-.25	600-900
	8% Cr. - 1% Mo. steel	.15 max	800-900
High Chrome Steels	12-14% Cr. type 410	.10	300-500
	16-18% Cr. type 430	.10	300-500
	23-30% Cr. type 446	.10	300-500

2.4.5 การเจียรรอยเชื่อม

ในส่วนของขั้นตอนการเจียรรอยเชื่อมนั้นเป็นขั้นตอนหลังจากการเชื่อมเสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งจะนำไปสู่ขั้นตอนการเจียรรอยเชื่อมเพื่อให้รอยเชื่อมสวยงามมากขึ้น เรียบมากยิ่งขึ้น โดยในขั้นตอนนี้อุปกรณ์ที่ใช้จะเป็นเครื่องเจียร ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ [13]

2.4.5.1 ส่วนประกอบของ เครื่องเจียร



รูปที่ 2.35 ส่วนประกอบของเครื่องเจียร

1. ตัวเครื่อง: วัสดุทำด้วยโพลีเมอร์และเป็นส่วนที่จะต้องใช่มือจับเพื่อใช้งาน
2. หัวเครื่องหรือหัวเกียร์: ทำด้วยโลหะภายในติดตั้งระบบเฟืองเกียร์โดยจะโผล่แกน เกลียวที่จะเป็นแบบตัวหมุน เมื่อเปิดสวิตช์แกนเกลียวจะเป็นแกนรองเพื่อรองรับแวน
3. แกนเกลียว (Spindle): จะทำหน้าที่ยึดแผ่นขัด โดยมีแวนรองรับแผ่นขัดและมี แวนล็อกอีกด้านของแผ่นขัดให้แผ่นขัดแน่น และแกนเกลียวจะหมุนที่ความเร็วประมาณ 10,000 rpm เมื่อเปิดสวิตช์
4. สวิตช์: จะติดตั้งอยู่ด้านข้างของตัวเครื่อง ซึ่งส่วนใหญ่จะออกแบบให้ล็อกได้ในตัวเอง เมื่อเลื่อนไปที่ตรงตำแหน่งเปิด
5. ครอบป้องกัน (Guard): ทำด้วยแผ่นโลหะ ติดตั้งไว้เพื่อให้สามารถป้องกันอันตรายจากการทำงานแต่ละชนิดได้
6. ปุ่มล็อกแกน: เป็นส่วนประกอบที่ต้องใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนแผ่นขัด โดยการกดปุ่มล็อกแกนเพื่อไม่ให้แกนเกลียวหมุน

2.4.5.2 การติดตั้งแผ่นขัดและใบเจียร มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกแผ่นขัดให้เหมาะสมกับงานที่จะทำ โดยให้มีรูแกนเท่ากับขนาดของแกนเกลียว
2. สวมครอบป้องกันและล็อกให้แน่น โดยวางทำมุมประมาณ 30 องศา
3. ใช้นิ้วมือกดที่ปุ่มล็อกแกน และลองหมุนแกนเกลียวให้อยู่ในตำแหน่งล็อก
4. สวมแวนรองแผ่นกับแกนเกลียว โดยให้รอยบากตรงกัน
5. วางแผ่นขัด โดยหงายด้านที่จะใช้งานขึ้น และให้รูแกนแผ่นขัดวางบนแวนรอง
6. สวมแวนล็อกบนแกนเกลียวและใช้ประแจขันแวนล็อกให้แน่น

โดยลักษณะใบเจียร มีการแบ่งตามลักษณะของวัสดุที่จะทำการเจียรหรือการตัดตามลักษณะของชิ้นงาน แต่ในลักษณะการเชื่อมจะเป็นโลหะ จึงจะใช้ใบเจียรลักษณะดังนี้

ใบเจียร ใช้สำหรับการเจียรรอยเชื่อม หรือบากร่องโลหะหรือผิวโลหะที่ไม่เรียบให้สม่ำเสมอ ทำด้วยหินอัดแน่น หนาประมาณ 6 มิลลิเมตร การใช้งานควรใช้ด้านหน้าของแผ่นเพื่อการเจียรในเท่านั้น



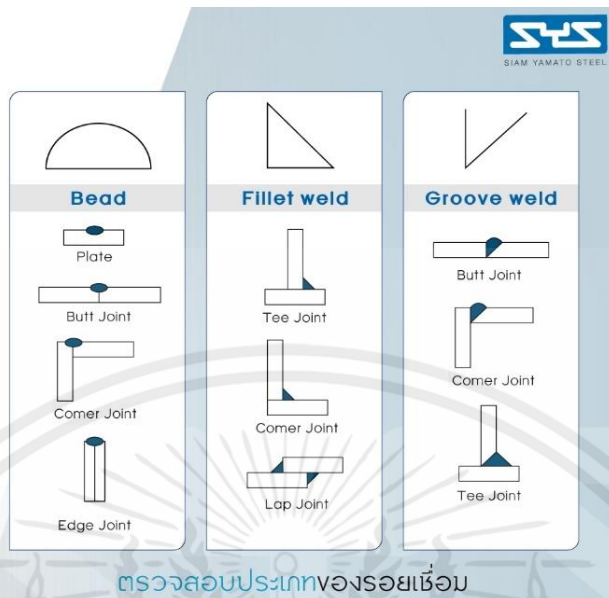
รูปที่ 2.36 ใบเจียรรอยเชื่อมโลหะ

2.4.5.3 สิ่งที่ควรปฏิบัติก่อนตัดสินใจเจียรรอยเชื่อมออกเพื่อความสวยงาม

เนื่องจากการเก็บรายละเอียดโดยรวมหลังงานเชื่อมเสร็จสิ้น ถือเป็นหนึ่งในสิ่งที่ผู้ออกแบบหรือแม้แต่วิศวกรโครงสร้างไม่ควรมองข้าม โดยเฉพาะส่วนรอยต่องานเชื่อม ดังนั้นก่อนที่จะทำการเจียรรอยเชื่อมในชิ้นงานนั้นๆจึงต้องผ่านการตรวจสอบประเภทรอยเชื่อมจากวิศวกร

2.4.5.4 การตรวจสอบ

แรกเริ่มก่อนการตัดสินใจเจียรรอยต่อจากงานเชื่อมเหล็ก ผู้ออกแบบ และวิศวกร จำเป็นต้องทำการตรวจสอบประเภทของรอยเชื่อมในส่วนหน้านางานนั้นๆ ก่อนเสมอว่าเป็นรอยต่องานเชื่อมประเภทใด



รูปที่ 2.37 การตรวจสอบประเภทรอยเชื่อม

2.4.5.5 พิจารณาตามดุลพินิจของวิศวกรกรณี

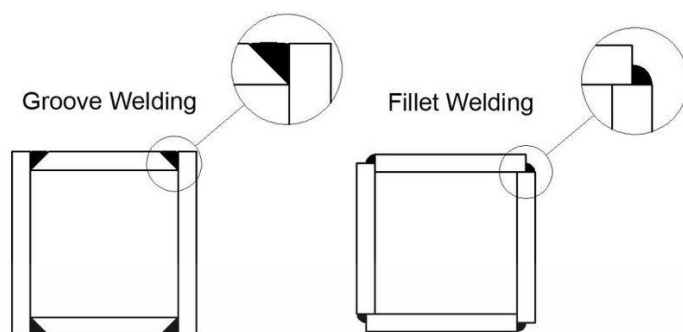
เมื่อวิศวกรพิจารณาแล้วว่ารอยเชื่อมประเภทนี้เป็นรอยเชื่อมประเภท Groove Weld ที่เป็นการเจียรผิวเกินออกมาจากแนวระนาบของเหล็กจึงสามารถทำการเจียรรอยเชื่อมได้บางส่วน แต่หากเป็นการเชื่อมเนื้อเหล็กที่ทดแทนเนื้อเดิมหรือรอยเชื่อมที่ไม่เต็มแนวสามเหลี่ยม อย่าง Fillet Weld ในทางปฏิบัติวิศวกรจะไม่แนะนำให้ทำการเจียรเหล็ก เพราะจะมีผลต่อการรับแรง เป็นต้น

2.4.5.6 เมื่อไหร่ เจียรแนวเชื่อมได้ (แนวเชื่อมแบบไหนที่เจียรได้)

ในการเจียรรอยเชื่อมขึ้นอยู่กับว่าในการเชื่อมรายนั้นถูกปูแนวเชื่อมอย่างดี ก็ไม่จำเป็นต้องทำการเจียรอะไรเลย ถ้าหากทำการเจียรรอยเชื่อมที่สมบูรณ์แบบดีอยู่แล้วนั้นจะทำให้รอยเชื่อมอ่อนลง แต่ถ้าหากเพียงแต่ต้องการทำให้แนวเชื่อมเรียบขึ้นเล็กน้อยเพื่อให้ดูดีขึ้น แนวเชื่อมนั้นก็อ่อนลงเล็กน้อย แต่ก็จะมีคุณสมบัติของโครงสร้าง

2.4.5.7 ลักษณะแนวเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเจียร

ในการเจียรแนวรอยเชื่อมโดยส่วนใหญ่ลักษณะที่เป็น Fillet Weld จะไม่ทำการเจียรเนื่องจากรอยต่อลักษณะนี้จะคำนึงถึงความแข็งแรงในการรับน้ำหนัก และในลักษณะที่เป็น Groove Weld ส่วนมากจะทำการเจียรเนื้อผิวเกินออกมาจากแนวระนาบเชื่อมซึ่งสามารถเจียรแนวเชื่อมได้บางส่วน



รูปที่ 2.38 ลักษณะแนวเชื่อมแบบ Groove Weld และ Fillet Weld

2.4.6 เกณฑ์การยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม

2.4.6.1 ตารางเกณฑ์การยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม [14]

ตารางที่ 2.8 ตารางเกณฑ์การยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม

ลำดับ	ประเภทของรอยบกพร่อง	คำอธิบายรายละเอียด	เกณฑ์การยอมรับ
1.	รอยแตก (Crack)	รอยแตกทุกชนิด	ไม่อนุญาตให้มี
2.	รูพรุน (Porosity)	<u>2.1. รอยเชื่อมรับภาระสถิตที่ไม่ใช่รอยเชื่อมท่อ</u>	
		ก. รอยเชื่อมต่อชน (Butt Joint) บากร่อง (Groove) หลอมลึกสมบูรณ์ (Full Penetration) ที่รับหน่วยแรงดึง	ไม่อนุญาตให้มี
		ข. รอยเชื่อมต่อชนแบบบากร่องแบบอื่น (นอกเหนือจาก ก.) และรอยเชื่อมมุม (Fillet)	ผลรวมของรูพรุนที่ตามองเห็นได้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร (1/32 นิ้ว) ต้องไม่เกิน (1) 10 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และ (2) 20 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 300 มิลลิเมตร (12 นิ้ว)
		<u>2.2. รอยเชื่อมรับภาระพลวัตที่ไม่ใช่รอยต่อท่อและกรณีรอยเชื่อมท่อ</u>	

		ก. รอยเชื่อมต่อชนบากร่องหลอมลึก สมบูรณ์ที่รับหน่วยแรงดึง	ไม่อนุญาตให้มี
		ข. รอยเชื่อมต่อชนบากร่องแบบอื่น (นอกเหนือจาก ก.)	จำนวนรูพุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุก ความยาวรอยเชื่อม 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพุนต้องไม่ เกิน 2.5 มิลลิเมตร (3/32 นิ้ว)
		ค. รอยเชื่อมมุม (Fillet)	
		ค.1. รอยเชื่อมมุมทุกกรณี	จำนวนรูพุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุก ความยาวรอยเชื่อม 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพุนต้องไม่ เกิน 2.5 มิลลิเมตร (3/32 นิ้ว)
		ค.2. รอยเชื่อมมุมระหว่างสติฟเฟนเนอร์ (Stiffener) กับเอวของคาน (Web)	ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพุนต้องไม่ เกิน (1) 10 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ต่อทุกความยาว รอยเชื่อม 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และ (2) 20 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ต่อทุกความยาว รอยเชื่อม 300 มิลลิเมตร (12 นิ้ว)
3.	หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crate Cross Section)	ทุกหน้าตัดจุดหยุดเชื่อมจะต้องเติมแนว เชื่อมให้เต็มตามขนาดของรอยเชื่อมที่ระบุ ยกเว้นรอยเชื่อมมุมแบบเว้นระยะที่เชื่อม ได้ความยาวแล้ว (Intermittent Weld)	ตามคำอธิบายนายละเอียด
4.	รอยกัดแหว่ง (Undercut)	4.1 รอยเชื่อมรับภาระสถิตที่ไม่ใช่รอยต่อท่อ	
		ก. ความหนาโลหะงานน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)	(1) ความลึกของรอยกัดแหว่งไม่เกิน 1 มิลลิเมตร (1/32 นิ้ว) หรือ

			(2) ความลึกรอยกัดแหว่งไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (1/16 นิ้ว) และความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดแหว่งลึกรวมกันไม่เกิน 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 มิลลิเมตร (12 นิ้ว)
		ข. ความหนาโลหะงานมากกว่าหรือเท่ากับ 25 มม. (1 นิ้ว)	ความลึกของรอยกัดแหว่งไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (1/16 นิ้ว) ตลอดแนวเชื่อม
		4.2 รอยเชื่อมรับภาระสถิตที่ไม่ใช่รอยต่อท่อ และกรณีรอยเชื่อมท่อ	
		ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง	ความลึกของรอยกัดแหว่งไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (0.01 นิ้ว)
		ข. กรณีอื่นๆนอกเหนือจาก ก.	ความลึกของรอยกัดแหว่งไม่เกิน 1 มิลลิเมตร (1/32 นิ้ว)
5.	รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด (Undersized Weld)	5.1 รอยเชื่อมทุกกรณี	รอยเชื่อมที่ได้ขนาดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด
		5.2 รอยเชื่อมมุม (Fillet Weld) ระหว่าง เหว (Web) กับปีก (Flange) ของคานประกอบ	ไม่อนุญาตให้มีรอยเชื่อมไม่ได้ขนาดบริเวณ รอยเชื่อมที่ปลายเป็นระยะสองเท่าของความกว้างปีก
		5.3 รอยเชื่อมมุม (Fillet Weld) แบ่งตามขนาดรอยเชื่อมระบุ (Special Nominal Size: L)	
		ก. $L \leq 5$ มิลลิเมตร (3/16 นิ้ว)	ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุ ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (1/16 นิ้ว)
		ข. $L = 6$ มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว)	ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุ ไม่เกิน 2.5 มิลลิเมตร (3/32 นิ้ว)
		ค. $L \geq 8$ มิลลิเมตร (5/16 นิ้ว)	ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุ ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว)

6.	รอยนูน (Convexity)	สำหรับรอยเชื่อมมุม (Fillet Weld) แบ่งตามความกว้างของขารอยเชื่อม (Width of Weld Face: W)	
		ก. $W \leq 8$ มิลลิเมตร ($W \leq 5/16$ นิ้ว)	ระยะนูนไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ($1/16$ นิ้ว)
		ก. $8 < W < 25$ มิลลิเมตร ($5/16 < W < 1$ นิ้ว)	ระยะนูนไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ($1/8$ นิ้ว)
		ก. $W \geq 25$ มิลลิเมตร ($W \geq 1$ นิ้ว)	ระยะนูนไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ($3/16$ นิ้ว)
7.	รอยเกย (Overlap)	สำหรับรอยเชื่อมมุมและรอยเชื่อมชนแบบบากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
8.	หลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	สำหรับรอยเชื่อมมุม	ไม่อนุญาตให้มี
9.	โลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement)	โลหะเชื่อมส่วนเกินทั้งกรณีโลหะงานความหนาเท่ากันและโลหะงานความหนาต่างกัน	ความสูงของโลหะเชื่อมส่วนเกินไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ($1/8$ นิ้ว)
10.	รอยเชื่อมไม่เต็ม (Underfill)	รอยเชื่อมไม่เต็มสำหรับรอยเชื่อมต่อชนแบบบากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
11.	ความเรียบของผิวรอยเชื่อม (Flush Surface)	สำหรับรอยเชื่อมแบบต่อชนบากร่อง การขัดผิวรอยเชื่อมให้เรียบเสมอโลหะงานต้องมีเงื่อนไขดังนี้	
		ก. ความหนาของรอยเชื่อมภายหลังการขัดผิวและความหนาของโลหะงานภายหลังการขัดผิว	มีค่าน้อยกว่าความหนาของโลหะงานที่บางกว่าไม่เกินร้อยละ 5 และไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ($1/32$ นิ้ว)
		ข. ความสูงของโลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement)	ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ($1/32$ นิ้ว) ยกเว้นกรณีเป็นหน้าสัมผัสหรือรอยต่อต้องทำผิวรอยเชื่อมให้เรียบเสมอกับผิวโลหะงาน

12.	การแต่งผิวรอยเชื่อม (Surface Finishing)	ในกรณีที่กำหนดให้ต้องตกแต่งผิวรอยเชื่อม สามารถดำเนินการด้วยการสกัดผิวหรือการเซาะร่อง และตามด้วยการขัดผิว (Grinding) ทั้งนี้ต้องมีความหยาบของผิวไม่เกิน 6.3 ไมครอน (0.0063 มิลลิเมตร หรือ 125 มิลลินิ้ว) และต้องขัดผิวในทิศทางที่กำหนดดังนี้	
		ก. ขัดผิวในทิศทางขนานกับหน่วยแรงหลัก (Primary Stress)	ความหยาบอยู่ในช่วง 3.2 ถึง 6.3 ไมครอน (0.0032 ถึง 0.0063 มิลลิเมตร หรือ 125 ถึง 250 มิลลินิ้ว)
		ข. ขัดผิวในทิศทางใดก็ได้	ความหยาบน้อยกว่า 3.2 ไมครอน (0.0032 มิลลิเมตร หรือ 125 มิลลินิ้ว)

2.4.6.2 ลักษณะข้อบกพร่อง

1. การเกิดรอยแตก (Crack)

รอยแตกสามารถเกิดขึ้นได้ในเนื้อเชื่อม และโลหะชิ้นงานจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับความเค้นสูง เนือจุดความแข็งแรงของวัสดุ (Ultimate Strength) โดยทั่วไปรอยแตกจะเกิดจากความเค้นใน รอยเชื่อม หรือในวัสดุงาน อาจเกิดกลางแนวเชื่อม หรือในเขตที่มีผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ใกล้กับแนวเชื่อม หรืออาจจะแตกอยู่ภายในแนวเชื่อม หรือเลยออกมาทางเขตที่ ผลกระทบจากความร้อนในโลหะชิ้นงาน ในบางครั้งรอยแตกตามขวางจะเกิดที่โลหะชิ้นงานแต่ไม่แตกที่รอยเชื่อม [17]

2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)

สามารถเกิดบริเวณส่วนที่เป็นแนวเชื่อมได้ทั้งหมดทั้งแนวเชื่อมต่อชนและแนวเชื่อมฟลเลท

3. ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize)

ขนาดของแนวเชื่อมไม่ถูกต้องตามแบบที่กำหนด

4. การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)

เกิดบริเวณขอบชิ้นงานและเนื้อเชื่อมด้านข้าง หรือระหว่างชั้นแนวเชื่อมแต่ละแนว และแนวการซึมลึกด้านหลัง

5. การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)

ส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะชิ้นงานทั้งด้านหน้าและด้านหลัง แนวเชื่อมรอยกัดแหว่งนี้เป็นรอยบากซึ่งเป็นอันตรายเพราะจะเป็นแหล่งรวมความเค้น (Stress concentrator)

6. การเกิดรูพรุน (Porosity)

มีรูปร่างลักษณะต่างๆ เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก สวนใหญ่เกิดบริเวณที่เป็นแนวเชื่อมบนชิ้นงานทั้งหมด มีหลายลักษณะดังนี้

6.1 ฟองอากาศแบบกระจาย (Uniformly scattered porosity)

เป็นลักษณะของฟองอากาศที่กระจายตัวอยู่ทั่วไป ทั้งภายในและภายนอก

6.2 ฟองอากาศแบบรวมกลุ่ม (Cluster porosity)

ฟองอากาศแบบนี้จะอยู่บริเวณร่องของรอยบาก สวนใหญ่จะเกิดตอนเริ่มต้นหรือรอยต่อของการเชื่อมไฟฟ้า

6.3 ฟองอากาศตามแนวยาว (Linear porosity)

เป็นฟองอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของรอยเชื่อมและตรงรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมกับวัสดุงานหรือบริเวณใกล้รากของแนวเชื่อม

6.4 ฟองอากาศเป็นโพรง (Piping porosity)

เกิดบริเวณแนวเชื่อมแบบฟลเลท (Fillet Weld) อาจจะทะลุขึ้นมาบนผิวหน้าแนวเชื่อมได้หรืออยู่ภายใต้แนวเชื่อมได้และอาจจะพบยาวมากในกรณีวิธีการเชื่อมแบบ Electroslag

2.4.6.7 หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)

เกิดขึ้นจุดกึ่งกลางของบ่อหลอมของเนื้อเชื่อมเกิดรูและไม่ถูกเติมเนื้อเชื่อมลงไปให้เต็ม ก่อนที่จะหยุดให้ความร้อน หรือดับเปลวอาร์ค จากนั้นบริเวณรอบๆ ของจุดศูนย์กลางบ่อหลอมเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางบ่อหลอม การเย็นตัวอย่างที่แตกต่างกันนี้ หากมีความแตกต่าง และเย็นตัวอย่างรวดเร็วมากเพียงพอทำให้เกิดความเค้นซึ่งก่อให้เกิดการแตกร้าวในรูปแบบตามยาว ตามขวาง และตามแนวรัศมี แบบใดแบบหนึ่ง หรือเกิดร่วมกันรอบๆ จุดศูนย์กลางบ่อหลอมที่เกิดแครเตอร์ได้

2.4.6.8 รอยนูน (Convexity)

จะเกิดบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อมทั้งแนวเชื่อมฟลเลท (Fillet Weld) และแนวเชื่อมแบบ บากรอง (Groove)

2.4.6.9 ไม่มีการเกยออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap)

ส่วนของรอยเชื่อมพอกเกยออกมาจากแนวเชื่อม โดยที่ไม่หลอมละลาย อาจะเกิดที่ ด้านหน้าหรือด้านหลังของแนวเชื่อม เป็นจุดบกพร่องที่ผิวหน้า

2.4.7 ลวดเชื่อม

2.4.7.1 ชนิดของลวดเชื่อม

ลวดเชื่อม เป็นโลหะเติมซึ่งใช้เติมลงในบ่อหลอมละลายขณะเชื่อม เพื่อเพิ่มปริมาณของเนื้อโลหะเชื่อม เพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อม และเป็นโลหะประสานรอยต่อของชิ้นงานเชื่อมให้แข็งแรงและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ลวดเชื่อมมีทั้งชนิดที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมด้วยไฟฟ้า และชนิดที่ใช้กระบวนการเชื่อมด้วยแก๊ส ลักษณะและชนิดของลวดเชื่อมในปัจจุบันที่นิยมใช้กันแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆได้ดังนี้ [18]

1. Electrode หมายถึง ลวดเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมด้วยไฟฟ้า ลวดเชื่อมชนิดนี้ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าส่วนมากจะให้การเชื่อมอาร์ค สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1.1 Consumable หมายถึง ลวดเชื่อมที่เป็นขั้วไฟฟ้าและเป็นโลหะเติมทั้งสองอย่างลวดเชื่อมชนิดนี้เป็นแบบสิ้นเปลือง เช่น ลวดเชื่อมของการเชื่อม SMAW

1.2 Non Electrode หมายถึง ลวดเชื่อมที่ไม่เกี่ยวข้องกับขั้วไฟฟ้าอย่างเดียว โดยที่ไม่หลอมละลายไปกับโลหะเชื่อม ลวดเชื่อมชนิดนี้จะเป็นแบบไม่สิ้นเปลือง เช่น ลวดเชื่อมของการเชื่อม GTAW , PAW ที่เชื่อมด้วยมือ เป็นต้น

2. Non-Electrode หมายถึง ลวดเชื่อมที่ไม่เกี่ยวกับขั้วไฟฟ้า โดยจะใช้สำหรับเป็นโลหะอย่างเดียว สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.1 Filler Rod หมายถึง ลวดเชื่อมที่เป็นแท่ง เช่น ลวดเชื่อมของการเชื่อมแก๊ส เป็นต้น

2.2 Filler Wire หมายถึง ลวดเชื่อมที่เป็นเส้นลวด เช่น ลวดเชื่อมของการเชื่อม PAW ที่ทำการเชื่อมโลหะโดยเครื่องจักร เป็นต้น

2.4.7.2 ชนิดของลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์

ลวดเชื่อมไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อมแบบอาร์คด้วยไฟฟ้า ตามมาตรฐานของAWS จำแนกออกตามชนิดของโลหะที่เชื่อมได้หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะใช้กับโลหะที่แตกต่างกันออกไป ชนิดที่นิยมใช้กันมากได้แก่

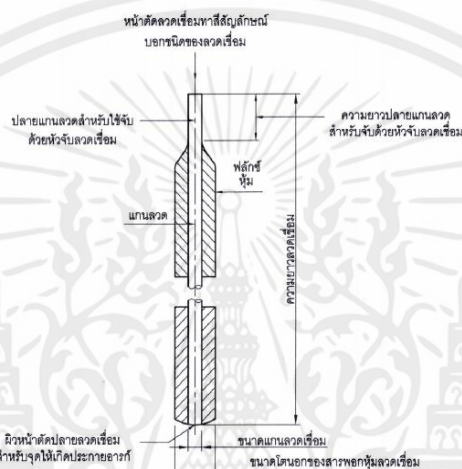
1. AWS-A 5.1 ลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน
2. AWS-A 5.3 ลวดเชื่อมอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมผสม
3. AWS-A 5.4 ลวดเชื่อมเหล็กกล้าโครเมียม และเหล็กกล้าโครเมียม นิกเกิล หรือลวดเชื่อมสแตนเลส
4. AWS-A 5.5 ลวดเชื่อมเหล็กกล้าผสมต่ำ
5. AWS-A 5.6 ลวดเชื่อมทองแดงและทองแดงผสม

6. AWS-A 5.11 ลวดเชื่อมนิเกิลและนิเกิลผสม

7. AWS-A 5.15 ลวดเชื่อมเหล็กหล่อ

2.4.7.3 โครงสร้างของลวดเชื่อมไฟฟ้า

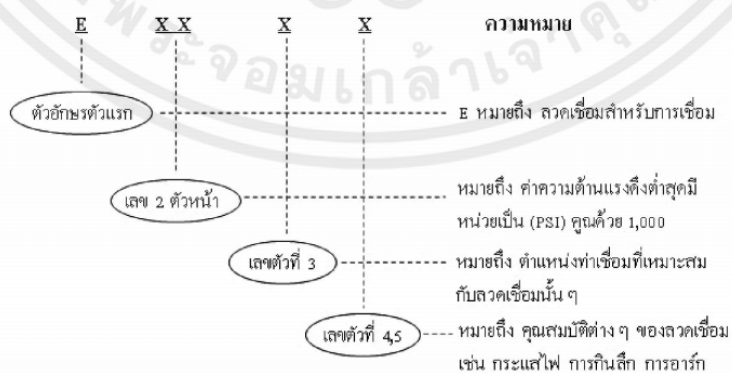
ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์จะมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ซึ่งจะมีลักษณะโครงสร้างที่เหมือนกันไม่ว่าจะเป็นชนิดใดก็ตาม ซึ่งลักษณะโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 แสดงลักษณะโครงสร้างของลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์

2.4.7.4 ลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ตามมาตรฐาน AWS

ลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นลวดเชื่อมที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในงานโครงสร้างทั่วไป มาตรฐานสัญลักษณ์ของลวดเชื่อมไฟฟ้าของสมาคมการเชื่อมสหรัฐอเมริกา (AWS A.1-91) นั้นได้กำหนดให้เป็นตัวอักษรและตัวเลขดังนี้



รูปที่ 2.40 แสดงลักษณะโครงสร้างของลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์

ตัวอย่าง E6011

E (ตัวอักษรตัวหน้า) หมายถึง ลวดเชื่อมไฟฟ้า

60 (เลข 2 ตัวหน้า) หมายถึง $60 \times 1,000 = 60,000$ มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (PSI) ซึ่ง 60,000 PSI ก็คือค่าความต้านทานแรงต่ำสุด

1 (ตัวเลขที่ 3) หมายถึง ทำเชื่อมที่เหมาะสมกับลวดเชื่อมนั้น ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เลข 1 หมายถึง ทำราบ ทำตั้ง ทำขนานนอน ทำเหนือศีรษะ

เลข 2 หมายถึง ทำขนานนอน และทำราบเท่านั้น (E6020)

เลข 3 หมายถึง ทำราบเท่านั้น (E6020)

1 (เลขตัวที่ 4,5) หมายถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ของลวดเชื่อม ดังรายละเอียดจากตารางที่ 2.9

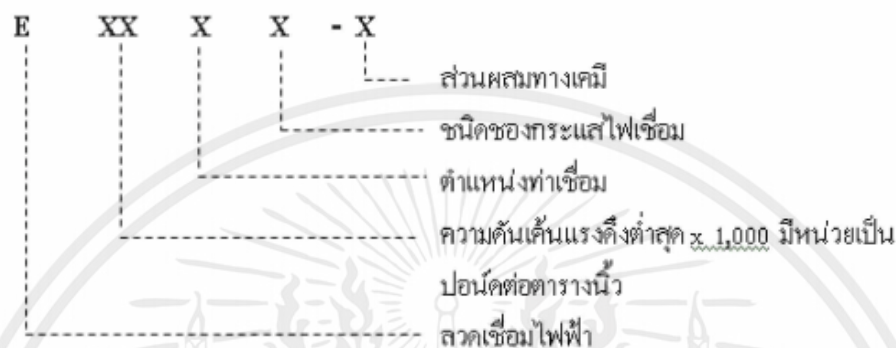
(เลข 1 ของตัวเลขที่ 4 หมายถึง ใช้ไฟ AC&DCEP)

ตารางที่ 2.9 ความหมายต่างๆของตัวเลขที่ 4 หรือ 5

รหัส ลวดเชื่อม	ชนิดกระแสไฟ	ลักษณะ การอาร์ค	สารละลาย ลึก	ผงเหล็ก	ลักษณะ ของสนล	สารฟอกไหม
EXX10	DCRP	รุนแรง	มาก	0 – 10 %	บาง	เซลลูโลส-โซเดียม
EXX1	AC&ECP	รุนแรง	มาก	0%	บาง	เซลลูโลส-โพแทสเซียม
EXX2	ACSDCEP&EN	ปานกลาง	ปานกลาง	1 – 10%	หนา	รูไทล์-โซเดียม
EXX3	ACSDCEP&EN	นิ่มนวล	น้อย	0 – 10%	ปานกลาง	รูไทล์-โพแทสเซียม
EXX4	ACSDCEP&EN	นิ่มนวล	น้อย	25 – 40%	กำจัดงาย	รูไทล์-ผงเหล็ก
EXX5	DCEP	ปานกลาง	ปานกลาง	0%	ปานกลาง	ไฮโดรเจนต่ำ-โซเดียม
EXX6	ACD หรือ CEP	ปานกลาง	ปานกลาง	0%	ปานกลาง	ไฮโดรเจนต่ำ-โพแทสเซียม
EXX8	AC หรือ DCEP	ปานกลาง	ปานกลาง	25 – 40%	ปานกลาง	ไฮโดรเจน-โซเดียม
EXX20	AC หรือ DCEP&EN	นิ่มนวล	น้อย	0%	หนา	เหล็กออกไซด์-โซเดียม
EXX24	AC หรือ DCEP&EN	นิ่มนวล	น้อย	50%	หนา	รูไทล์-ผงเหล็ก
EXX27	AC หรือ DCEP&EN	ปานกลาง	ปานกลาง	50%	หนา	เหล็กออกไซด์-ผงเหล็ก
EXX28	AC หรือ DCEP	ปานกลาง	ปานกลาง	50%	ปานกลาง	ไฮโดรเจน-ผงเหล็ก

2.4.7.5 ลวดเชื่อมเหล็กกล้าผสมต่ำ ตามมาตรฐาน AWS

มาตรฐานสัญลักษณ์ของลวดเชื่อมไฟฟ้าของสมาคมการเชื่อมสหรัฐอเมริกา (AWS A5.5-81) ได้กำหนดเป็นตัวอักษรและตัวเลขดังนี้



รูปที่ 2.41 แสดงมาตรฐานสัญลักษณ์ลวดเชื่อม

2.4.7.6 ประเภทของฟลักซ์หุ้ม

ชนิดของวัสดุสารพอกหุ้ม วัสดุสารพอกหุ้มมีหน้าที่ประสารรอยต่อแนวให้ได้ดี ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ที่มีการนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวางคือ

1. สารพอกหุ้มไทเทเนียมไดออกไซด์ (ตัวย่อ R)

ลวดเชื่อมชนิดใช้สารพอกหุ้มทำจากไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นพวกรูไทล์ เป็นชนิดที่นำมาใช้เชื่อมมากที่สุด ทำให้เกิดประกายอาร์คและระยะอาร์คสม่ำเสมอ ประสานรอยต่อแนวได้ดีเหมาะสำหรับเชื่อมเหล็กเหนียว เชื่อมได้ง่าย เชื่อมรอยต่อแผ่นเหล็กบางๆ รอยต่อแนวเกิดรอยร้าวได้ง่ายกว่าลวดเชื่อมชนิดสารพอกหุ้มกรดแร่ เล็กน้อย เหมาะสำหรับการเชื่อมท่ายากๆ ทุกท่าเชื่อม เคาะสแลกเชื่อมออกได้ง่ายให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมปานกลาง สามารถตีแนวเปลี่ยนรูปได้ ไม่เสื่อมคุณสมบัติเมื่อได้รับความชื้น เกล็ดแนวเชื่อมหยาบปานกลางเกล็ดสม่ำเสมอหน้าแนวนูนโค้งเล็กน้อย

2. สารพอกหุ้มต่างหินปูน (ตัวย่อ B)

สารพอกหุ้มประกอบด้วยต่างหินปูนและใยหิน เมื่อทำการเชื่อมให้เกิดอาร์ค หินปูนจะถูกเผาไหม้และเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะในบ่อหลอมละลายหินปูนและใยหินจะรวมตัวกับสารมลทินในเนื้อวัสดุขณะหลอมเหลวเกิดเป็นชีตะกรันเหลวเหนียว เกาะผิวหน้างานแน่น และคลุมแนวเชื่อมไว้จนกว่าแนวเชื่อมจะเย็นตัวลง สารไดออกไซด์เข้มข้นทำให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อโลหะ มีผลทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงสูง มีอัตราการยึดตัวดีทนต่อแรงกระแทก เนื้อโลหะมีออกซิเจนไนโตรเจนและไฮโดรเจนน้อยมาก ในประเทศสหรัฐอเมริกาจึงเรียกลวดเชื่อมสารพอกหุ้มต่างหินปูนว่าเป็นลวดพวก

ไฮโดรเจนต่ำ (Low Hydrogen) แนวเชื่อมไม่เกิดรอยร้าว ฉะนั้นจึงเหมาะที่จะใช้เชื่อมงานที่ต้องการแนวเชื่อมหนา และเชื่อมเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนมากกว่า 0.25 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับงานที่เตรียมและจับยึดอย่างแน่นหนา เช่นโครงสร้างที่ยึดแน่นยึดหยุ่นไม่ได้ เป็นลวดเชื่อมที่มีคุณสมบัติดีกว่าลวดเชื่อมชนิดอื่น ๆ จึงมีการนิยมใช้ค่อนข้างมาก ข้อเสียของลวดเชื่อมชนิดนี้คือ ดูดความชื้นได้ง่ายทำให้ลวดเสื่อมคุณภาพก่อนที่จะเชื่อม ดังนั้นจึงควรนำลวดไปอบที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 300 °C เป็นเวลา 0.5-1 ชั่วโมงจนกว่าสารพอกหุ้มลวดเชื่อมจะแห้งดี เครื่องเชื่อมที่มีแรงเคลื่อนในขณะที่ไม่มีการะ 70 ถึง 80 โวลต์ สารพอกหุ้มต้องใช้ส่วนผสมของด่างหินปูนและไทเทเนียมนำไปเชื่อมกับไฟฟ้ากระแสสลับได้ ลักษณะแนวเกล็ดหยาบเกล็ดแนวไม่สม่ำเสมอ แนวโค้งเคาะขึ้นกระดกออกยาก

3. สารพอกหุ้มเซลลูโลส (ตัวย่อ C)

ลวดเชื่อมชนิดที่ใช้สารพอกหุ้มออกแกนิก ซึ่งมีควันทากเมื่อเผาไหม้ ระยะอาร์คสม่ำเสมอดีมาก เหมาะสำหรับการเชื่อมท่าเชื่อมยาก ๆ ใช้เชื่อมท่าตั้งเชื่อมลง ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ใช้เชื่อมท่อหรือโครงสร้างที่จำเป็นต้องเชื่อมท่าตั้งเชื่อมลง การใช้ลวดเชื่อมชนิดนี้ทำการเชื่อมถ้าเตรียมงานเชื่อมดีสามารถทำการเชื่อมได้โดยไม่ต้องมองแนวการหลอมละลายคงที่สม่ำเสมอ กระแสไฟฟ้าที่ใช้คงที่ มีขึ้นกระดกขึ้นเชื่อมน้อย แต่เนื่องจากมีควันทากมากจึงนำไปใช้งานน้อย

4. สารพอกหุ้มกรดแร่ (ตัวย่อ A)

เป็นลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้มทำจากโลหะหนักประเภทแร่ ซิลิเกต หรือสารไดออกไซด์เช่น โดยเฉพาะพวกเพอร์แมงกานีส มีอัตราเร็วในการหลอมละลายสูง ลวดเชื่อมหลอมตัวขณะร้อนรวดเร็วมาก ใช้ระยะอาร์คยาว เหมาะสำหรับการเชื่อมเหล็ก เพราะทำการเชื่อมได้ง่ายโดยเฉพาะไม่ควรเชื่อมกับเหล็ก ซึ่งผ่านการหลอมด้วยเตาโทมัส ใช้เชื่อมท่าราบและท่าตั้ง ระยะอาร์ค ควบคุมระยะอาร์ค เหมาะสำหรับการเชื่อมงานเร็ว ๆ หน้าแนวเชื่อมเรียบ ผิวแนวโค้งเล็กน้อย ความหนาแนวเชื่อมไม่มากเชื่อมแนวยาว ๆ เคาะสแลกเชื่อมออกง่าย แต่นำไปใช้งานน้อยมาก เนื่องจากเกิดรอยร้าวได้ง่าย

5. สารพอกหุ้มออกไซด์ (ตัวย่อ Ox)

ลวดเชื่อมชนิดนี้สารพอกหุ้มทำด้วยเหล็กออกไซด์ จะมีส่วนผสมของแมงกานีสออกไซด์แค่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากปฏิกิริยาของสารออกไซด์จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ของคาร์บอนและแมงกานีส ฉะนั้นเนื้อวัสดุรอยเชื่อมจึงเกิดรอยร้าวมากกว่าลวดเชื่อมชนิดอื่น ๆ คุณสมบัติทางกลต่ำ แนวเชื่อมมีเกล็ดแนวละเอียด เรียบมัน ใช้เชื่อมทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับเหมาะสำหรับเชื่อมท่าราบ ถ้าใช้เชื่อมกับกระแสไฟฟ้าสูงๆ ทำให้สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้ามาก ปัจจุบันลวดเชื่อมชนิดนี้แทบจะไม่มีผู้ผลิตแล้ว เนื่องจากการใช้งานในวงแคบใช้เชื่อมเฉพาะท่าราบเท่านั้น

6. สารพอกหุ้มชนิดพิเศษ (ตัวย่อ S)

ลวดเชื่อมชนิดนี้ หมายถึงลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้มที่ไม่สามารถจัดอยู่ในสารพอกหุ้มข้างต้นได้

2.4.7.7 หน้าที่ของฟลักซ์

1. ป้องกันบรรยากาศภายนอกมารวมตัวกับโลหะแนวเชื่อมขณะทำการเชื่อม
2. ขจัดออกไซด์ และสิ่งสกปรกออกจากน้ำโลหะเชื่อม
3. กลายเป็นสแลกปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อป้องกันการรวมตัวของออกซิเจนกับแนวเชื่อม
4. มีธาตุที่ทำให้อาร์คคงที่สม่ำเสมอ
5. มีธาตุผสมช่วยทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น
6. มีผงเหล็ก ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตลวดเชื่อม
7. ทำให้เชื่อมตำแหน่งท่าต่าง ๆ ได้สะดวก และเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อม
8. สแลกปกคลุมแนวเชื่อมทำให้แนวเชื่อมเย็นลงอย่างช้าๆ เป็นผลดีทางโลหะวิทยา
9. ทำให้แนวเชื่อมมีประสิทธิภาพ ได้รูปร่างที่ดี และการซึมลึกสมบูรณ์ถูกต้อง
10. ช่วยลดการกระเด็นของเม็ดโลหะ

2.4.7.8 อิทธิพลของฟลักซ์ต่อคุณภาพแนวเชื่อม

ฟลักซ์หุ้มแกนลวดเชื่อมประเภทต่าง ๆ หลังจากการเชื่อมจะมีผลกับแนวเชื่อมต่างกัน ดังแสดงในตาราง

ที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 อิทธิพลของฟลักซ์ต่อคุณภาพแนวเชื่อม

ชนิดของฟลักซ์หุ้ม	สภาพของน้ำโลหะหลอมเหลว	คำแนะนำสำหรับช่างเชื่อมโลหะ
กรดไททาเนียม ไทเทเนียม ไดออกไซด์	เม็ดน้ำโลหะหยาบ เม็ดน้ำโลหะหยาบปานกลาง เม็ดน้ำโลหะละเอียด	ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง เม็ดน้ำโลหะละเอียด หลายปานกลาง เชื่อมได้ทุกท่า ทำได้สะดวก เชื่อมซึมลึกปานกลาง การประสานแนวดีจึงดีมาก หลังแนวแบนถึงนูนเล็กน้อย เกิดแนวละเอียดถึงหยาบปานกลาง
กรดเร็ว แร่ และซิลิกา ฟอสเฟต	เม็ดน้ำโลหะหยาบ เม็ดน้ำโลหะละเอียด	ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ เม็ดน้ำโลหะเล็ก เหมาะสำหรับการเชื่อมท่าราบ ท่าอน และท่าหิ้ง เกาะสแลกออกจาก การซึมลึกดี การประสานรอยต่อดี แนวว่าเหล็กแนวละเอียดมาก
ออกไซด์ เหล็กออกไซด์	เม็ดน้ำโลหะละเอียด	ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ เม็ดโลหะละเอียด ใช้กับการเชื่อมท่าราบ ใช้งานน้อยมาก
เซอูโลสและสารประกอบออกแทนด	เม็ดน้ำโลหะหยาบปานกลาง	ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นบวกและกระแสสลับ เม็ดน้ำโลหะปานกลางถึงหยาบ การซึมลึกดี การประสานแนวดีมาก จี๊ดกร๊อนออกจาก เหมาะทุกท่าเชื่อม
ผงเหล็ก	เม็ดน้ำโลหะละเอียดเป็นฝอย	มีส่วนผสมของไทเทเนียม กรดเร็วและผงหินปูนผสมอยู่ การซึมลึกถึงลึกมาก เม็ดน้ำโลหะละเอียด การประสานแนวดีไม่เหมาะสำหรับเชื่อมท่าราบ
ชนิดพิเศษ	ไม่ระบุ	มีคุณสมบัติของสารพอกหุ้มแตกต่างกันตามชนิด แกนลวด ชนิดของสาร พอกหุ้มจะมีตั้งแต่ไทเทเนียมจนถึงเซอูโลส ใช้กับลวดเชื่อมได้ลวดเชื่อมสำหรับตัดโลหะ

2.4.7.9 หลักการพิจารณาเลือกลวดเชื่อมไฟฟ้า

การเลือกชนิดของลวดเชื่อม การเลือกลวดเชื่อมที่ถูกต้องกับงาน จะมีความสำคัญเช่นเดียวกับความสำคัญในด้านอื่น ๆ ที่ต้องปฏิบัติสำหรับการเชื่อม ปัจจุบันลวดเชื่อมที่ใช้สำหรับงานเชื่อมมีหลากหลายชนิด หลายยี่ห้อ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความรู้ในรายละเอียดเพื่อเลือกใช้ได้อย่างถูกต้อง ดังนี้

1. ความแข็งแรงของชิ้นงาน ก่อนเชื่อมจะต้องรู้คุณสมบัติเชิงกลของโลหะงาน ถ้าเป็นเหล็กกล้าผสมต่ำ ควรเลือกจากค่าความแข็งแรง โดยให้ใกล้เคียงกับโลหะงานมากที่สุด ถ้าเป็นเหล็กกล้าผสมสูง (เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ) ควรเลือกลวดเชื่อมในกลุ่ม 60xx ซึ่งเป็นลวดเชื่อมที่มีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับโลหะงาน

2. ส่วนผสมของโลหะชิ้นงาน จะต้องเลือกลวดเชื่อมที่มีส่วนผสม เหมือนกันกับโลหะชิ้นงาน ถ้าเป็นเหล็กกล้าผสมสูง ต้องพิจารณาจากตัวอักษรที่ต่อท้ายสัญลักษณ์ แต่ถ้าเป็นเหล็กกล้าผสมต่ำ ควรเลือกลวดเชื่อมในกลุ่ม 60xx

3. ท่าเชื่อม ให้ดูจากสัญลักษณ์ที่กำหนดในลวดเชื่อม เช่น ระบบ A.W.S. จะกำหนดตัวเลขตัวที่ 3 เป็นการบอกถึงตำแหน่งท่าเชื่อมไว้ว่าสามารถเชื่อมได้ในท่าเชื่อมใด

4. ชนิดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ควรเลือกให้เหมาะสมกับกระแสไฟเชื่อม เพราะลวดเชื่อมบางชนิดจะเชื่อมได้ผลดีกับไฟกระแสตรงเท่านั้น หรือบางชนิดจะเชื่อมได้ผลดีกับไฟกระแสสลับเท่านั้น ให้พิจารณาตัวเลขตัวที่ 4 สำหรับมาตรฐาน A.W.S.

5. ลักษณะของแนวต่อ และรอยต่อประชิด เช่น รอยต่อที่ไม่มีการบากหน้างาน ควรเลือกลวดเชื่อมที่มีการอาร์คนิ่งมวล เพราะจะให้การซึมลึกน้อย และยังเหมาะกับงานบางด้วย ส่วนงานหนา จะต้องเลือกลวดเชื่อมที่มีการอาร์ครุนแรง โดยพิจารณาจากตัวเลขตัวที่ 4 สำหรับมาตรฐาน A.W.S.

6. ความหนาและรูปร่างของชิ้นงาน ควรเลือกใช้ลวดเชื่อมที่มีความเหนียวสูง กับงานที่มีความหนาและซับซ้อน เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าว ได้แก่ ลวดเชื่อมไฮโดรเจนต่ำ ตามมาตรฐาน A.W.S. XX15, EXX16, EXX18, EXX28

7. ข้อกำหนดเกี่ยวกับงาน ควรพิจารณาส่วนผสมให้ตรงกับคุณสมบัติ การใช้งานของชิ้นงาน เช่น งานที่รับแรงกระแทก งานเชื่อมที่นำไปใช้งานในที่อุณหภูมิต่ำ หรืออุณหภูมิสูงนอกจาก จะพิจารณาส่วนผสมของลวดเชื่อมแล้ว จะต้องพิจารณาถึงความเหนียวและความต้านทานต่อแรงกระแทก ซึ่งลวดเชื่อมที่เหมาะสมแก่สภาพการใช้งานดังกล่าว ได้แก่ ลวดไฮโดรเจนต่ำ

8. ข้อกำหนดเกี่ยวกับงาน ควรพิจารณาส่วนผสมให้ตรงกับคุณสมบัติ การใช้งานของชิ้นงาน เช่น งานที่รับแรงกระแทก งานเชื่อมที่นำไปใช้งานในที่อุณหภูมิต่ำหรืออุณหภูมิสูง

2.4.8 การปรับตั้งค่าในการเชื่อม

2.4.8.1 ระบบ MMA [19]

ตารางที่ 2.11 การปรับตั้งค่าในการเชื่อมระบบ MMA

ความหนาชิ้นงาน (mm.)	ขนาดลวดเชื่อม(mm.)	กระแสเชื่อมDC(A)
2.0-3.0	2.6	70-120
3.0-5.0	3.2	110-15
5.0-10.0	4.0-5.0	140-26

2.4.8.2 ระบบ MIG/MAG

ตารางที่ 2.12 การปรับตั้งค่าในการเชื่อมระบบ MIG/MAG

ความหนาชิ้นงาน (mm.)	ขนาดลวดเชื่อม (mm.)	กระแสเชื่อม DC(A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลวด (cm/min)	อัตราการไหลของ แก๊ส (l/min)
0.8	0.8-0.9	60-70	16-16.5	50-60	10
1.0	0.8-0.9	75-85	17-17.5	50-60	10-15
1.2	0.8-0.9	75-85	17-18	50-60	10-15
1.6	0.8-0.9	95-105	18-19	45-50	10-15
2.0	1.0-1.2	110-120	19-19.5	45-50	10-15
2.3	1.0-1.2	120-130	19.5-20	45-50	10-15
3.2	1.0-1.2	140-150	20-21	45-50	10-15
4.5	1.0-1.2	170-185	22-23	45-50	15
6.0	1.2	230-260	24-26	45-50	15-20
9.0	1.2	320-340	32-34	45-50	15-20

2.4.8.3 ระบบ TIG

ตารางที่ 2.13 การปรับตั้งค่าในการเชื่อมระบบ TIG

ความหนา ชิ้นงาน (mm.)	ขนาดลวด เชื่อม(mm.)	กระแสเชื่อม DC(A)	ขนาด Nozzle(No.)	อัตราการไหลของ Argon (l/min)	ขนาดลวด เติม (mm.)
1.0	1.6	15-80	4.0	5-6	1.6
2.0	1.6	70-150	4.0-6.0	5-6	2.0
3.0	1.6-2.4	150-250	6.0	5-6	2.4
4.0	2.4	150-250	6.0-8.0	6-7	3.0
5.0	2.4-3.2	250-400	6.0-8.0	7-8	3.2

2.5 เครื่องมือและเทคนิคการแก้ปัญหา

เครื่องมือและเทคนิคการแก้ปัญหา (Problem Solving) คือ วิธีการแก้ปัญหาซึ่งจะใช้วิธีการจัดระบบการดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอน โดยการนำข้อมูลปัญหามาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เมื่อได้สาเหตุที่แท้จริงจึงจะนำเครื่องมือและเทคนิคต่างๆเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหานั้น โดยจะใช้หลักกระบวนการ DMAIC มาเป็นหลักในการแก้ไขปัญหา

2.5.1 กระบวนการ DMAIC

กระบวนการ DMAIC มุ่งเน้นที่การแก้ปัญหาในกระบวนการเป็นหลักโดยผู้ที่เกี่ยวข้องและมีบทบาทสำคัญจะดำเนินงานตามแนวทางของ DMAIC คือกระบวนการในการปรับปรุง โดยก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการหลักนั้น จะต้องทำการนิยามถึงปัญหาที่ต้องการจะนำมาปรับปรุงเสียก่อน โดยควรเลือกปัญหาที่เป็นปัญหาที่สำคัญเป็นต้นเหตุที่ทำให้ลูกค้าไม่พอใจและส่งผลกระทบต่อกระบวนการหรือเป็นปัญหาที่เห็นสิ่งที่ควรปรับปรุงอย่างชัดเจนมาทำการแก้ปัญหาก่อนจากนั้นเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เพื่อมาทำการศึกษาและเป็นตัววัดผลในการปรับปรุง (Key Process Output Value, KPOV) จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการในขั้นต่างๆต่อไป ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ นั้น จะประกอบด้วย [20]

- 1) กำหนดขอบข่ายปัญหา (Define)
- 2) วัดผลและทำความเข้าใจกระบวนการ (Measure)

3) วิเคราะห์ (Analyze)

4) ปรับปรุง (Improve)

5) ควบคุม (Control)

หรือที่เรียกรวมกันว่า DMAIC อย่างไรก็ตาม สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการเลือกโครงการต่างๆ คือ ปัจจัยสำคัญของกระบวนการธุรกิจ ผลิตภัณฑ์/บริการใดที่เกี่ยวข้องกับการบรรลุเป้าหมายนั้น กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์/บริการ และการวัดในกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

1. ขั้นตอนการค้นหาและระบุปัญหา (Define Phase)

เป็นการกำหนดหัวข้อปัญหาทางธุรกิจ ที่องค์กรกำลังประสบอยู่โดยพยายามจำกัดขอบข่ายของปัญหาให้แคบลงเรื่อยๆ และพยายามคัดเลือกปัญหาที่สร้างความเสียหายมากที่สุด เช่น ปัญหาที่เป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายมากที่สุด ปัญหาที่ทำให้ลูกค้าไม่พอใจ หรือในทางกลับกัน เลือกปัญหาที่แก้ไขแล้วจะทำให้เกิดผลตอบแทนมากที่สุด

2. ขั้นตอนการวัดผล (Measure Phase)

เป็นการกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจกับกระบวนการเริ่มต้นด้วยการวัดความสามารถของกระบวนการ เพื่อให้รู้ถึงโอกาสในการเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการ หรือ การปฏิบัติงานใดๆ อันหนึ่งและคำนวณว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นเท่าไร ซึ่งเรียกว่า ความถี่ในการเกิดของเสียโดยมีสิ่งสำคัญ ตลอดการทำงานในขั้นตอนการวัดที่จะต้องระลึกถึงเสมอ คือ เรื่องของลักษณะ “จุดวิกฤตต่อคุณภาพ” หรือ Critical to Quality – CTQ Characteristics หรือสิ่งที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อลักษณะคุณภาพหรือผลงาน โดยจะต้องค้นหาให้พบว่าสิ่งใดบ้างที่เป็นจุดวิกฤตต่อคุณภาพและความน่าเชื่อถือของค่าที่วัดได้นั้นจึงเป็นการทำแผนผังกระบวนการทำงาน เพื่อทำความเข้าใจการไหลของการทำงานและสิ่งที่ผลิต ซึ่งเป็นการให้รายละเอียดและเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ ในช่วงการวิเคราะห์ต่อไป

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อศึกษาทำความเข้าใจถึงผลของตัวแปรแต่ละตัวที่ได้คัดเลือกมา เพื่อคัดกรองตัวแปรหรือพิสูจน์ หาตัวแปรที่สำคัญที่สุดในกระบวนการที่เป็นสาเหตุของปัญหาที่นิยามไว้ โดยเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดผลซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมมา เพื่อเป็นสารสนเทศในการวางแผนทางการปรับปรุง แล้วทำการศึกษาอาการของปัญหา เพื่อหาความเชื่อมโยงกลับไปถึงสาเหตุในกระบวนการที่เป็นต้นเหตุแห่งความผันแปร เครื่องมือทางสถิติที่ใช้คือ การทดสอบ สมมติฐาน

4. ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

เป็นการปรับปรุงกระบวนการที่ได้ผ่านการวิเคราะห์เชิงปริมาณไปแล้วและสามารถสร้างข้อสรุปได้แล้วว่า ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อคุณภาพหรือ CTQ หรือจุดวิกฤติต่อคุณภาพและสิ่งนั้นไม่เป็นไปตามความคาดหวังที่ตั้งไว้โดย มุ่งเน้นในเรื่องการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการที่จะก่อให้เกิดผลการปรับปรุงที่ CTQ นั้น

5. ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

เป็นขั้นตอนการวางแผนและออกแบบระบบการควบคุมกระบวนการ เพื่อรักษาระดับการปรับปรุงให้เป็น ผลระยะยาว โดยการเฝ้าติดตามถึงปัจจัยการผลิตที่ได้รับการออกแบบว่ามีผลต่อผลิตภัณฑ์อย่างไร เพื่อคอย ควบคุมตัวแปรสำคัญๆ ให้อยู่ในช่วงมาตรฐานใหม่ที่เป็นระดับการทำงานที่ค้นพบใน ขั้นตอนการปรับปรุง จนมั่นใจ ว่าความสำเร็จที่ได้เป็นผลมาจากการปรับปรุงที่กระบวนการนั้นจริงๆ

2.5.2 เครื่องมือคุณภาพ

2.5.2.1 แผนภาพแสดงเหตุและผล

แผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์อย่างเป็น ระบบระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้นๆ ลักษณะเหมือนเป็นก้างปลา ซึ่งจะ ระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุหลัก (ซึ่งจะถูกจัดเป็นกลุ่ม) และสาเหตุย่อย (ที่เกิดจากสาเหตุหลักต่างๆ) เพื่อค้นหา หรือกำหนดสาเหตุแห่งปัญหาทั้งที่เป็นรากเหง้าของปัญหา ณ ขณะนั้น และสาเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต แผนภาพแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “แผนภาพก้างปลา (Fishbone Diagram)” หรือ “แผนภาพอิชิกาวา (Ishikawa Diagram)”

ลักษณะของแผนภาพแสดงเหตุและผล มีดังนี้ ระบุปัญหาหลักไว้บริเวณปลายลูกศรแกนกลางด้านขวาสุด (หัวปลา) และระบุกลุ่มสาเหตุหลักไว้บริเวณกิ่งสาขาหลักที่แตกออกมาจากลูกศรแกนกลาง (ก้างปลา) โดยที่กลุ่ม สาเหตุหลักมาจาก 5M1E ได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) กระบวนการทำงาน (Method) การวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อมในการปฏิบัติงาน (Environment) หรือสนใจกลุ่มสาเหตุ หลักที่มาจาก 4M1E (จะไม่รวมการวัด) แต่ก็สามารถแบ่งกลุ่มของสาเหตุเป็นอย่างอื่นได้ตามลักษณะของปัญหา [1]

หลังจากนั้นระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุย่อยที่เป็นไปได้ลงลึกลงไป โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยคำถามทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) มาเป็นเครื่องมือในการหาสาเหตุ ส่วนสิ่งที่ต้องระวังในการสร้างแผนภาพแสดงเหตุ และผล คือ หัวปลาดึงเป็นข้อความแห่งปัญหา ไม่ใช่เป็นวัตถุประสงค์หรือเป้าหมาย และไม่ใช่เป็นชื่อของสถานี งานหรือหน่วยงานใดๆ [21]

2.5.2.2 ทฤษฎี ECRS

ECRS คือ แนวคิดในการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน หรือที่เรียกว่า Waste ซึ่งเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นโดยไม่สร้างผลตอบแทนหรือประโยชน์ใดๆเพิ่มเติมให้กับองค์กร และในบางกรณีอาจทำให้การดำเนินงานช้าลงจากที่ควรจะเป็น ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการดำเนินงานเพิ่มขึ้น

โดยชื่อทฤษฎี ECRS คือ ตัวย่อของ Eliminate (การกำจัด) Combine (การรวม) Rearrange (การจัดเรียงใหม่) และ Simplify (การทำให้ง่ายขึ้น) ในส่วนของการนำหลักการ ECRS มาใช้ ถึงแม้ว่าจะแบ่งเป็น 4 หลักการ แต่ผู้ใช้อาจนำทฤษฎี ECRS มาใช้เพียงตัวเดียวหรือมากกว่าตัวเดียวก็ได้ ไม่ได้จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ทุกตัวทุกวิธีพร้อมกัน [22]

1. Eliminate (กำจัด) คือ ตัวแรกของ ECRS เป็นการตัดสิ่งที่ไม่จำเป็นในกระบวนการดำเนินงานหรือในระบบออกไป เพื่อลดระยะเวลาในการทำงานให้สั้นลง ตัวอย่างขั้นตอนที่ต้องกำจัด (Eliminate) เช่น การทำงานที่บริษัทไม่ได้นำข้อมูลมาใช้เลยหรือเป็นรายงานที่มีข้อมูลซ้ำซ้อนกับรายงานอื่นของบริษัท (ทำพอเป็นพิธี หรือทำเพราะคนรุ่นก่อนทำกันมา) เพราะการดำเนินงานที่มีขั้นตอนมากเกินไปจนเกิดความจำเป็นจะทำให้กระบวนการดำเนินงานยาวขึ้นหรือซับซ้อนขึ้น ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการทำงานมากขึ้น และการที่มีขั้นตอนซับซ้อนยังทำให้มีโอกาสผิดพลาดมากขึ้นด้วยเช่นกัน

2. Combine (รวม) คือ การหาวิธีรวมงานเข้าด้วยกันเพื่อประหยัดเวลาในการทำงาน (ด้วยการรวมขั้นตอน) ซึ่งในบางกรณียังช่วยลดจำนวนแรงงานที่ต้องใช้ของงานนั้นอีกด้วย เช่น การรวมเอกสารที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องและใกล้เคียงกันเอาไว้ในแผ่นเดียว เพื่อลดระยะเวลาทำเอกสารซ้ำซ้อน

3. Rearrange (จัดใหม่) หมายถึงการจัดเรียงใหม่ จัดลำดับความสำคัญในการทำงานใหม่ให้ง่ายขึ้นเพราะบางครั้งขั้นตอนการทำงานที่ใช้มาโดยตลอดอาจช้ากว่าขั้นตอนแบบใหม่ที่สลับขั้นตอนการทำงานเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น การจัดลำดับชิ้นส่วนในไลน์การผลิตใหม่เพื่อลดความผิดพลาดในการหยิบผิดจนนำไปสู่ความผิดพลาดในการผลิต ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการผลิตน้อยลง (ทำให้ไม่ต้องคอยกลับมาแก้ปัญหา)

4. Simplify (ทำให้ง่าย) คือ การปรับปรุงวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้น เพื่อลดระยะเวลาในการทำงานให้เสร็จเร็วขึ้นเพราะการทำงานที่ซับซ้อนนอกจากจะใช้เวลาแล้วยังมีโอกาสผิดพลาดจากความซับซ้อนเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การจัดวางเครื่องมือให้สะดวกต่อการทำงาน หรือการวางสินค้าที่ต้องส่งมอบให้ลูกค้าบ่อยๆไว้ในจุดที่สามารถขนย้ายออกได้ง่าย เป็นต้น

2.6 การศึกษาทฤษฎีการออกแบบทดสอบผลปฏิบัติงานของพนักงานในงานเชื่อม

2.6.1 การทดสอบผลปฏิบัติงานของพนักงาน

เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการที่จะใช้พิจารณาผลการปฏิบัติงานของพนักงานว่า พนักงานปฏิบัติงานได้ในระดับใด เพื่อ เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ตั้งไว้ รวมทั้งให้ข้อมูลย้อนกลับแก่พนักงานเพื่อทำให้มีการปรับปรุงการปฏิบัติงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

โดยการทดสอบผลการปฏิบัติงานของพนักงานมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อที่จะหามาตรฐานหลักเกณฑ์สำหรับการปฏิบัติงานของพนักงาน
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้คำแนะนำ ฝึกอบรมและพัฒนาการปฏิบัติงานของพนักงาน
3. เพื่อการแก้ไขปรับปรุงระบบวิธีการทำงาน และอุปกรณ์ในการทำงาน
4. เพื่อกระตุ้นให้ผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติงานมากขึ้น
5. เพื่อเป็นการประเมินให้เห็นประสิทธิภาพโดยส่วนรวมของโครงการ พัฒนาการบริหาร

2.6.2 การออกแบบการทดสอบตามมาตรฐาน WPS

ก่อนที่จะเริ่มงานเชื่อมใดๆจะต้องมีการกำหนดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมก่อน เช่น การกำหนดกระบวนการหรือวิธีการเชื่อม จากข้อมูลเหล่านี้จะต้องมีวิธีการรวบรวมข้อมูลละเอียดข้อกำหนดต่างๆขึ้นมาเพื่อให้ได้งานเชื่อมที่มีคุณภาพตรงตามที่ต้องการ ข้อมูลต่างๆ ซึ่งบอกถึงวิธีการที่จะใช้ในการเชื่อมเรียกว่า Welding Procedure Specification (WPS) เมื่อกำหนดวิธีการต่างๆ ก็จะมีการทดสอบข้อมูลที่กำหนดลงไปว่ามีสมบัติทางกลตามนั้นหรือไม่ หลังจากนั้นนำผลการทดสอบเขียนในเอกสารที่มีชื่อว่า Procedure Qualification Test Record (PQR) เมื่อสรุปได้ว่าวิธีการเป็นไปตามที่กำหนดใน WPS สามารถใช้งานได้ ก็จะมีการทดสอบฝีมือพนักงานเชื่อมว่าแต่ละคนมีความสามารถที่จะเชื่อมตามที่ WPS ระบุไว้หรือไม่ [10]

2.6.2.1 WPS ตามมาตรฐาน ASME Section IX

Welding Procedure Specification (WPS) เป็นการกำหนดข้อกำหนดงานเชื่อมเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเชื่อมแก่พนักงาน มีจุดประสงค์เพื่อให้งานเชื่อมมีคุณภาพที่เหมาะสมกับงานนั้นๆ ซึ่งสิ่งที่ออกแบบข้อกำหนดลงใน WPS เรียกว่า ตัวแปร (Variables) ตามมาตรฐาน ASME SEC .IX ได้แบ่งตัวแปรออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ตัวแปรที่สำคัญ (Essential Variable)
2. ตัวแปรที่สำคัญเพิ่มเติม (Supplementary Essential Variables)
3. ตัวแปรที่ไม่สำคัญ (Non-Essential Variables)

โดยนอกจากตัวแปร 3 ประเภท ตามความสำคัญของกระบวนการเชื่อมแล้ว ตัวแปรยังสามารถจัดเป็นกลุ่มๆตามชนิดของตัวแปรนั้นๆ อีกด้วย โดยจะแบ่งออกเป็น 10 กลุ่มดังนี้

1. กระบวนการเชื่อม (Welding Process)

จะระบุกระบวนการเชื่อมที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 กระบวนการเชื่อม (Welding Process)

กระบวนการเชื่อม	วิธีการเชื่อม
1. Shield Metal Arc Welding (SMAW)	● เป็นการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม โดยการเชื่อมมือ
2. Submerged Arc Welding (SAW)	● เชื่อมใต้ฟลักซ์ทั้งกึ่งอัตโนมัติและอัตโนมัติ
3. Gas Metal Arc Welding (GMAW)	● เชื่อมแบบแก๊สปกคลุมทั้งกึ่งอัตโนมัติและอัตโนมัติ
4. Flux Cored Arc Welding (FCAW)	● เชื่อมโดยลวดเชื่อมที่มีฟลักซ์อยู่ในไส้ ทั้งอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ
5. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	● เชื่อมโดยลวดเชื่อมทั้งสแตนเลสเป็นตัวยารักให้เกิดความร้อน และใช้แก๊สปกคลุมเชื่อมด้วยมือ
6. Oxyfuel Gas Welding (OFW)	● เชื่อมโดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของแก๊ส เชื่อมด้วยมือ
7. Plasma Arc Welding (PAW)	● เชื่อมด้วยอาร์กของลำพลาสมา แล้วให้ความร้อนขณะทำการเชื่อม มีทั้งเชื่อมด้วยมือและอัตโนมัติ
8. Electroslag Welding (ESW)	● เชื่อมโดยได้รับความร้อนจากการหลอมละลายของสแลก (Slag) แบบเชื่อมอัตโนมัติ

นอกจากกระบวนการที่กำหนดแล้ว ต้องมีการระบุด้วยว่า เป็นการเชื่อมด้วยมือ อัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ หรือถ้าเป็นการเชื่อมโดยใช้แก๊สปกคลุม ต้องระบุด้วยลวดเชื่อมเป็นชนิดเส้นเปลือยหรือชนิดไม่เส้นเปลือย

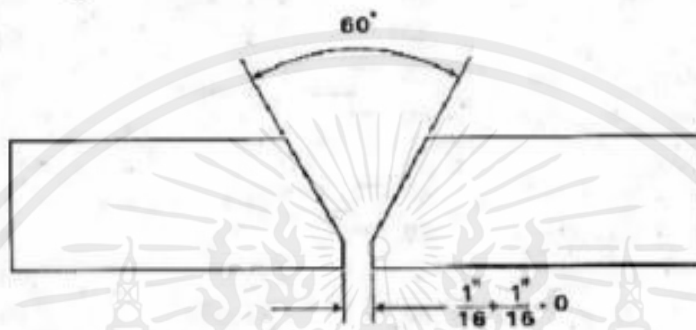
2. รอยต่อ (Joint)

ลักษณะที่ขึ้นงาน 2 ชิ้นมาต่อกัน ซึ่งมีอยู่หลายลักษณะ เช่น รอยต่อชน รอยต่อชน รอยต่อรูปตัวที เป็นต้น ลักษณะการต่อแต่ละชนิดอาจจะมีทั้งแบบบากเป็นร่อง เพื่อให้เกิดการหลอมละลายเข้ากันได้มากขึ้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแนวเชื่อม การบากเป็นร่องยังแบ่งเป็นหลายลักษณะ เช่น เป็นรูปตัวยู (U) เป็นรูปตัวเจ (J) เป็นรูปตัววี (V) รวมไปถึงมุมรวมของรอยต่อ (Bevel Angle) ระยะห่างของชิ้นงาน เป็นต้น นอกจากนี้ ควรแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าเป็นการเชื่อมด้านเดียวหรือทั้งสองด้าน ในกรณีที่เชื่อมด้านเดียวก็ต้องระบุเพิ่มเติมหากว่ามีแผ่น

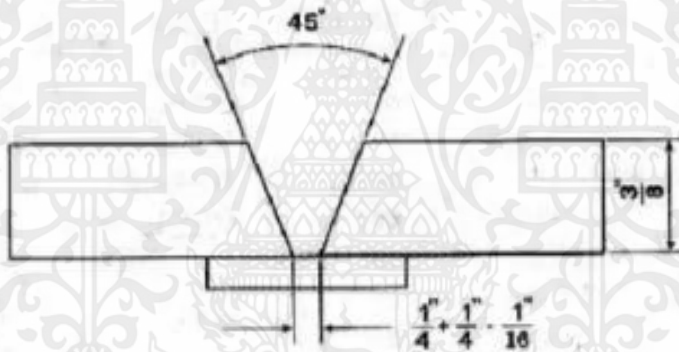
รองหลังงานเชื่อม (Backing Strip) ซึ่งการจะใส่แผ่นรองหลังหรือไม่ก็เป็นตัวแปรในการเชื่อมเช่นเดียวกัน และควร
จะระบุชนิดของแผ่นรองหลังด้วยว่าเป็นชนิดโลหะ อโลหะหรือใช้แก๊ส

ในออกแบบรอยต่อในงานเชื่อมที่จะกำหนดใน WPS ควรเขียนรูปและขนาดต่างๆลงใบแบบให้ชัดเจน
เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าใจง่ายขึ้น ตัวอย่างรอยต่อ

(ก)



(ข)



รูปที่ 2.42 แสดงรอยต่อที่กำหนดใน WPS

3. ชิ้นงาน (Base Metal)

ต้องระบุชนิดของวัสดุที่จะนำมาเชื่อมตามมาตรฐาน ASME โดยระบุ Specification Number , P-
Number และ Group Number และระบุช่วงความหนาของชิ้นงาน ในกรณีที่ชิ้นงานเป็นท่อ ให้บอกขนาดของท่อ
หากวิธีในกระบวนการเชื่อมใช้วัสดุชนิดที่นอกเหนือไปจากมาตรฐาน ASME ต้องระบุหมายเลขแสดงของวัสดุนั้นๆ
ด้วย หรือระบุส่วนผสมทางเคมีและคุณสมบัติทางกลตัวอย่างการจัดกลุ่มวัสดุของ ASME SECTION IX ดังแสดงใน
รูปที่ 2.43

DATA - P-NUMBERS					
QW-422					
P-NUMBERS					
Grouping of Base Metals for Qualification					
P No.	Spec. No.	Grade	Minimum Specified Tensile, ksi [Note (1)]	Type of Base Metal	
				Nominal Composition	Product Form
Steel and Steel Alloys					
1	SA-31	A	45	(C)	Rivets
		B	58		
	SA-36	—	58	(C-Mn-Si)	Plate
	SA-53	Type S, Gr. A	48	(C)	Smis. Pipe
		Type S, Gr. B	60	(C-Mn)	Smis. Pipe
		Type E, Gr. A	48	(C)	Resistance Welded Pipe
		Type E, Gr. B	60	(C-Mn)	Resistance Welded Pipe
		Type F	45	(C)	Furnace Welded Pipe
	SA-106	A	48	(C-Si)	Smis. Pipe
		B	60		
	SA-134	—	—		Of SA-283 and SA-285
	SA-178	A	47 ¹	(C)	Electric-Resistance Welded
		C	60		(ERW) Tube
	SA-179	—	—	(C)	Smis. Tube
	SA-181	Cl. 60	60	(C-Si)	Pipe Flange
	SA-192	—	47 ¹	(C-Si)	Smis. Tube
	SA-210	A-1	60	(C-Si)	Smis. Tube
	SA-214	—	—	(C)	ERW Tube
	SA-216	WCA	60	(C-Si)	Casting
	SA-226	—	47 ²	(C-Si)	ERW Tube
	SA-234	Marking WPB	60	(C-Mn-Si)	Piping Fitting
	SA-266	Cl. 1	60	(C-Si)	Forging
	SA-283	A	45	(C)	Plate
		B	50		
		C	55		
		D	60		
	SA-285	A	45	(C)	Plate
		B	50		
		C	55		
	SA-333	1	55	(C-Mn)	Smis. and Welded Pipe
		6	60	(C-Mn-Si)	Smis. and Welded Pipe
	SA-334	1	55	(C-Mn)	Welded Tube
		6	60	(C-Mn-Si)	Welded Tube

รูปที่ 2.43 ตารางเชื่อมมาตรฐาน

4. โลหะเติม (Filler Metal)

โลหะเติม หมายถึง โลหะที่ใช้เติมลงในรอยต่อของชิ้นงาน 2 ชิ้น ที่จะเชื่อมติดกัน ในกรณีที่เชื่อมโลหะบางๆแล้วใช้กระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สหรือทิก อาจไม่ต้องใช้โลหะเติมก็ได้ซึ่งจะใช้วิธีหลอมละลายทั้งสองชิ้นให้มาติดกันเท่านั้น

โดยโลหะเติมจะถูกแบ่งเป็นชนิดต่างๆ เช่นเดียวกันกับโลหะชิ้นงาน โดย ASME ได้แบ่งโลหะเติมออกเป็นกลุ่มๆเรียกว่า F-Number ซึ่งนอกจากจะแบ่งตามชนิดของโลหะแล้ว ยังแบ่งตามชนิดของฟลักซ์อีกด้วย ซึ่งสามารถเปรียบเทียบมาตรฐาน ASME และ มาตรฐาน AWSได้ ดังนี้

QW-432 F-NUMBERS Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification			
QW	F-No.	ASME Specification No.	AWS Classification No.
Steel and Steel Alloys			
432.1	1	SFA-5.1 & 5.5	EXX 20, EXX 24, EXX 27, EXX 28
	2	SFA-5.1 & 5.5	EXX 12, EXX 13, EXX 14
	3	SFA-5.1 & 5.5	EXX 10, EXX 11
	4	SFA-5.1 & 5.5	EXX 15, EXX 16, EXX 18, EXX 48
	4	SFA-5.4 other than austenitic	EXX 15, EXX 16
	5	SFA-5.4 (austenitic)	EXX 15, EXX 16
	6	SFA-5.2	RX
	6	SFA-5.17	FCX-EXX
	6	SFA-5.9	ERXX
	6	SFA-5.18	ERXXS-X
	6	SFA-5.20	EXXT-X
	6	SFA-5.22	EXXTX-X
	6	SFA-5.23	FCX-EXXX-X, FCX-ECXXX-X, and FCX-EXXX-Xn, FCX-ECXXX-XN
	6	SFA-5.25	FESXX-EXXXXX-EW
	6	SFA-5.26	EOXXTXXX
	6	SFA-5.28	ER-XXX-X and E-XXX-X
	6	SFA-5.29	EXXTX-X
	6	SFA-5.30	IN XXXX
Aluminum and Aluminum-Base Alloys			
432.2	21	SFA-5.10	ER 1100
	22	SFA-5.10	ER 5554, ER 5556, ER 5558, ER 5183, ER 5654
	23	SFA-5.10	ER 4043, ER 4047, ER 4145
	24	SFA-5.10	R-SC 51A, R556.0
Copper and Copper-Base Alloys			
432.3	31	SFA-5.6	ECu
	31	SFA-5.7	ER Cu
	31	SFA-5.27	ER Cu

รูปที่ 2.44 ตารางโลหะเติม

นอกจาก ASME จะแบ่งกลุ่มของโลหะเติมแล้ว ยังบางชนิดของแนวเชื่อมตามส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมนั้น โดยแบ่งตาม P-Number ซึ่งถือว่าตัวแปรในกรณีของเหล็กเท่านั้น การแบ่งประเภทของ P-Number ดังแสดงในรูปที่ 2.45

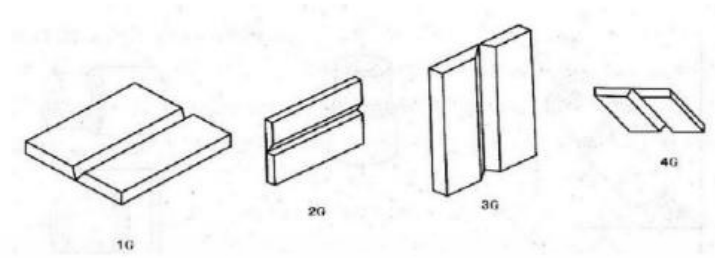
DATA - P-NUMBERS					
QW-422					
P-NUMBERS					
Grouping of Base Metals for Qualification					
P No.	Spec. No.	Grade	Minimum	Type of Base Metal	
			Specified Tensile, ksi [Note (1)]	Nominal Composition	Product Form
Steel and Steel Alloys					
1	SA-31	A	45	(C)	Rivets
		B	58		
	SA-36	...	58	(C-Mn-Si)	Plate
	SA-53	Type S, Gr. A	48	(C)	Smls. Pipe
		Type S, Gr. B	60	(C-Mn)	Smls. Pipe
		Type E, Gr. A	48	(C)	Resistance Welded Pipe
		Type E, Gr. B	60	(C-Mn)	Resistance Welded Pipe
		Type F	45	(C)	Furnace Welded Pipe
	SA-106	A	48	(C-Si)	Smls. Pipe
		B	60		
	SA-134	...	...	(C)	Of SA-283 and SA-285
	SA-178	A	47 ²		Electric-Resistance Welded
		C	60		(ERW) Tube
	SA-179	...	...	(C)	Smls. Tube
	SA-181	Cl. 60	60	(C-Si)	Pipe Flange
	SA-192	...	47 ²	(C-Si)	Smls. Tube
	SA-210	A-1	60	(C-Si)	Smls. Tube
	SA-214	...	...	(C)	ERW Tube
	SA-216	WCA	60	(C-Si)	Casting
	SA-226	...	47 ²	(C-Si)	ERW Tube
	SA-234	Marking WPB	60	(C-Mn-Si)	Piping Fitting
	SA-266	Cl. 1	60	(C-Si)	Forging
	SA-283	A	45	(C)	Plate
		B	50		
		C	55		
		D	60		
	SA-285	A	45	(C)	Plate
		B	50		
		C	55		
	SA-333	1	55	(C-Mn)	Smls. and Welded Pipe
		6	60	(C-Mn-Si)	Smls. and Welded Pipe
	SA-334	1	55	(C-Mn)	Welded Tube
		6	60	(C-Mn-Si)	Welded Tube

รูปที่ 2.45 ตารางโลหะเติม

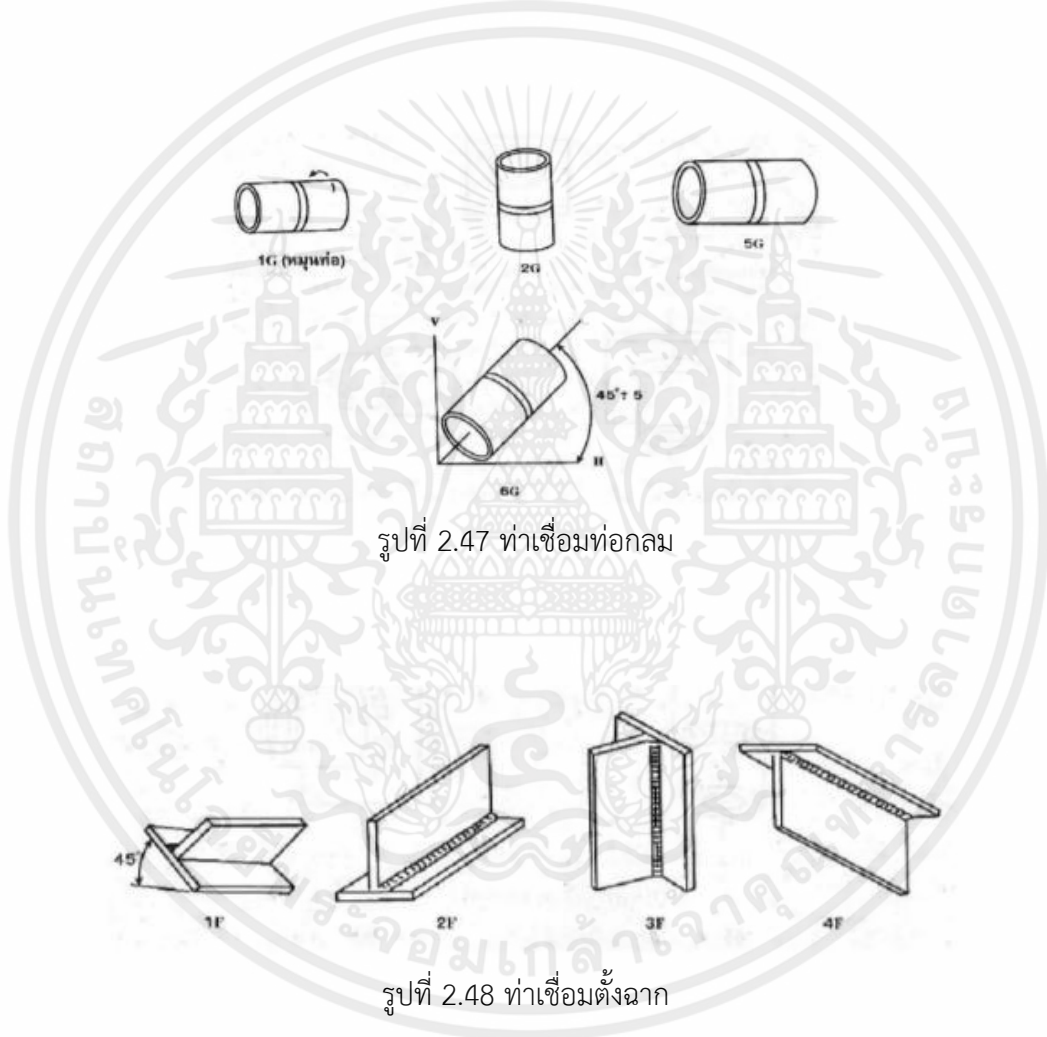
หมายเหตุ : ค่าที่ระบุค่าเดียวเป็นค่าที่สูงสุด

5. ท่าเชื่อม (Position)

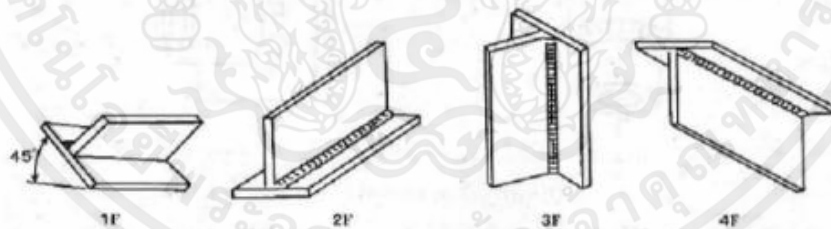
ต้องมีการกำหนดท่าเชื่อมทุกท่าที่ทำการเชื่อม เช่น ถ้าต้องการทำการเชื่อมในท่าตั้งต้องระบุด้วยว่าเชื่อมขึ้น (Uphill) หรือเชื่อมลง (Downhill) โดยระบุในทุกขั้นตอนของการเชื่อม การระบุท่าเชื่อมหลายๆ ท่ารวมกันสามารถทำได้หากสามารถแสดงถึงท่าเชื่อมนั้นๆ ได้อย่างชัดเจน เช่น การวาดภาพประกอบ เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการที่ดีที่สุด คือ การระบุท่าเชื่อมเพียงท่าเดียวต่อเอกสารวิธีในการเชื่อม 1 ฉบับ สำหรับท่าเชื่อมในมาตรฐานนี้แสดงในรูปที่ 2.46 - 2.49



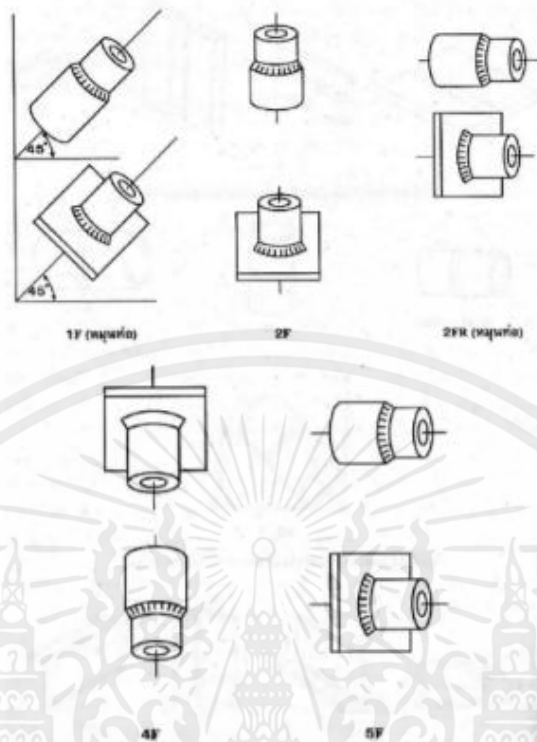
รูปที่ 2.46 ท่าเชื่อม



รูปที่ 2.47 ท่าเชื่อมท่อกลม



รูปที่ 2.48 ท่าเชื่อมตั้งฉาก



รูปที่ 2.49 ท่าเชื่อมท่อต่อแปลน

6. การอุ่นชิ้นงาน (Preheat)

การอุ่นชิ้นงาน หมายถึง การให้ร้อนกับโลหะชิ้นงานที่จะเชื่อมให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยปกติจะทำเมื่อโลหะนั้นมีคุณสมบัติในการเชื่อมไม่ดี วัตถุประสงค์การแตกร้า หรือโลหะที่มีความหนา มาก และเพื่อเป็นการลดความขึ้นบนผิวของชิ้นงาน โดยการกำหนดอุณหภูมิในการอุ่นชิ้นงานจะกำหนดให้มีอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานห่างแนวเชื่อมประมาณ 2-3 นิ้ว เมื่อก่อนการเชื่อม หลังจากการเชื่อมและก่อนที่จะเชื่อมในแนวเชื่อมถัดไป (Interpass) ในบางครั้งอาจจะระบุวิธีการอุ่นชิ้นงานด้วย เช่น ใช้ขดลวดไฟฟ้า ใช้หัวเผา เป็นต้น

การกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นชิ้นงานมักจะกำหนดโดยใช้มาตรฐานที่ใช้สำหรับออกแบบชิ้นงานนั้น และถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับทุกกระบวนการเชื่อม ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงไปมากกว่า 37 °C

การเพิ่มอุณหภูมิในการเชื่อมแนวถัดไป (Interpass Temperature) มากกว่า 30 °C สำหรับโลหะที่ต้องการทดสอบแรงกระแทก ถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญเพิ่มเติม

7. กระบวนการทางความร้อนหลังการเชื่อม (Postweld Heat Treatment)

หมายถึง การให้ความร้อนด้วยวิธีการต่างๆ ให้กับแนวเชื่อมหลังจากการเชื่อม มักจะเขียนย่อ PWHT ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดความเค้นภายในของแนวเชื่อม มักจะกำหนดโดยมาตรฐานที่ใช้ทำการออกแบบชิ้นงานนั้น และถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญในสำหรับทุกกระบวนการเชื่อม โดยการทำให้ PWHT ต้องกำหนดข้อมูลต่างๆดังนี้

1. อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน
2. ช่วงเวลาที่จะรักษาอุณหภูมิในการอบ
3. อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ
4. การทำให้ PWHT หลังจากการเชื่อมเสร็จทันที หรือภายในเวลาเท่านั้น
5. วิธีการทำให้ PWHT และการควบคุมอุณหภูมิ

8. แก๊ส (Gas)

แก๊สในที่นี้หมายถึงแก๊สที่ใช้ความร้อนในกระบวนการเชื่อมแบบ Oxyfuel Gas Welding รวมถึงแก๊สเฉื่อยที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อมแบบทิก กระบวนการเชื่อมแบบมิก กระบวนการเชื่อมแบบพลาสมา และอื่นๆซึ่งอาจเป็นแก๊สชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดผสมกันก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการเชื่อม โลหะที่เชื่อม และผู้ออกแบบงานเชื่อมเอง

สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับแก๊สที่ต้องการกำหนดลงใน WPS มีดังนี้

1. ชนิดของแก๊สที่ใช้
2. อัตราส่วนผสม (ในกรณีที่ใช้แก๊สผสม หรือความบริสุทธิ์ของแก๊ส)
3. อัตราการไหล (ปริมาตรต่อเวลา)
4. ใช้แก๊สรองหลัง (Backing Gas) ด้วยหรือไม่

การกำหนดข้อมูลเกี่ยวกับแก๊สที่กล่าวมานี้ ถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญทั้งสิ้น

9. คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Characteristics)

คุณสมบัติทางไฟฟ้า หมายถึง สภาพทางไฟฟ้าของการเชื่อม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการเชื่อมโดยการใช้ความร้อนจากการอาร์คของกระแสไฟฟ้า เนื่องจากปริมาณความร้อนจะมีผลกระทบโดยตรงกับคุณสมบัติของโลหะที่ต้องการทำการทดสอบหาค่าความเหนียว สภาพไฟฟ้าจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญเพิ่มเติม

อีกประการหนึ่ง คือ การเชื่อมบางกระบวนการและลวดเชื่อมบางชนิดถูกออกแบบมาให้ใช้ได้เฉพาะขั้วไฟฟ้าแบบใดแบบหนึ่ง (DCEN DCEP หรือ AC) หรือใช้กับกระแสไฟฟ้าระดับใดระดับหนึ่งเท่านั้น

การเปลี่ยนแปลงอาจทำให้ไม่สามารถเชื่อมได้เลย ดังนั้นต้องกำหนดข้อมูลเหล่านี้ให้ชัดเจน

สำหรับข้อมูลที่ต้องการในเรื่องของสภาพคุณลักษณะทางไฟฟ้า มีดังนี้

1. ชนิดของขั้วไฟฟ้า (DCEN DCEP หรือ AC)
2. ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

3. แรงเคลื่อนไฟฟ้า
4. อัตราการป้อนลวดเชื่อม
5. ความเร็วในการเชื่อม (ความยาวของแนวเชื่อมต่อเวลา)
6. ขนาดของแท่งทั้งสแตน (ในกระบวนการเชื่อมทิก)

การระบุค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้า ต้องกระทำในทุกๆชั้นของแนวเชื่อม โดยอาจะระบุเป็นค่าเฉลี่ย $\pm 15\%$ และค่าต่ำสุด

10. เทคนิค (Technique)

เทคนิคเป็นตัวแปรย่อยๆซึ่งยากแก่การจัดรวมอยู่ในตัวแปรใหญ่ๆได้ ส่วนมากตัวแปรในเรื่องเทคนิคนี้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการเชื่อมในแต่ละกระบวนการ และส่วนใหญ่จะเป็นตัวแปรที่ไม่สำคัญ เช่น วิธีการทำความสะอาด วิธีการกำจัดข้อบกพร่อง วิธีการเซาะร่องด้านหลัง การพินนิ่ง ตัวแบบฟอร์ม WPS



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานของโครงการฉบับนี้จะนำขั้นตอนการดำเนินงานของ DMAIC มาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ โดยการดำเนินงานจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase)
2. ขั้นตอนการวัดปัญหา (Measure Phase)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analyze Phase)
4. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)
5. ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

3.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define phase)

3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ

จากบริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ทำการผลิตเครื่องจักรอัตโนมัติ สำหรับบริษัทชั้นนำทั้งในประเทศและต่างประเทศ [24]

3.1.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

บริษัทกรณีศึกษา มีผลิตภัณฑ์ที่บริษัทผลิต 12 ประเภท ได้แก่

1. สายการประกอบ (Assembly Line) เรียกว่าสายการประกอบซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายในขนาดที่กะทัดรัดและทำงานได้อย่างมั่นคง ขั้นตอนกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ที่มักจะรวมอยู่ในสายการประกอบมีดังนี้

- 1.1 กระบวนการมาร์กด้วยเลเซอร์ (Laser Mark Process)
- 1.2 กระบวนการกด (Press Process)
- 1.3 ป้อนอัตโนมัติ & กระบวนการขันให้แน่น (Auto Feed & Tightening Process)

- 1.4 กระบวนการเคลือบ (Glue Apply Process)
- 1.5 การทดสอบการรั่ว (Leak Test)
- 1.6 การตรวจสอบระบบการมองเห็น (Vision System Inspection)
- 1.7 การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Inspection)
- 1.8 การตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability)



รูปที่ 3.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ Assembly line

2. ระบบหุ่นยนต์ (Robot System) เป็นระบบหุ่นยนต์ที่กำลังนำหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมาทำงานกับอุปกรณ์เสริมในรูปแบบอัตโนมัติ จุดประสงค์คือเพื่อย้ายผู้คนออกจากสถานที่ทำงานที่เป็นอันตราย เพื่อลดความผิดพลาดของผู้คนเนื่องจากความเหนื่อยล้าจากการทำงานและการทำงานซ้ำๆ และเพื่อลดการฝึกอบรมทักษะของผู้ปฏิบัติงานและเพื่อเร่งการทำงาน

นอกจากนี้ด้วยความรู้และทักษะของโปรแกรมเมอร์และวิศวกรออกแบบทำให้ระบบหุ่นยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า ระบบหุ่นยนต์มีหลายประเภท เช่น

- 2.1 หุ่นยนต์สำหรับงานปิดผนึก (Robot Sealant)
- 2.2 หุ่นยนต์สำหรับงานหยิบจับ หรือยกสิ่งของ (Robot Handling)
- 2.3 หุ่นยนต์สำหรับงานเชื่อม (Robot Welding)
- 2.4 หุ่นยนต์สำหรับงานจัดเรียงสินค้าบนพาเลทอัตโนมัติ (Robot Palletizer)



รูปที่ 3.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ระบบหุ่นยนต์

3. เครื่องกด (Press Machine) เป็นเครื่องที่ใช้อัดชิ้นงานเข้าด้วยกัน ซึ่งถูกออกแบบให้ใช้งานง่ายและตอบสนองความต้องการสูงสุดของลูกค้า โดยเครื่องกดมีทั้งหมด 4 ประเภทที่ผลิต ดังนี้

3.1 เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press) เป็นระบบกดสำหรับงานหนักที่ต้องการแรงดันสูงและคงที่ โดยปกติไม่สามารถควบคุมแรงที่ปรับได้และช่วงการกด แต่สามารถทำได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์

3.2 เครื่องกดอากาศไฮโดร (Air Hydro Press) เป็นระบบกดที่ผสมระหว่างลมกับน้ำมัน มีข้อได้เปรียบในการรักษาแรงดันให้คงที่และสะอาด แต่แรงดันไม่สูงเท่ากับเครื่องอัดไฮดรอลิก ปกติไม่สามารถควบคุมแรงที่ปรับได้และช่วงของการกดแบบกดไฮดรอลิก แต่สามารถทำได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์

3.3 เครื่องกดอากาศ (Air Press) เป็นระบบกดโดยใช้ลม ข้อดีคือราคาไม่สูงและสะอาดแต่ไม่สามารถให้แรงดันสูงเนื่องจากการพังทลายของลม แรงกดดันไม่คงที่ และโดยปกติไม่สามารถควบคุมแรงที่ปรับได้และช่วงการกดแบบกดไฮดรอลิก แต่สามารถทำได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์

3.4 เครื่องกดเซอร์โว (Servo Press) เป็นระบบกดที่ใช้ไฟฟ้าจึงสะอาด ให้ความละเอียดของแรงสูงและแรงดันสูง นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมระยะและแรงกดได้ตามต้องการ เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดของแรง ปรับแรงกด และช่วงบ่อยๆ



รูปที่ 3.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องกด

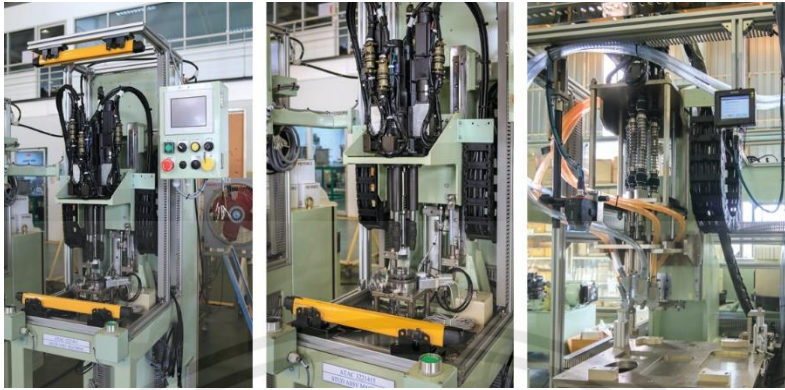
4. เครื่องล้างและเครื่องเป่าแห้ง (Washing & Drying Machine) เป็นการออกแบบและผลิตเครื่องซักผ้าอัตโนมัติที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้โดยพิจารณาจากการวางชิ้นงาน การวางชิ้นงานในเครื่อง ขนาดและจำนวนห้องล้าง ตำแหน่งหัวฉีด และหัวเป่าแห้ง เพื่อผลลัพธ์ความสะอาดและความแห้งที่ดีที่สุด ประหยัดน้ำและลมมากที่สุด



รูปที่ 3.4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องล้างและเป่าแห้ง

5. เครื่องขันเกลียว (Tightening Machine) จากการประกอบชิ้นส่วนหลายๆ ชิ้นจำเป็นต้องมีการขันแน่นที่ครอบคลุมและแม่นยำตามข้อกำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ระบบเซอร์โวมอเตอร์ประกอบชิ้นงานแทนระบบลมที่ไม่เสถียร

นอกจากจะให้ค่าแรงบิดที่ถูกต้องและแม่นยำแล้ว ยังทำงานกับสปินเดิลหลายตัวพร้อมๆ กัน และคงค่าแรงบิดที่กระชับของชุดประกอบไว้เพื่อพิจารณาว่างานดีหรืองานไม่ดี โดยจะออกแบบเครื่องขันให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าทั้งแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ สำหรับระบบอัตโนมัติ ชิ้นงานจะถูกย้ายเข้าไปในเครื่องและป้อนโบลต์หรือน็อตเข้าไปในชิ้นงานโดยอัตโนมัติ สำหรับระบบกึ่งอัตโนมัติ ลูกค้ายจะเตรียมสกรูและขันสกรูให้แน่นก่อนที่เครื่องจะขันให้แน่นเพื่อให้ได้ค่าแรงบิดตามสเปค



รูปที่ 3.5 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องขันเกลียว

6. เครื่องเติมและบรรจุ (Filling & Apply Machine) เป็นเครื่องบรรจุที่ทำงานอัตโนมัติเต็มรูปแบบกับเครื่องอ่านบาร์โค้ดเพื่ออ่านโค้ดของชิ้นงาน นอกจากนี้ยังมีระบบป้องกันความผิดพลาด (POKA-YOKE) การตรวจจับและป้องกันข้อผิดพลาดในการเลือกประเภทของเหลว ปริมาตรที่จะเติม และเก็บข้อมูลไว้เพื่อติดตามประเภทของของเหลวที่เราผลิตมีดังนี้

- 6.1 น้ำมันเกียร์รถยนต์ (Automotive Transmission Oil)
- 6.2 น้ำมันเบรก (Brake Oil)
- 6.3 ของเหลวหม้อน้ำ (Radiator Liquid)
- 6.4 น้ำมันเครื่อง (Engine Oil)
- 6.5 น้ำมันพวงมาลัยเพาเวอร์ (Power Steering Oil)
- 6.6 ก๊าซทำความเย็น (Refrigerator Gas)



รูปที่ 3.6 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องเติมและบรรจุ

7. อุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง (Jig & Fixture) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรองรับและรักษาตำแหน่งระหว่างชิ้นงานและเครื่องมือหรือระหว่างชิ้นงานในกระบวนการประกอบ ซึ่งมีความสำคัญมากในระบบ Automation เพราะหากไม่มีจะไม่สามารถรักษาตำแหน่งของชิ้นงานได้ทุกครั้ง จะทำให้เครื่องอัตโนมัติมีความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 3.7 ลักษณะของผลิตภัณฑ์อุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง

8. เครื่องทดสอบการรั่ว (Leak Test Machine) เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจจับการรั่วซึมของชิ้นงานหรือภายในชิ้นงาน ซึ่งใช้ได้ทั้งลมและน้ำ ใช้ทั้งระบบตรวจจับแรงดันและการสังเกตการรั่วไหลด้วยสายตา หากเป็นระบบตรวจสอบแรงดัน เครื่องจะแสดงข้อมูลผ่านหน้าจอแสดงผลและบันทึกการตรวจสอบย้อนกลับ ชิ้นส่วนที่ชำรุดจะถูกทำเครื่องหมายและแยกออกจากกัน ชิ้นส่วนที่ผ่านการทดสอบจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิต



รูปที่ 3.8 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องทดสอบการรั่ว

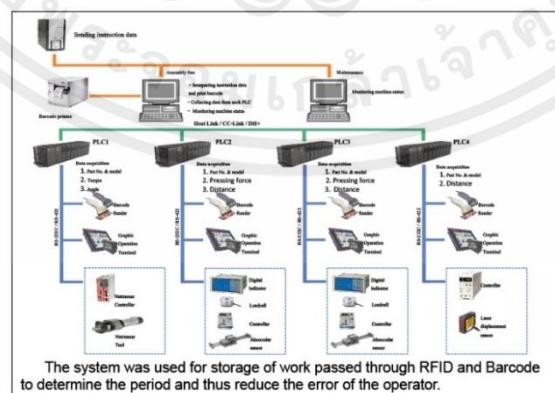
9. ระบบจัดเก็บและเรียกค้นข้อมูลอัตโนมัติ (Automated Storage & Retrieval System : ASRS หรือ AS/RS) ประกอบด้วยระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่หลากหลายสำหรับการวางและดึงโหลดโดยอัตโนมัติจากตำแหน่งที่จัดเก็บที่กำหนดไว้ ระบบจัดเก็บและเรียกค้นข้อมูลอัตโนมัติ (AS/RS) มักใช้ในแอปพลิเคชันที่มีการย้ายโหลดเข้าและออกจากที่จัด

- เก็บปริมาณมาก ความหนาแน่นของการจัดเก็บมีความสำคัญเนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่
- ไม่มีการเพิ่มมูลค่าในกระบวนการนี้ (ไม่มีการประมวลผล หรือเฉพาะการจัดเก็บและการขนส่ง)
- ความแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากอาจทำให้โหลดเสียหายได้ราคาแพง



รูปที่ 3.9 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ระบบจัดเก็บและเรียกค้นข้อมูลอัตโนมัติ

10. ระบบตรวจสอบย้อนกลับและการจัดเก็บข้อมูล (Traceability System & Data Storage) เป็นระบบที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลอย่างมีระเบียบและแม่นยำสูง ข้อมูลจะถูกส่งผ่านโดยการวัดค่า ตัวอย่างเช่น ค่าความดัน โดยใช้โหลดเซลล์ในการวัด ค่าแรงบิดโดยใช้เครื่องวัดแรงบิดในการวัด ระบบใช้ RFID และบาร์โค้ดในการจัดเก็บ



รูปที่ 3.10 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ระบบจัดเก็บและเรียกค้นข้อมูลอัตโนมัติ

11. การซื้อขาย (Trading) เป็นผู้แทนจำหน่ายและฝ่ายการค้าซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของธุรกิจกลุ่ม A.I (Artificial Intelligence) ที่จำหน่ายและจัดหาเครื่องจักร อุปกรณ์และสินค้าทั่วไป วัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในอุตสาหกรรมทุกประเภท เช่น ยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ เกษตรกรรม ปิโตรเคมี และกลุ่มก่อสร้าง โดยมีกลุ่มลูกค้า ดังนี้

- DAICHI DENTSU Brand
- YAMADA Brand
- HIROTAKA Brand
- KANTO SEIKI Brand



รูปที่ 3.11 ลักษณะของผลิตภัณฑ์การค้า

12. การผลิตตามคำสั่ง (Made to Order)

3.1.1.2 กระบวนการผลิตของบริษัทการศึกษา

กระบวนการผลิตของบริษัทศึกษาประกอบด้วย 6 แผนก ดังนี้

1. แผนกการขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้าง (Forming and Structural Inspection) เป็นแผนกงานขึ้นรูปโครงสร้าง โดยการขึ้นโครงสร้างมี 2 ส่วน คือ 1) Structure เป็นแบบงานโครงสร้างที่ทำการตัด เชื่อมประกอบ โดยไม่ต้องทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการอื่น และ 2) Machine Part เป็นแบบงานที่ต้องทำการขึ้นรูปขึ้นส่วนด้วยเครื่องมือกล (Machine) ก่อนนำมาเชื่อมประกอบ และเมื่อทำการขึ้นรูปเสร็จ จะนำมาตรวจสอบงานขึ้นรูป

2. แผนกพ่นสี (Painting) เป็นแผนกที่รับโครงสร้างมาจากแผนกการขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้างซึ่งจะถูกนำส่งมาสู่งานพ่นสีตัวโครงสร้าง โดยกระบวนการทั้งหมดจะเป็นไปตามลำดับตั้งแต่ขั้นตอนการรับข้อมูล Code ของลูกค้า การขัดชิ้นงาน การผสมสี จนถึงขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพสี

3. แผนกประกอบเครื่องจักร (Assembling Machines) เป็นแผนกประกอบเครื่องจักรโดยจะนำโครงสร้างจากแผนกพ่นสีมาประกอบตามแบบเครื่องจักรและทำการตรวจสอบงานประกอบตามค่ามาตรฐานที่กำหนดในแบบ

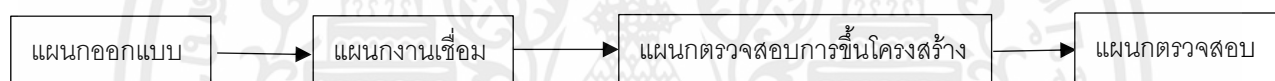
4. แผนทดสอบเครื่องจักร (Machine Testing) เป็นแผนที่ทำการทดสอบเครื่องจักรก่อนที่จะนำส่งไปยังลูกค้าเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรเป็นไปตามรูปแบบที่กำหนดหรือไม่

5. แผนบรรจุเครื่องจักรและขนส่ง (Packing Machine and Machine Transport)

6. แผนติดตั้งเครื่องจักรและบริการหลังการขาย (Machine Installation and After Sales Service)

3.1.1.3 ข้อมูลแผนกที่ทำการศึกษา

แผนกที่ทำการศึกษา คือ แผนงานเชื่อม (Fabrication) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผนกขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้าง (Forming and Structural Inspection) ซึ่งเป็นแผนกที่มีความสำคัญเนื่องจากการขึ้นรูปที่แข็งแรงและสวยงามเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างเครื่องจักรให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ โดยแผนกนี้เมื่อทำการขึ้นรูปเสร็จก็จะถูกส่งไปยังแผนกตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมและส่งไปยังแผนกพ่นสีและส่งไปที่แผนกประกอบเครื่องจักรและทำการทดสอบเครื่องจักรก่อนจะนำมาตรวจสอบคุณภาพเครื่องจักรก่อนที่จะนำส่งไปยังลูกค้า ซึ่งเป็นขั้นตอนในการตรวจสอบมาตรฐานของบริษัทอีกส่วนให้กับลูกค้า



รูปที่ 3.12 การไหลของชิ้นงานก่อนเข้าและหลังศึกษาในแผนงานเชื่อม

3.1.1.4 หน้าที่ของแผนก

แผนงานเชื่อมเป็นแผนกที่ขึ้นรูปโครงสร้างของชิ้นงานตามแบบซึ่งในแผนกนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงาน

1. ขั้นตอนการออกแบบ (Design) เป็นขั้นตอนการออกแบบเครื่องจักรตามความต้องการของลูกค้าโดยจะออกแบบ Drawing ตามมาตรฐานซึ่งในขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยหน้าที่อื่น ได้แก่

- การสั่งซื้อวัสดุ เป็นการสั่งซื้อวัสดุตามแบบที่กำหนดเพื่อส่งไปยังขั้นตอนการตัด

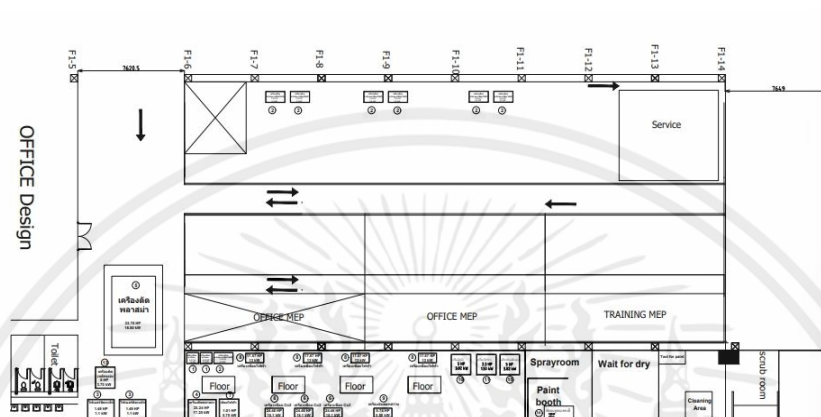
2. ขั้นตอนการตัด (Cutting) เป็นขั้นตอนการนำวัสดุที่ทำการสั่งซื้อมาวัดขนาดและตัดตามแบบ Drawing ที่กำหนดมา

3. ขั้นตอนการเชื่อม (Welding) เป็นขั้นตอนการขึ้นรูปโครงสร้าง

4. ขั้นตอนการตรวจสอบรอยเชื่อม (Welding Inspection) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างหลังทำการเชื่อมขึ้นรูปโครงสร้าง

3.1.2 แผนผังของแผนงานที่ทำการศึกษา

แผนงานที่ทำการศึกษา คือ แผนกที่ทำการเชื่อม เพื่อขึ้นรูปโครงสร้างชิ้นงานได้อย่างแข็งแรงและสวยงาม โดยมีแผนผังของแผนกดังได้แสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แผนผังของแผนงานที่ทำการศึกษา

3.1.3 การสำรวจสภาพปัญหาเบื้องต้น

ในการศึกษากระบวนการการผลิตและกระบวนการทำงานจะต้องทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในส่วนต่างๆอย่างหลากหลาย เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประกอบไปด้วยรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.3.1 ศึกษาข้อมูลการผลิตและกำหนดกลุ่มผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลตลอดกระบวนการผลิตเครื่องจักร พบว่า เครื่องจักรที่ผลิตร้อยละ ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญนั่นก็คือ รั้วกันเครื่องจักร (Safety Fence) ทุกๆเครื่องจักรจะต้องมีชิ้นส่วนนี้ เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับคนและเครื่องจักร โดยในการผลิตเครื่องจักรที่หลากหลาย จะต้องมีการผลิตชิ้นส่วนรั้วกันในทุกๆเครื่องจักร ซึ่งถือว่ามีปริมาณการผลิตที่สูง จึงเลือกนำมาศึกษาในชิ้นส่วนดังกล่าว

3.1.4 การกำหนดหัวข้อปัญหา ตัวชี้วัดและเป้าหมาย

3.1.4.1 การกำหนดปัญหา

จากการศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน พบว่ามีปัญหาหลัก 2 อย่าง ได้แก่

ปัญหาที่ 1. ไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับมาตรฐานในการทำงานเชื่อม

ปัญหาที่ 2. ไม่มีการอบรมเรื่องการเชื่อมให้กับพนักงานที่เพียงพอ

3.1.4.2 การกำหนดตัวชี้วัด

จากการศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน สามารถกำหนดตัวชี้วัดหลักได้ 2 ตัว ได้แก่
ตัวชี้วัดหลักตัวที่ 1. จำนวนข้อร้องเรียนจากลูกค้า

ตัวชี้วัดหลักตัวที่ 2. คะแนนจากการทดสอบภาคทฤษฎีและปฏิบัติของพนักงานเชื่อม

3.1.4.3 การสำรวจค่าตัวชี้วัดและการกำหนดเป้าหมาย

จากสภาพปัจจุบันมีจำนวนข้อร้องเรียนจากลูกค้าเกี่ยวกับความสวยงามของรอยเชื่อมรั้วกันเหล็กกลมที่ไม่ได้
ตามเกณฑ์ทั้งหมด 5 กรณี ดังนั้นเป้าหมายที่จะบรรลุหลังจากการปรับปรุง คือ จำนวนข้อเรียกร้องจากลูกค้า
เกี่ยวกับความสวยงามของรอยเชื่อมลดลงร้อยละ 70

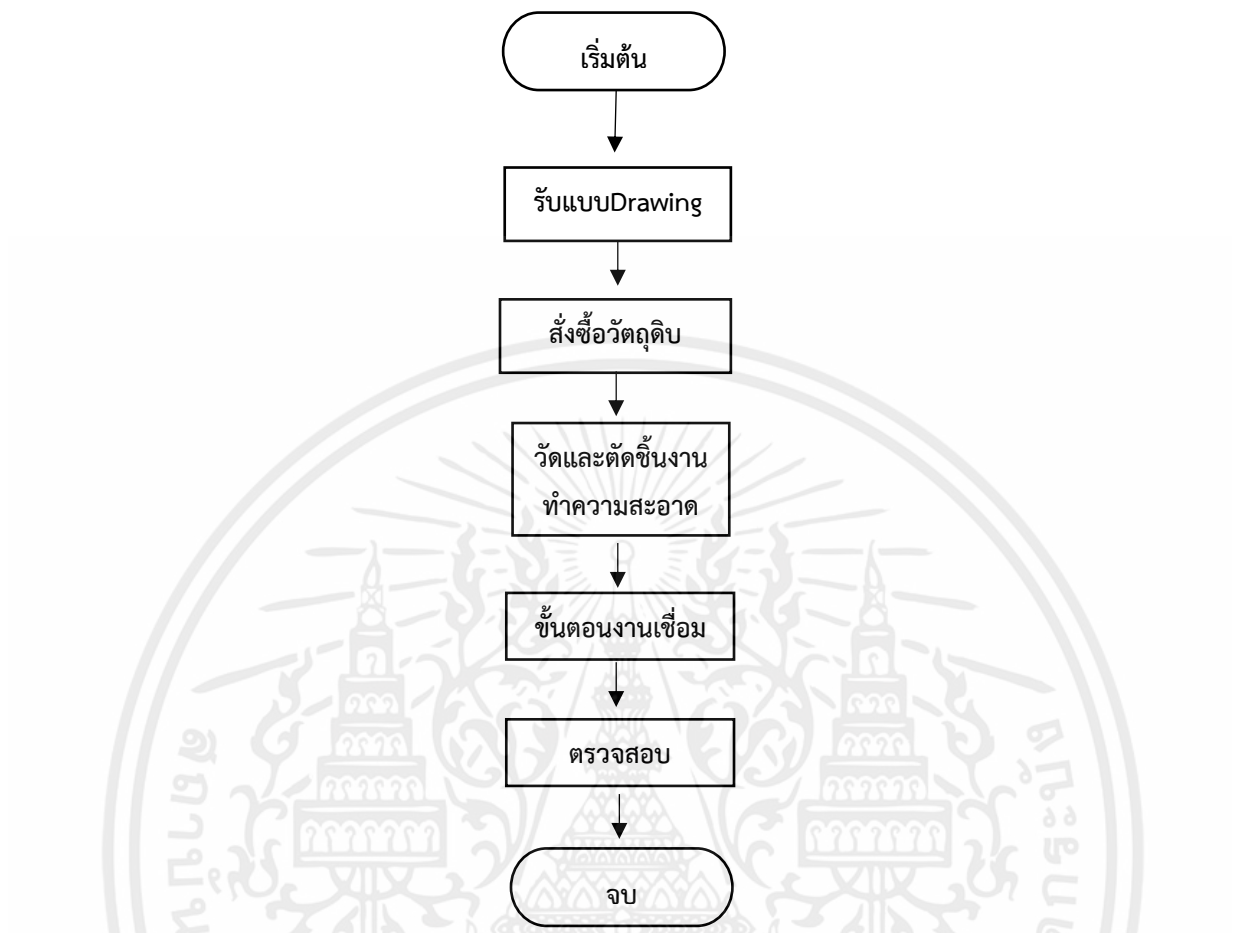
นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้ผลออกมาว่าพนักงานขาดการอบรมที่เพียงพอ จึงได้
จัดทำทดสอบวัดระดับความสามารถของพนักงานทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ดังนั้นเป้าหมายที่จะบรรลุหลัง
การปรับปรุง คือ คะแนนการทดสอบวัดระดับความสามารถของพนักงานภาคทฤษฎี โดยหลังการปรับปรุงสูงกว่า
ก่อนการปรับปรุงร้อยละ 1 และภาคปฏิบัติ จะต้องผ่านเกณฑ์การปรับปรุงอย่างน้อยร้อยละ 50

3.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

สภาพการทำงานปัจจุบันในทางกายภาพตามขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

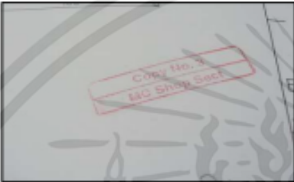
1. รับ Drawing จากแผนกออกแบบเครื่องกล (MED)
2. ดำเนินการสั่งซื้อวัตถุดิบโดยประสานงานไปยังแผนกจัดซื้อ
3. เตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อมโดยการวัดขนาดชิ้นงาน ตัด ทำความสะอาด
4. ทำการเชื่อมประกอบโครงสร้างภายใน
5. ทำการตรวจสอบขนาดตาม Drawing กำหนดและบันทึกการตรวจสอบงานชิ้นรูป โครงสร้าง
6. ส่งงานที่ผ่านการตรวจสอบแล้วไปยังขั้นตอนการทำสี

การศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบันได้เข้าไปเก็บข้อมูลขั้นตอนการทำงานและเวลาที่ใช้ในการเชื่อมซึ่งได้
เก็บข้อมูลการทำงานทั้งหมดและแสดงอย่างละเอียด และได้ใช้แผนภูมิการไหลแสดงข้อมูลขั้นตอนการทำงานดังรูป
ที่ 3.14 ในขั้นตอนการเชื่อมพนักงานเชื่อมจำนวน 6 คน โดยในการทำงานงานเชื่อมการประกอบโครงสร้างจะเป็น
การทำงานแบบ Make to Order



รูปที่ 3.14 แผนภูมิการไหลแสดงข้อมูลขั้นตอนการทำงาน

จากสภาพการทำงานปัจจุบันได้เข้าไปเก็บข้อมูลขั้นตอนการทำงานและคู่มือปฏิบัติที่ใช้ในปัจจุบันดังรูปที่ 3.15 โดยในคู่มือปฏิบัติงานในปัจจุบันยังคงขาดรายละเอียดขั้นตอนงานเชื่อมให้แก่พนักงาน และในขั้นตอนการตรวจสอบยังคงขาดเกณฑ์การยอมรับของชิ้นงานเพื่อให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

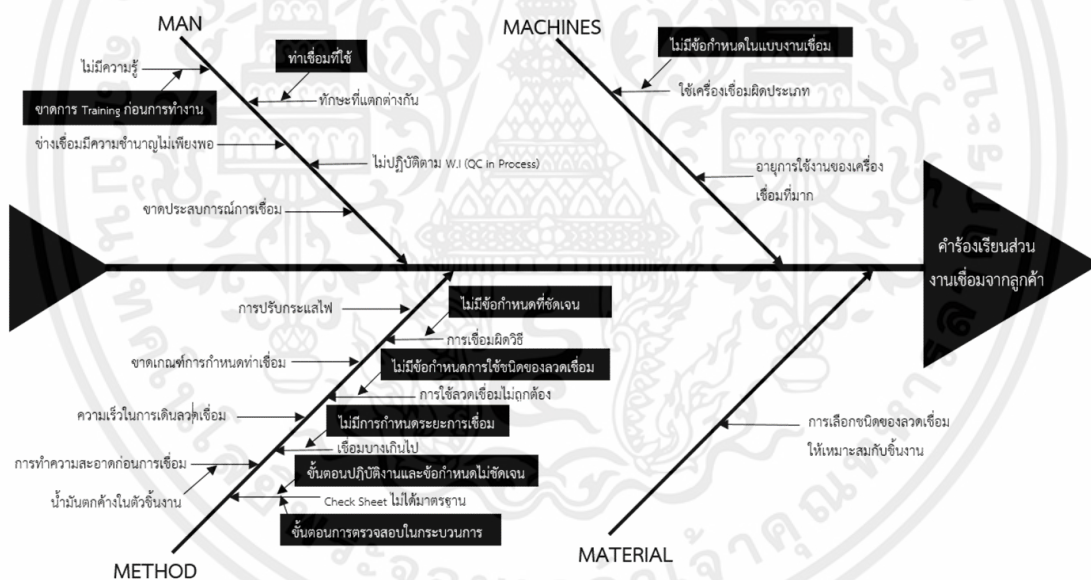
ชื่อบริษัท			
คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction)			
เรื่อง : การขึ้นรูป และการตรวจสอบงานโครงสร้าง		เอกสารเลขที่ : AITI-WI-MEP-001	
วันที่เริ่มใช้ : 7 มีนาคม 2560	หน้าที่ : 1/1	แก้ไขครั้งที่ : 02	ฉบับที่ : A
ผู้ใช้งาน : พนักงานขึ้นรูปโครงสร้าง		หน่วยงาน : ผลิตเครื่องจักร (Mechanical Engineering Production:MEP)	
ผู้เตรียม	ผู้อนุมัติ	COPY NO.	ผู้ครอบครองเอกสาร
ขั้นตอน	รายการ		หมายเหตุ
1	รับ Drawing ที่ Stamp Copy 3 (ตามรูปที่ 1) จากแผนกออกแบบเครื่องกล (MED) หรือแผนกผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร (MEP)		
	 รูปที่ 1		
2	แยกแบบงานออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ 2.1 Structure : แบบงานโครงสร้างที่ทำการตัด เชื่อมประกอบ โดยไม่ต้องทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการอื่น 2.2 Machine Part : แบบงานที่ต้องทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องมือกล (Machine) ก่อนนำมาเชื่อมประกอบ		
3	ตรวจสอบรายละเอียดของแบบงานตามข้อ 2 เพื่อ 3.1 ดำเนินการส่งข้อผิดพลาดโดยประสานงานไปยังแผนกจัดซื้อ 3.2 ส่งแบบงานที่ต้องทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล (Machining Part) ประสานงานไปยังแผนกผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร (MPM)		
4	เบิกวัสดุและชิ้นส่วน Machining Part เพื่อทำการเชื่อมประกอบโดย 4.1 ทำการเชื่อมประกอบโครงสร้างภายใน ทำการตรวจสอบขนาดตาม Drawing กำหนด และบันทึกการตรวจสอบงานขึ้นรูปโครงสร้าง (Check Sheet) ** เครื่องมือวัดที่ใช้ในการตัดสินใจงานต้องผ่านการสอบเทียบ 4.2 ไม่สามารถดำเนินการภายในได้ ส่งผู้รับจ้างช่วง (Outsource) ผลิต โดยประสานงานแผนกจัดซื้อ		-AITI-FR-MEP-002
5	ส่งงานที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว ไปยังขั้นตอนการทำสี		
6	บันทึกผลการปฏิบัติงานประจำวันลงใน MEP Production Plan		-AITI-FR-MEP-007
	สิ่งที่ต้องทำ	ตรวจสอบให้ครบตามข้อกำหนด	ชื่อเอกสารอ้างอิง
	สิ่งที่ห้ามทำ	ห้ามปล่อยชิ้นงานที่ไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ออกจาก PROCESS	บันทึกการตรวจสอบงานขึ้นรูปโครงสร้าง (Check Sheet)
	ข้อควรระวัง	สวมแว่นตาเมื่อปฏิบัติงานทำการตัด หรือเชื่อมประกอบทุกครั้ง	MEP Production Plan
(ระดับอันตรายที่เกิดขึ้นถ้าไม่ปฏิบัติตามข้อควรระวัง)		อาจถูกเศษชิ้นส่วนกระเด็นเข้าตา อาจบาดเจ็บหรืออีกส่นได้	
มาตรฐานอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล		สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันหมวก ถุงมือ แว่นตา เสื้อกันร้อน รองเท้าบู๊ต	

รูปที่ 3.15 คู่มือปฏิบัติ

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

3.3.1 ปัญหาคำร้องเรียนจากลูกค้าเกี่ยวกับงานเชื่อม

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงสาเหตุและผล ดังแสดงในรูปที่ 3.16 และการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงจาก ทำไม (Why Why Analysis) พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาคำร้องเรียนจากลูกค้าเกี่ยวกับงานเชื่อมที่ไม่สวยงามที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ จากการวิเคราะห์สาเหตุจากปัจจัยทั้ง 4 ได้แก่ คน เครื่องจักร กระบวนการ และ วัสดุ ซึ่งในแต่ละปัจจัยมีสาเหตุที่หลากหลาย จากแผนผังจะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหามีปัจจัยที่เกี่ยวกับ คนและกระบวนการ โดยที่ปัจจัยที่เกี่ยวกับคน มีสาเหตุที่สำคัญ คือ ขาดการอบรม (Training) และไม่มีการวัดระดับความสามารถของพนักงานให้เหมาะสมกับงาน และอีกหนึ่งปัจจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการ มีสาเหตุที่สำคัญคือ มีข้อกำหนดในงานเชื่อมที่ไม่มีความชัดเจน มีการปฏิบัติงานเชื่อมที่ไม่ถูกต้องทำให้รอยเชื่อมที่ออกมาไม่สวยงาม ซึ่งยังส่งผลในส่วนงานเชื่อมที่ไม่มีคุณภาพ



รูปที่ 3.16 แผนภาพแสดงสาเหตุและผล

ต่อมาจึงนำสาเหตุของปัญหาที่ได้จากแผนภาพแสดงสาเหตุและผลมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงจากการใช้เทคนิค การวิเคราะห์ Why Why โดยได้นำกรณีตัวอย่างของข้อร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องที่เกิดขึ้นในปัญหาของรอยเชื่อมที่ไม่สวยงามของส่วนรื้อกันเครื่องจักร (Safety Fence) ที่นำมาศึกษา โดยรวบรวมคำร้องเรียนกรณีตัวอย่างทั้งหมด 5 บริษัท โดยในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริง จากปัญหานี้เราจะได้สาเหตุที่แท้จริงมากที่สุดคือ ไม่มีการอบรม (Training) ไม่มีข้อกำหนดในส่วนของการปฏิบัติงาน และ ไม่มีมาตรฐาน

3.3.2 ปัญหาไม่มีการวัดระดับความสามารถของพนักงานให้เหมาะสมกับงาน

จากการศึกษาสภาพการทำงานในปัจจุบันและการวิเคราะห์หาสาเหตุ พบว่ารอยเชื่อมที่เกิดขึ้นในชิ้นงานนั้น ส่วนมากมักจะเกิดข้อบกพร่องในรอยเชื่อมและความไม่สวยงาม ทำให้ลูกค้าส่งคำร้องเรียนมา จึงได้ทำการวิเคราะห์ปัญหานี้ว่า มีสาเหตุมาจากพนักงานขาดความรู้และยังขาดการวัดระดับความสามารถพนักงานให้เหมาะสมกับงาน

3.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

จากการวิเคราะห์ปัญหาและศึกษาสภาพงานในปัจจุบัน สามารถออกแบบวิธีการทำงานใหม่โดยใช้เทคนิค อีซีอาร์เอส ดังนี้

- การกำจัด (Eliminate) หมายถึง การตัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นในกระบวนการออกไป
 - การรวมกัน (Combine) หมายถึง การรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน
 - การจัดใหม่ (Rearrange) หมายถึง การจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม
 - การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง ปรับปรุงวิธีการทำงาน หรือสร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น
- ซึ่งสามารถออกแบบวิธีการทำงานใหม่ได้ เป็นแนวทางการแก้ไขดังนี้

3.4.1 แนวทางการแก้ไขปัญหา

แนวทางการแก้ไขปัญหานี้ เป็นการจัดทำคู่มือมาตรฐานขึ้นเพื่อให้พนักงานเชื่อมได้ใช้อ้างอิงกับเอกสารรายละเอียดการปฏิบัติงานหรือ Work Instruction ก่อนปฏิบัติงานหรือระหว่างปฏิบัติงาน โดยมีรายละเอียดหัวข้อทั้งหมด 9 หัวข้อ ดังนี้

1. สัญลักษณ์และส่วนต่างๆของงานเชื่อม
2. การตัดและการวัด
3. ทำในการเชื่อม
4. การปรับไฟในการเชื่อม
5. การอุ่นชิ้นงาน
6. ประเภทการเชื่อม
7. การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ
8. การทำความสะอาดรอยเชื่อม
9. ลวดเชื่อม

ซึ่งคู่มือมาตรฐานที่จัดทำขึ้นนี้มีการอ้างอิงมาจากมาตรฐานสมาคมการเชื่อมประเทศสหรัฐอเมริกาหรือ American welding society (AWS)

3.4.2 แนวทางการวัดผลการแก้ไขปัญหา

จัดทำแบบทดสอบเพื่อวัดระดับความสามารถของพนักงาน 2 แบบ ได้แก่ แบบทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อม และแบบทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อม โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ครั้ง ได้แก่ ก่อนการนำคู่มือมาตรฐานไปปรับใช้ และหลังการนำคู่มือมาตรฐานไปปรับใช้ ซึ่งมีพนักงานที่เข้ารับการทดสอบทั้งหมด 6 คน

แนวทางในการวัดผลการแก้ไขปัญหา จัดทำแบบทดสอบเพื่อวัดระดับความสามารถของพนักงาน 2 แบบ ได้แก่ แบบทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อม และแบบทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อม โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ครั้ง ได้แก่ ก่อนการนำคู่มือมาตรฐานไปปรับใช้ และหลังการนำคู่มือมาตรฐานไปปรับใช้ ซึ่งมีพนักงานที่เข้ารับการทดสอบทั้งหมด 6 คน

3.4.2.1 แบบทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อม

แบบทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อมเป็นข้อสอบปรนัย มีจำนวนทั้งหมด 45 ข้อ ตามหัวข้อ ทั้งหมด 8 ข้อดังนี้

1. สัญลักษณ์งานเชื่อม
2. ประเภทของลวดเชื่อม
3. วิธีการเชื่อม
4. การทำความสะอาดเพื่อเตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อม
5. มาตรฐานเกี่ยวกับท่อ
6. ความเร็วในการเชื่อม
7. เกณฑ์ในการตรวจสอบและเกณฑ์ในการยอมรับรอยเชื่อม
8. ท่าเชื่อมที่ใช้ในงานเชื่อมท่อกลม

3.4.2.2 แบบทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อม

แบบทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อมแบ่งออกเป็น 3 ท่า ได้แก่ ท่าต่อชนแบบปากเขาเร่ร่อง ท่าเชื่อมรอบแนวเต็ม และท่าเชื่อมต่อชนเชื่อมรอบ ซึ่งกำหนดตามแบบของรั้วกันเหล็กกลมที่เป็นกรณีศึกษา ในแบบทดสอบจะให้พนักงานเชื่อมที่ได้รับการทดสอบใส่ค่ากระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมเพื่อดูการใช้กระแสไฟในการเชื่อมของพนักงานแต่ละคน

3.4.2.3 การประเมินการทดสอบภาคปฏิบัติ

แบบประเมินการทดสอบภาคปฏิบัติอ้างอิงรายการที่ต้องตรวจสอบและเกณฑ์ในการยอมรับมาจากมาตรฐานสมาคมการเชื่อมประเทศสหรัฐอเมริกาหรือ American welding society (AWS) การประเมินให้คะแนนของแบบทดสอบภาคปฏิบัติจะถูกประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทการศึกษา 3 คนและผู้เชี่ยวชาญจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 คน

3.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการประกอบด้วยขั้นตอนย่อยต่างๆ เป็นขั้นตอนการควบคุมตัวแปรและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดของเสีย หลังจากการวิเคราะห์ทำให้ ผู้วิจัยและทีมงานทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่เป็นปัจจัยหลักในการทำให้เกิดปัญหาขึ้น และจากนั้นจึงทำการควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นและจัดทำเป็นแผนการควบคุมคุณภาพกำหนดมาตรฐานการดำเนินงานใหม่ เพื่อควบคุมให้แนวทางที่ทำการปรับปรุงปัญหานั้นๆ สามารถดำเนินการต่อไปได้อย่าง มีระบบเพื่อลดค่าร้อยละในกระบวนการขึ้นรูปจากลูกค้า

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

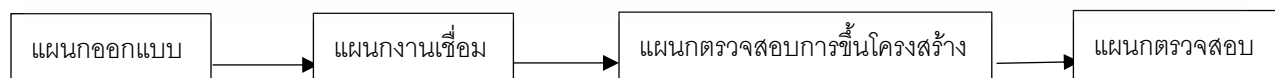
จากการศึกษาสภาพการทำงานของพนักงานในปัจจุบันในบทที่ 3 ได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยการใช้หลักการ แผนภาพแสดงสาเหตุและผล เพื่อการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เมื่อได้สาเหตุของปัญหา แล้ว ได้ทำการหาแนวทางการแก้ไขปัญหานี้ โดยมีแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังนี้

4.1 ผลการดำเนินงานตามแนวทางการแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์ปัญหาและการศึกษาสภาพงานในปัจจุบัน ได้มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

4.1.1 ระบะนิยามปัญหา (Define Phase)

กระบวนการที่สำคัญในสายการผลิต คือ การขึ้นรูปและการตรวจสอบงานโครงสร้าง โดยจะเกี่ยวกับกระบวนการงานเชื่อม ที่ถือเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและความน่าเชื่อถือ ความพึงพอใจให้กับลูกค้าและบริษัท ซึ่งในส่วนกระบวนการงานเชื่อมของบริษัท ตัวเครื่องจักรและจุดรองรับโครงสร้าง เช่น ฐานของเครื่องจักร รัดกันเครื่องจักร เป็นต้น จะต้องมีความมั่นคงโดยต้องผ่านกระบวนการเชื่อมเป็นส่วนใหญ่ เมื่อทำการเชื่อมชิ้นงานเสร็จจะถูกตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแบบการควบคุมคุณภาพในกระบวนการ (QC In Process) โดยพนักงานที่เชื่อมจะต้องทำการตรวจสอบข้อบกพร่องของรอยเชื่อม เพื่อส่งต่อไปในกระบวนการต่อไป [25]



รูปที่ 4.1 การไหลของชิ้นงาน

จากกรณีศึกษาของทางบริษัท ลูกค้าได้ทำการส่งคืนชิ้นงานที่รอยเชื่อมมีปัญหา กลับคืนมา เมื่อได้เข้าไปศึกษากระบวนการงานเชื่อมของบริษัท พบว่า ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นกับกระบวนการนี้ คือ ปัญหากระบวนการงานเชื่อมไม่มีมาตรฐานและปัญหาระดับความสามารถของพนักงานเชื่อมของบริษัทที่ยังขาดทักษะ จากปัญหาข้างต้น เราจึงได้นำแนวคิด SIPOC มาช่วยในการวิเคราะห์ในส่วนของกระบวนการการทำงานที่ ทำให้เข้าใจวัตถุประสงค์และขอบเขตงานได้มากขึ้น โดยประกอบไปด้วย

S – Supplier ผู้ส่งมอบสิ่งของหรือข้อมูลที่จะต้องนำไปผ่านกระบวนการ

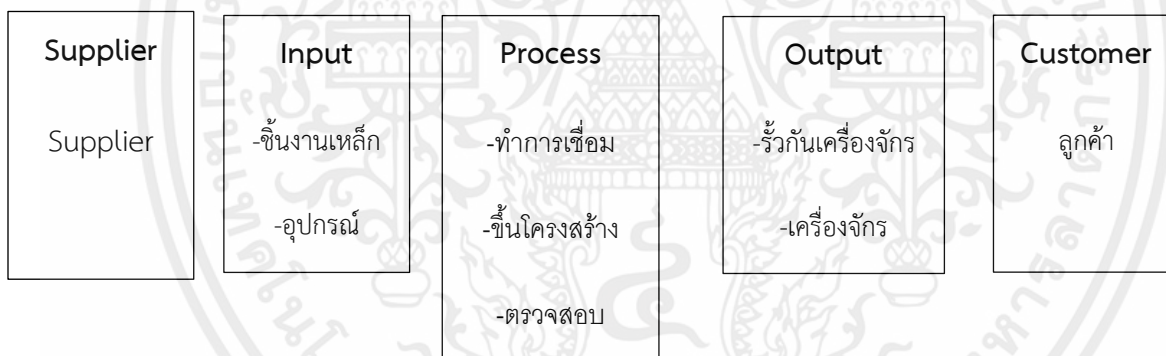
I – Input สิ่งของหรือข้อมูลที่จะต้องนำไปผ่านกระบวนการ

P – Process กระบวนการที่ประกอบไปด้วยหลายๆ ขั้นตอนเพื่อที่จะเปลี่ยน ข้อมูลต้นทาง (Input) ให้กลายเป็น ข้อมูลที่ต้องการ (Output) ที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

O – Output สิ่งของหรือข้อมูลที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

C – Customer ลูกค้านำกำหนดความต้องการของสิ่งของหรือข้อมูล

โดย SIPOC Model ของการขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้าง จะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.2 แนวคิด SIPOC มาช่วยในการวิเคราะห์ในส่วนของกระบวนการ

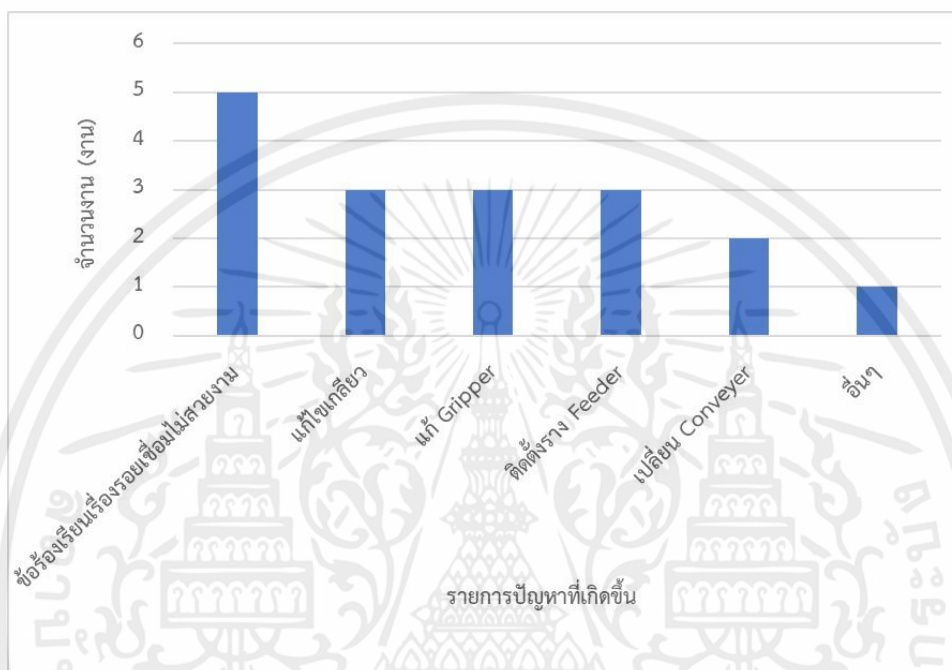
เมื่อเห็นถึงลักษณะของการขึ้นรูปและการตรวจสอบงานโครงสร้าง จึงทำให้สามารถวิเคราะห์และบริหารจัดการแผนโดยจะใช้ ในส่วนของเอกสารแสดงรายละเอียดโครงการ (Project Charter) ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจะประกอบไปด้วยเป้าหมายที่จะทำ ขอบเขตของงาน ระยะเวลาการทำงาน ซึ่งจะได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดโครงการ (Project Charter)

1.นโยบายบาย (Business Case) - ลดค่าธรรมเนียมในกระบวนการขึ้นรูปจากลูกค้า - วัดระดับความสามารถของพนักงานเชื่อม	4. ขอบเขตของโครงการ (Project Scope) - ลดค่าธรรมเนียมลูกค้าในเรื่องรอยเชื่อมรั้วเหล็กกลม SS400 จากลูกค้า																					
2. แนวทางการแก้ปัญหา (Opportunity Statement) - จัดทำคู่มือมาตรฐานของงานเชื่อมและคู่มือการวัดระดับการปฏิบัติงานของพนักงานเพื่ออ้างอิงใน Work Instruction - จัดทำการทดสอบวัดระดับความสามารถของพนักงานเชื่อม	5. แผนโครงการ (Project Plan) <table><thead><tr><th></th><th>Start</th><th>End</th></tr></thead><tbody><tr><td>Define</td><td>8/01</td><td>8/31</td></tr><tr><td>Measure</td><td>8/01</td><td>10/30</td></tr><tr><td>Analyze</td><td>10/01</td><td>11/30</td></tr><tr><td>Improve</td><td>12/01</td><td>1/19</td></tr><tr><td>Control</td><td>3/01</td><td>3/27</td></tr><tr><td>ตรวจสอบงาน</td><td>3/04</td><td></td></tr></tbody></table>		Start	End	Define	8/01	8/31	Measure	8/01	10/30	Analyze	10/01	11/30	Improve	12/01	1/19	Control	3/01	3/27	ตรวจสอบงาน	3/04	
	Start	End																				
Define	8/01	8/31																				
Measure	8/01	10/30																				
Analyze	10/01	11/30																				
Improve	12/01	1/19																				
Control	3/01	3/27																				
ตรวจสอบงาน	3/04																					
3. เป้าหมาย (Goal Statement) -ลดค่าธรรมเนียมเรื่องรอยเชื่อมในกระบวนการขึ้นรูป -พนักงานจะมีระดับความสามารถการทำงานเชื่อมเพิ่มขึ้น	6. ผู้รับผิดชอบ (Team) -คณะผู้วิจัย -อาจารย์ที่ปรึกษา -ผู้จัดการแผนกการขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้าง -ทีมวิศวกรแผนกการขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้าง																					

4.1.2 ระยะตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)

จากข้อมูลรายละเอียดปัญหาที่เกิดขึ้นในแผนงานขึ้นรูปและตรวจสอบงานโครงสร้าง ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2564 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2564 ที่ผ่านมา พบว่ามีจำนวนปัญหาในเรื่องต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



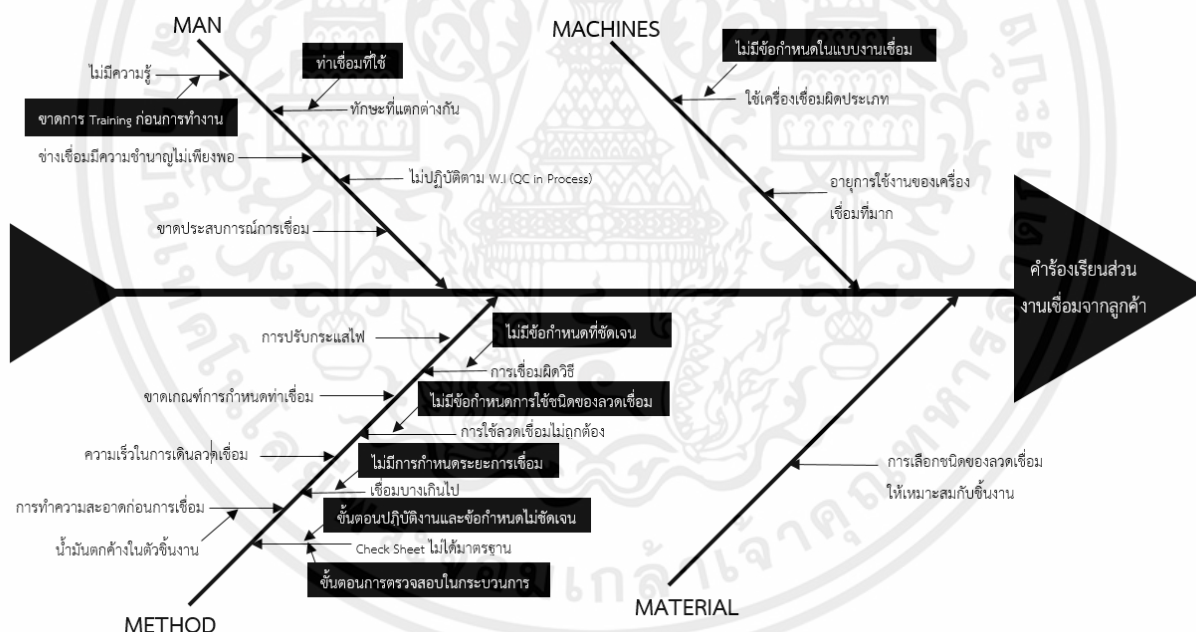
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งปัญหาที่เกิดขึ้นในแผนงานขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้าง
เดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2564

จากรูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งปัญหาที่เกิดขึ้นในแผนงานขึ้นรูปและตรวจสอบโครงสร้าง จากการรวบรวมข้อมูลจำนวนปัญหา ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมิถุนายน พ.ศ. 2564 พบว่ามีปัญหาเรื่องข้อร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องรอยเชื่อมไม่สวยงามจำนวน 5 งาน เรื่องการแก๊สเกลียวจำนวน 3 งาน เรื่องการแก๊ส Gripper จำนวน 3 งาน เรื่องการติดตั้งราง Feeder จำนวน 3 งาน เรื่องการเปลี่ยน Conveyer จำนวน 2 งาน และเรื่องอื่นๆจำนวน 1 งาน แสดงให้เห็นว่าปัญหาเรื่องข้อร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องรอยเชื่อมไม่สวยงามมีจำนวนมากที่สุด

4.1.3 ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analyze Phase)

หลังจากมีการดำเนินการกำหนดและวัดสภาพของปัญหาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์หา สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นมากในกระบวนการผลิตขึ้นรูปโครงสร้าง คือ ปัญหาการร้องเรียนงานเชื่อมจากลูกค้า โดยผู้วิจัยเริ่มจากการระดมสมองกับทีม เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยในการเกิดของเสีย โดยขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุ ดังนี้

4.1.3.1 แผนผังเหตุและผล (Cause & Effect Diagram : C&E) ผู้วิจัยและทีมงานที่เกี่ยวข้องได้ทำการระดมสมองวิเคราะห์ถึงรากเหง้าของสาเหตุ ระบุปัจจัยหลักที่เป็นต้นเหตุของปัญหาหรือการเกิดของเสียในปัจจุบัน โดยทีมงานที่จัดตั้งขึ้นเป็นผู้ที่ปฏิบัติงานโดยตรง และเกี่ยวข้องกับปัญหานั้น อีกทั้งเป็นผู้มีความรู้และมีประสบการณ์ในกระบวนการผลิตขึ้นรูปโครงสร้างที่เพียงพอ ซึ่งจากการคัดเลือกทำให้ได้ตัวแทนของฝ่ายต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้จัดการฝ่ายผลิต ฝ่ายวิศวกรรมและหัวหน้าแผนกขึ้นรูปโครงสร้างมาช่วยวิเคราะห์แผนผังเหตุและผล



รูปที่ 4.4 แผนผังการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหาคำร้องเรียนส่วนงานเชื่อมจากลูกค้า

แผนผังการวิเคราะห์หาสาเหตุของคำร้องเรียนส่วนงานเชื่อมจากลูกค้า โดยมีการพิจารณาถึงสาเหตุของการเกิดปัญหา โดยแบ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาการเกิดคำร้องเรียนจากลูกค้าเป็น 4 กลุ่ม คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และวัสดุ (Material) โดยจากการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของแต่ละปัจจัยเกิดจากสาเหตุดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สาเหตุรากเหง้าของปัญหาคำร้องเรียนงานเชื่อมจากลูกค้า

ปัจจัย	สาเหตุ
คน (Man)	ขาดการ Training ก่อนการทำงาน
	ช่างเชื่อมมีความชำนาญไม่เพียงพอ
	ขาดประสบการณ์การเชื่อม
	ไม่ปฏิบัติตาม W.I (QC in Process)
	ท่าเชื่อมที่ใช้
เครื่องจักร (Machine)	ไม่มีข้อกำหนดในแบบงานเชื่อม
	อายุการใช้งานของเครื่องเชื่อมที่มาก
วิธีการ (Method)	ไม่มีข้อกำหนดที่ชัดเจน
	ไม่มีข้อกำหนดการใช้ชนิดของลวดเชื่อม
	ไม่มีการกำหนดระยะการเชื่อม
	ขั้นตอนปฏิบัติงานและข้อกำหนดไม่ชัดเจน
	ขั้นตอนการตรวจสอบในกระบวนการ
	น้ำมันตักค้างในตัวชิ้นงาน
	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม
	ขาดเกณฑ์การกำหนดท่าเชื่อม
	การปรับกระแสไฟ
วัตถุดิบ (Material)	การเลือกชนิดของลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับชิ้นงาน

4.1.3.2 การวิเคราะห์ด้วยคำถามทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis)

หลังจากที่ได้วิเคราะห์ถึงรากเหง้าของสาเหตุ ระบุปัจจัยหลักที่เป็นต้นเหตุของปัญหาหรือการเกิดของเสียในปัจจุบันแล้ว ทางผู้วิจัยได้มีการนำสาเหตุจากการวิเคราะห์แผนผังก้างปลามาวิเคราะห์ต่อเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริง ดังรูปที่ 4.5

		ชื่อบริษัท					รวม
		Toyota Malaysia	Denso	AI FM	Oriental Copper	EPS (Kaeng Khoi)	
ทำไม*	ไม่มีการ Training	✓	✓	✓	✓	✓	5
	เครื่องมืออยู่การใช้งานมาก	✓	✓		✓	✓	4
	ไม่มีการเช็คสภาพการใช้งานของเครื่องมือวัด	✓	✓		✓	✓	4
	แบบ Drawing ไม่ชัดเจน	✓	✓		✓	✓	4
	พนักงานทำงานหลายส่วน คนเดียว				✓		1
	ไม่มีข้อกำหนดการปรับกระแสไฟให้เป็นมาตรฐาน	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ไม่ได้ตรวจสอบความยาว	✓			✓	✓	3
	ไม่มีข้อกำหนดค่าทางกรเชื่อม	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ไม่มีมาตรฐาน	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ไม่มีข้อกำหนดการทำความสะอาด	✓	✓		✓	✓	4
	มีการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม				✓		1
	ไม่มีการกำหนดขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสมในแบบงาน		✓	✓	✓	✓	4
	ไม่มีข้อบังคับในการตรวจสอบ				✓		1

รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ด้วยคำถามทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) จากสาเหตุ

4.1.4 ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

หลังจากที่มีการดำเนินหาค่าสาเหตุรากเหง้าทำให้ได้ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงจากขั้นตอนก่อนหน้านี้ ต่อมาในส่วนของขั้นตอนนี้จะเป็นการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยได้นำทฤษฎี ECRS เข้ามาปรับใช้ในการปรับปรุงดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate) หมายถึง การพิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความสูญเปล่า ที่พบในการผลิตออกไป คือทำให้เกิดรอยเชื่อมไม่สวยงามแล้วต้องนำงานกลับมาแก้ไขใหม่โดยวิธีการกำจัดคือ การทำให้เกิดของเสียของชิ้นงานโดยทำงานจัดทำคู่มือเพื่อพนักงานมีความเข้าใจงานก่อนเริ่มลงมือการทำงานเพื่อลดเวลาลดค่าใช้จ่ายที่ต้องนำงานกลับมาแก้ไขใหม่ และช่วยลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นกับงาน

2. การรวมกัน (Combine) คือ การรวมเอาข้อมูลที่สำคัญจากหลาย ๆ แผ่นมาไว้ในแผ่นเดียวกันได้ ซึ่งจะช่วยให้สะดวกสำหรับการวิเคราะห์และลดปริมาณเอกสารที่ต้องจัดเก็บลง โดยจัดทำเป็นคู่มือสำหรับพนักงานอ่านก่อนเริ่มปฏิบัติงานช่วยให้ทำงานได้รวดเร็วขึ้นและมีความสะดวกในการทำความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น

3. การจัดใหม่ (Rearrange) ขั้นตอนการจัดลำดับงานให้เหมาะสม การจัดเรียงใหม่ โดยแนวทางในการจัดเรียงใหม่ของขั้นนี้คือ การจัดคนให้เหมาะสมกับงานที่ได้รับมอบหมาย หรือการจัดพนักงานเชื่อมให้เข้ากับงานเชื่อมที่เหมาะสมกับระดับความสามารถของพนักงาน

4. การทำให้ง่าย (Simplify) ขั้นตอนการปรับปรุงการทำงานหรืออุปกรณ์ เพื่อให้ง่ายต่อการทำงานมากขึ้น โดยแนวทางการปรับปรุงคือ การจัดทำคู่มือมาตรฐานงานเชื่อมซึ่งจะทำให้ตัวคู่มือที่เข้าใจง่ายต่อการทำงานของพนักงานและสะดวกในการใช้งานในขณะปฏิบัติงาน เพราะฉะนั้นตัวคู่มือมาตรฐานนี้จะทำให้การปฏิบัติงานออกได้ได้อย่างมีมาตรฐานตาม AWS และชิ้นงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

และได้จัดทำแบบทดสอบเพื่อวัดระดับความสามารถของพนักงาน 2 แบบ ได้แก่ แบบทดสอบภาคทฤษฎี การเชื่อม และแบบทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อม โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ครั้ง ได้แก่ ก่อนการนำคู่มือมาตรฐานไปปรับใช้ และหลังการนำคู่มือมาตรฐานไปปรับใช้ ซึ่งมีพนักงานที่เข้ารับการทดสอบทั้งหมด 6 คน

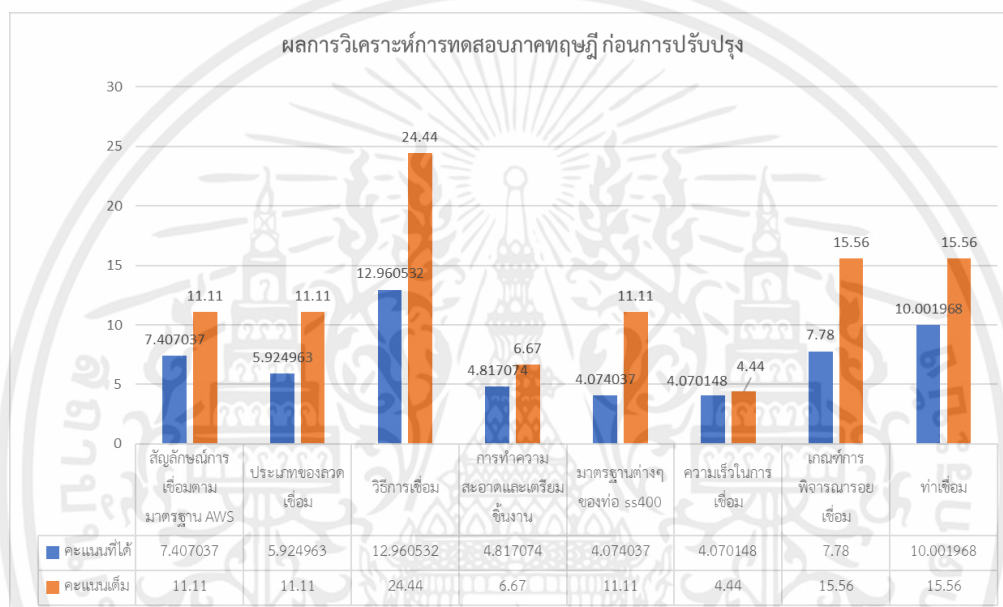
4.1.4.1 ขั้นตอนการทำงานของแนวทางการแก้ไขปัญหาก่อนปรับปรุง

1.1 การทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อม

แบบทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อมเป็นข้อสอบปรนัย มีจำนวนทั้งหมด 45 ข้อ ตามหัวข้อทั้งหมด 8 ข้อ ดังนี้

1. สัญลักษณ์งานเชื่อม
2. ประเภทของลวดเชื่อม
3. วิธีการเชื่อม

4. การทำความสะอาดเพื่อเตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อม
5. มาตรฐานเกี่ยวกับท่อ
6. ความเร็วในการเชื่อม
7. เกณฑ์ในการตรวจสอบและเกณฑ์ในการยอมรับรอยเชื่อม
8. ท่าเชื่อมที่ใช้ในงานเชื่อมท่อกลม

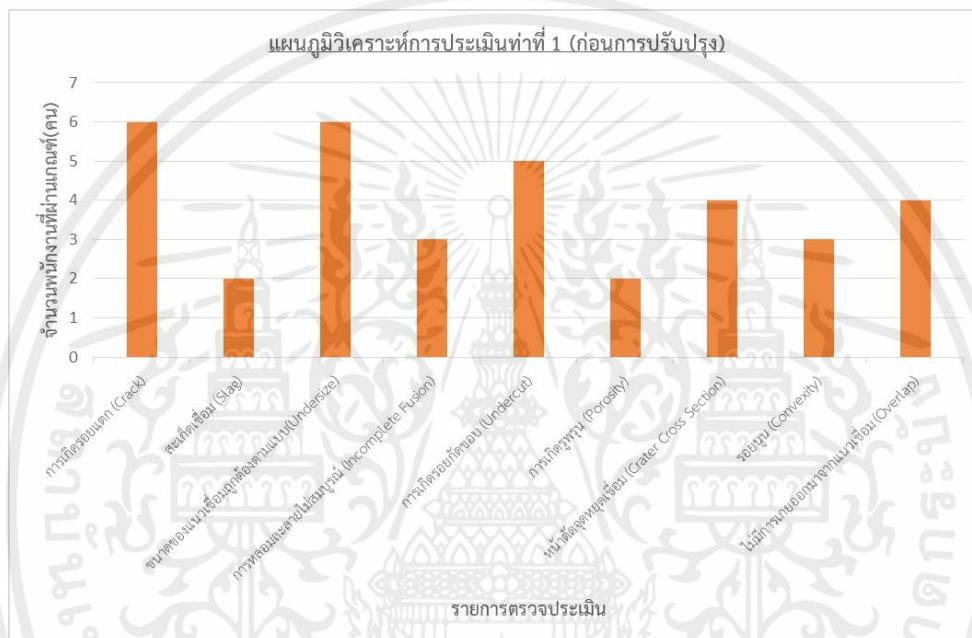


รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์การประเมินการสอบทฤษฎี (ก่อนการปรับปรุง)

จากรูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบภาคทฤษฎีที่แสดงค่าคะแนนเต็มแต่ละหัวข้อและค่าคะแนนที่ได้ จะเห็นได้ว่าเรื่องวิธีการเชื่อมตามมาตรฐาน AWS ปรับค่าไฟที่มีค่าความต่างมากที่สุด ค่าความต่างที่มากที่สุด อันดับที่ 2 คือเรื่องมาตรฐานของเหล็กในการใช้งานเหล็กประเภท SS400 และมีค่าความต่างที่มากอันดับถัดไป เรียงตามลำดับดังต่อไปนี้ เกณฑ์การพิจารณาการเชื่อม ท่าเชื่อม สัญลักษณ์การเชื่อมตามมาตรฐาน AWS ชนิดของลวดเชื่อม การเตรียมชิ้นงาน ทำความสะอาดชิ้น ความเร็วในการเชื่อม และคะแนนการทดสอบทฤษฎีก่อนปรับปรุงโดยรวมอยู่ ร้อยละ 57.03

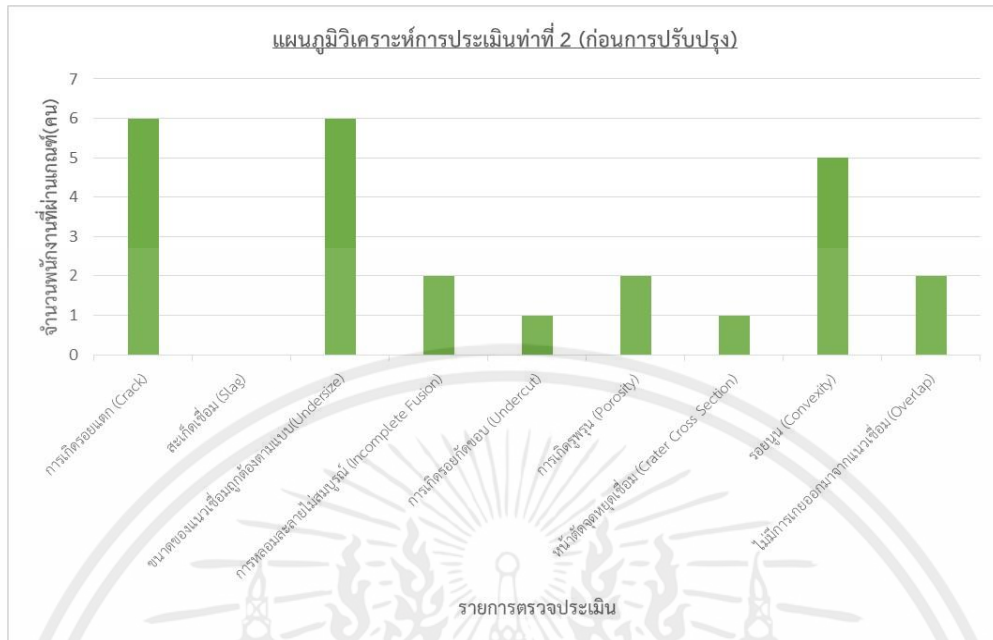
1.2 การทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อม

แบบทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อมแบ่งออกเป็น 3 ท่า ได้แก่ ท่าต่อชนแบบปากเซาะร่อง ท่าเชื่อมรอบแนวเดิม และท่าเชื่อมต่อชนเชื่อมรอบ ซึ่งกำหนดตามแบบของร้วกันเหล็กกลมที่เป็นกรณีศึกษา ในแบบทดสอบจะให้พนักงานเชื่อมที่ได้รับการทดสอบใส่ค่ากระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมเพื่อดูการใช้กระแสไฟในการเชื่อมของพนักงานแต่ละคน



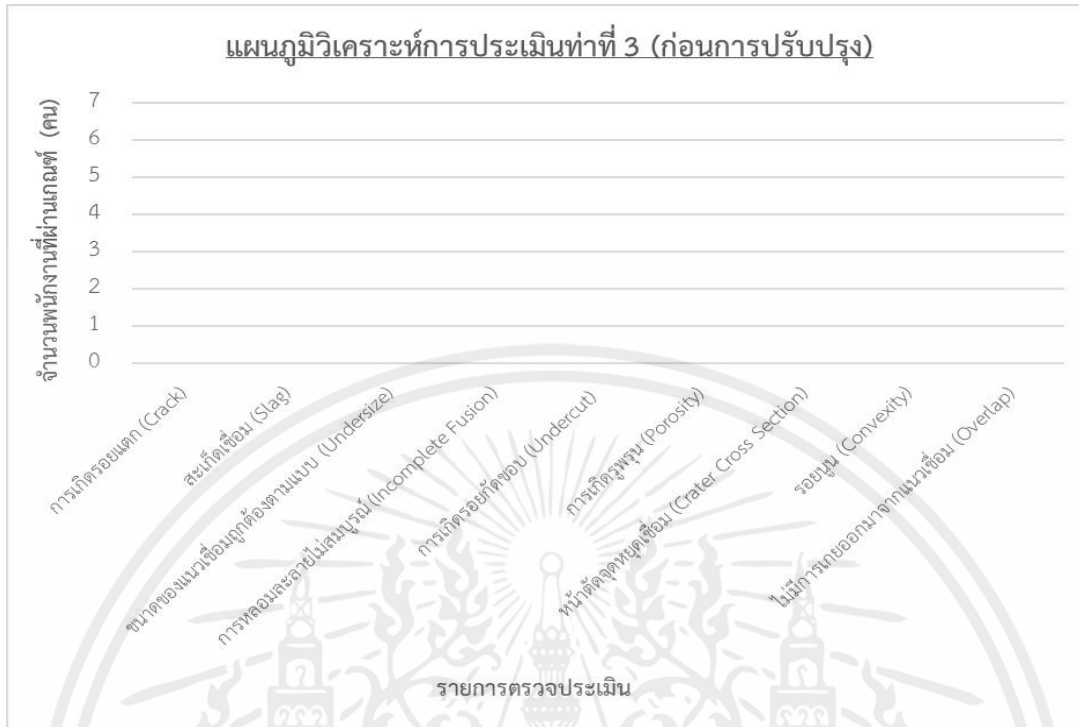
รูปที่ 4.7 แผนภูมิวิเคราะห์การประเมินท่าที่ 1 (ก่อนการปรับปรุง)

จากรูปที่ 4.7 การวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 1 คือ ท่าต่อชนแบบปากเซาะร่อง จะเห็นว่าในรายการตรวจสอบการเกิดรอยแตก (Crack) และ ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize) ของรอยเชื่อม พนักงานเชื่อมทุกคนผ่านเกณฑ์ ในรายการตรวจสอบ การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut) ของรอยเชื่อมมีพนักงานที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 5 คน ในรายการตรวจสอบหน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section) และไม่มีการแยกออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap) พบว่ามีพนักงานที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่จำนวน 4 คน ในรายการตรวจสอบการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) และรอยนูน (Convexity) จะพบว่าพนักงานที่ผ่านเกณฑ์มีจำนวน 3 คน และในรายการตรวจสอบการเกิดสะเก็ดเชื่อม (Slag) และการเกิดรูพรุน (Porosity) จากการวิเคราะห์จะพบว่าพนักงานที่ผ่านเกณฑ์มีเพียงจำนวนแค่ 2 คน แสดงให้เห็นว่าในท่าที่ 1 พนักงานเชื่อมส่วนใหญ่มีข้อบกพร่องในส่วนของสะเก็ดเชื่อมและรูพรุนมากที่สุด



รูปที่ 4.8 แผนภูมิวิเคราะห์การประเมินท่าที่ 2 (ก่อนการปรับปรุง)

จากรูปที่ 4.8 การวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 2 คือ ท่าเชื่อมต่อชนเชื่อมรอบ จะเห็นได้ว่า ในรายการการตรวจสอบการเกิดรอยแตก (Crack) และ ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize) ของรอยเชื่อม พนักงานเชื่อมทุกคนผ่านเกณฑ์ ในรายการตรวจสอบรอยบุ๋ม (Convexity) ของรอยเชื่อมมีพนักงานที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 5 คน ในรายการตรวจสอบการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) การเกิดรูพรุน (Porosity) และไม่มีการแยกออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap) พบว่ามีพนักงานที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 2 คน และในรายการตรวจสอบการเกิดรอยกัดขอบ (Undercut) และหน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section) พบจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์จำนวนเพียง 1 คน ส่วนการตรวจสอบการเกิดสะเก็ดเชื่อม (Slag) จะพบว่าไม่มีพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ แสดงให้เห็นว่าในท่าที่ 2 พนักงานเชื่อมมีข้อบกพร่องในส่วนของการเกิดสะเก็ดเชื่อมมากที่สุด รองลงมาจะเป็นการเกิดรอยกัดขอบ หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม การแยกออกมาจากแนวเชื่อม การเกิดรูพรุน และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์



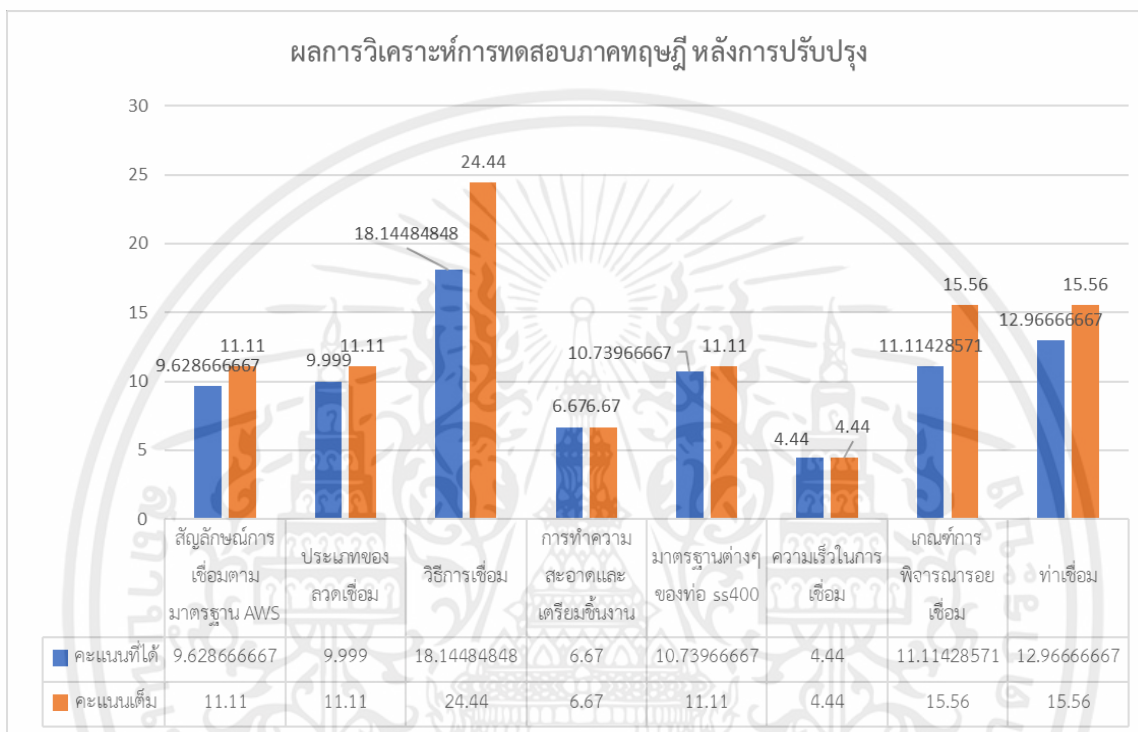
รูปที่ 4.9 แผนภูมิวิเคราะห์การประเมินท่าที่ 3 (ก่อนการปรับปรุง)

จากรูปที่ 4.9 การวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 3 คือ ท่าเชื่อมรอบแนวเต็ม จะเห็นได้ว่าในทุกรายการตรวจ มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 0 คน หรือไม่มีพนักงานเชื่อมผ่านเกณฑ์เลย แสดงให้เห็นว่าพนักงานเชื่อมมีข้อบกพร่องในการเชื่อมในท่าเชื่อมหน้าแปลนทุกเรื่อง

4.1.4.2 ขั้นตอนการทำงานของแนวทางการแก้ไขปัญหาล้างปรับปรุง

2.1 ขั้นที่ 1 การทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อม

หลังการปรับปรุง



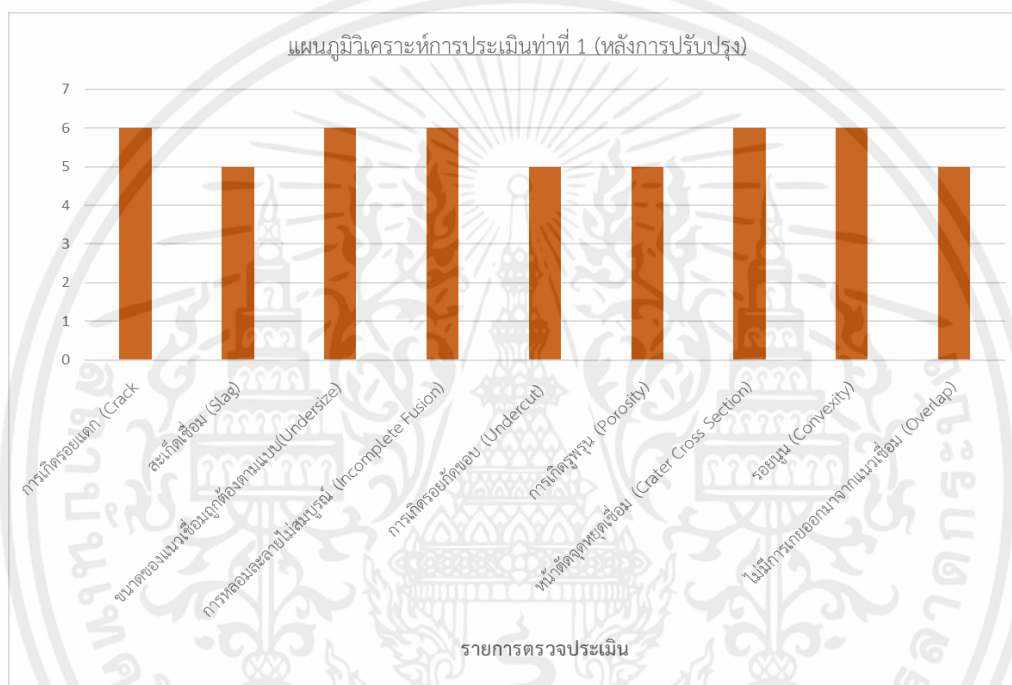
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์การประเมินการสอบทฤษฎี (หลังการปรับปรุง)

จากรูปที่ 4.10 การวิเคราะห์ผลการทดสอบภาคทฤษฎีที่แสดงค่าคะแนนเต็มแต่ละหัวข้อและค่าคะแนนที่ได้ จะเห็นได้ว่าเรื่องวิธีการเชื่อมตามมาตรฐาน AWS ปรับค่าไฟที่พนักงานมีการตอบผิดมากที่สุด พนักงานมีการตอบผิดมากที่สุดอันดับที่ 2 คือเรื่องมาตรฐานของเหล็กในการใช้งานเหล็กประเภท SS400 และพนักงานมีการตอบผิดมากที่สุดอันดับที่ 3 เรื่องเกณฑ์การพิจารณาการเชื่อม หลังจากการปรับปรุงพนักงานได้มีเข้าใจความเข้าใจในภาคทฤษฎีเพิ่มมากขึ้น โดยเรื่องวิธีการเชื่อมตามมาตรฐาน AWS ปรับค่าไฟ มีค่าคะแนนเพิ่มขึ้นเป็น 18.148 ในอันดับที่ 2 คือเรื่องมาตรฐานของเหล็กในการใช้งานเหล็กประเภท SS400 มีค่าคะแนนเพิ่มขึ้นเป็น 10.739 อันดับที่ 3 เรื่องเกณฑ์การพิจารณาการเชื่อมมีค่าคะแนนเพิ่มขึ้นเป็น 11.114 และคะแนนการทดสอบทฤษฎีก่อนปรับปรุงโดยรวมอยู่ร้อยละ 83.70

2.2 ขั้นที่ 2 การทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อม

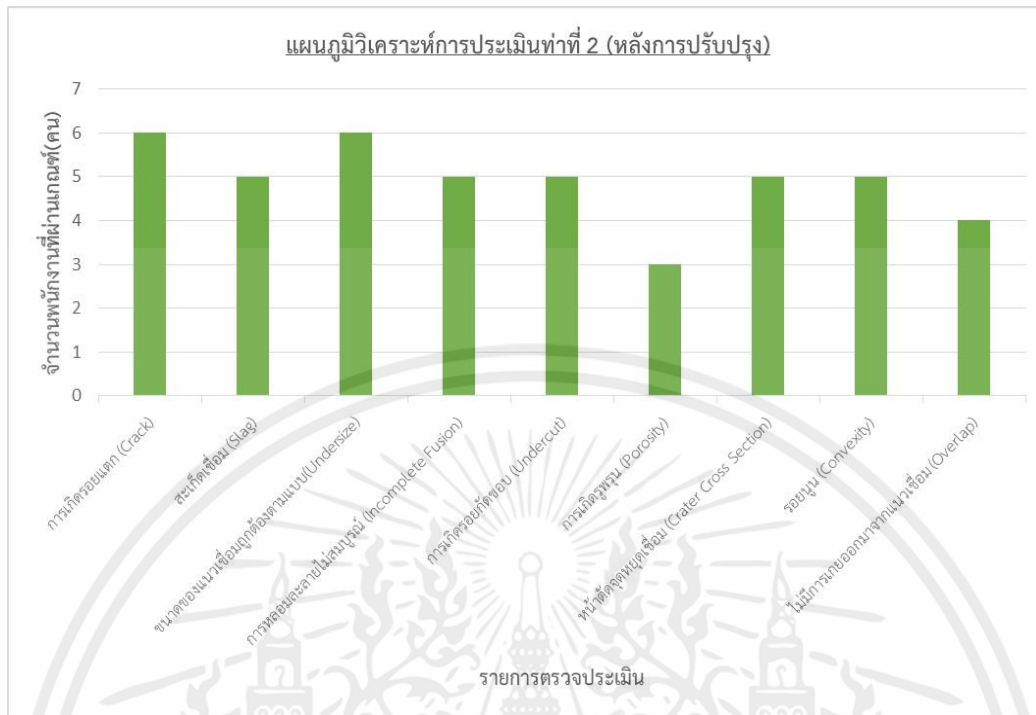
หลังจากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการงานเชื่อมผ่านคู่มืองานเชื่อมมาตรฐานแล้ว ได้มีการจัดทำ การทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อมหลังการปรับปรุง โดยนำผลจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญทั้งจากสถานประกอบการ และจากสถาบันมาวิเคราะห์ทั้ง 3 ทำได้ผลการวิเคราะห์ตามแผนภูมิในรูปดังต่อไปนี้

หลังการปรับปรุง



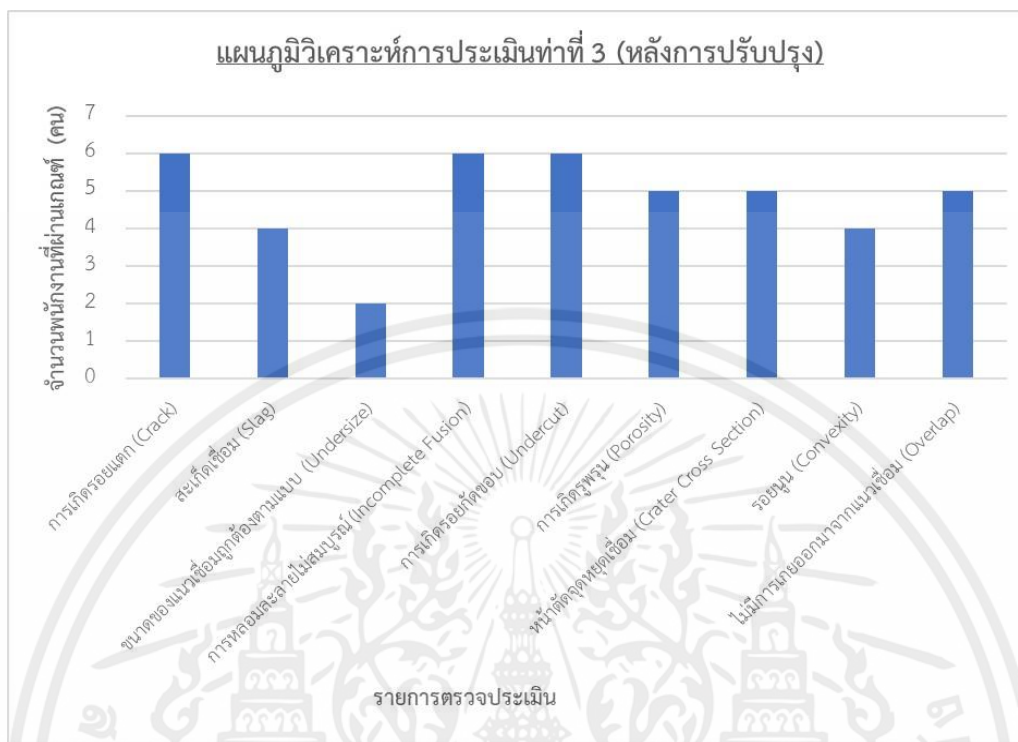
รูปที่ 4.11 แผนภูมิวิเคราะห์การประเมินท่าที่ 1 (หลังการปรับปรุง)

จากรูปที่ 4.11 การวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 1 คือ ท่าต่อชนแบบปากเขาส่องจะ เห็นได้ว่า ในรายการการตรวจสอบการเกิดรอยแตก (Crack) ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize) ของรอยเชื่อม ไม่มีการแยกออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap) รอยนูน (Convexity) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) และหน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section) พนักงานเชื่อมทุกคนผ่านเกณฑ์ ใน รายการตรวจสอบของรอยเชื่อมมีพนักงานที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 5 คน ในรายการตรวจสอบการเกิดรูพรุน (Porosity) การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut) และการเกิดสะเก็ดเชื่อม (Slag) แสดงให้เห็นว่าหลังจากการปรับปรุงมีทำให้ พนักงานสามารถปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้นได้



รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 2 (หลังการปรับปรุง)

จากรูปที่ 4.12 การวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 2 คือ ท่าเชื่อมต่อชนเชื่อมรอบ หลังการปรับปรุงจะเห็นได้ว่าในรายการการตรวจสอบการเกิดรอยแตก (Crack) และขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize) พนักงานเชื่อมทุกคนผ่านเกณฑ์ และในรายการตรวจสอบการเกิดสะเก็ดเชื่อม (Slag) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section) และการเกิดรอยกัดขอบ (Undercut) ของรอยเชื่อมมีพนักงานที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 5 คน ซึ่งในการทดสอบก่อนปรับปรุงในส่วนรายการตรวจสอบนี้มีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ต่ำกว่า 5 คน และในรายการตรวจสอบ รอยบุ๋ม (Convexity) และไม่มีการแยกออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap) พบว่ามีพนักงานที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่จำนวน 4 คน ในรายการตรวจสอบการเกิดรูพรุน (Porosity) จะพบว่าพนักงานที่ผ่านเกณฑ์มีจำนวน 3 คน โดยก่อนการปรับปรุงมีพนักงานที่ผ่านเพียง 2 คนเท่านั้น ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ที่ 50% จากการวิเคราะห์จะพบว่าพนักงานโดยรวมที่ผ่านเกณฑ์นั้นมีการพัฒนาในส่วนงานเชื่อมที่ดีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าในท่าที่ 1 พนักงานส่วนใหญ่ทำการทดสอบภาคปฏิบัติผ่านเกณฑ์ทั้งหมด



รูปที่ 4.13 แผนภูมิการวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 3 (หลังการปรับปรุง)

จากรูปที่ 4.13 การวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 3 คือ ท่าเชื่อมรอบแนวเต็ม จะเห็นได้ว่าในรายการตรวจสอบการเกิดรอยแตก (Crack) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) และการเกิดรอยกัดขอบ (Undercut) พนักงานเชื่อมทุกคนผ่านเกณฑ์ ในรายการตรวจสอบการเกิดรูพรุน (Porosity) หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section) และไม่มีการเกยออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap) พบว่ามีพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 5 คน ในรายการตรวจสอบสะเก็ดเชื่อม (Slag) และรอยนูน (Convexity) พบว่ามีพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 4 คน และในรายการตรวจสอบขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize) พบว่ามีพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 2 คน แสดงให้เห็นว่าในท่าที่ 3 พนักงานเชื่อมมีข้อบกพร่องในส่วนขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize) มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การประเมินรอยเชื่อมของท่าเชื่อมท่าที่ 3 (ก่อนการปรับปรุง) พบว่าหลังจากการปรับปรุงพนักงานเชื่อมสามารถผ่านเกณฑ์ได้มากขึ้นในทุกรายการตรวจสอบ

4.1.5 ระยะควบคุมกระบวนการ (Control phase)

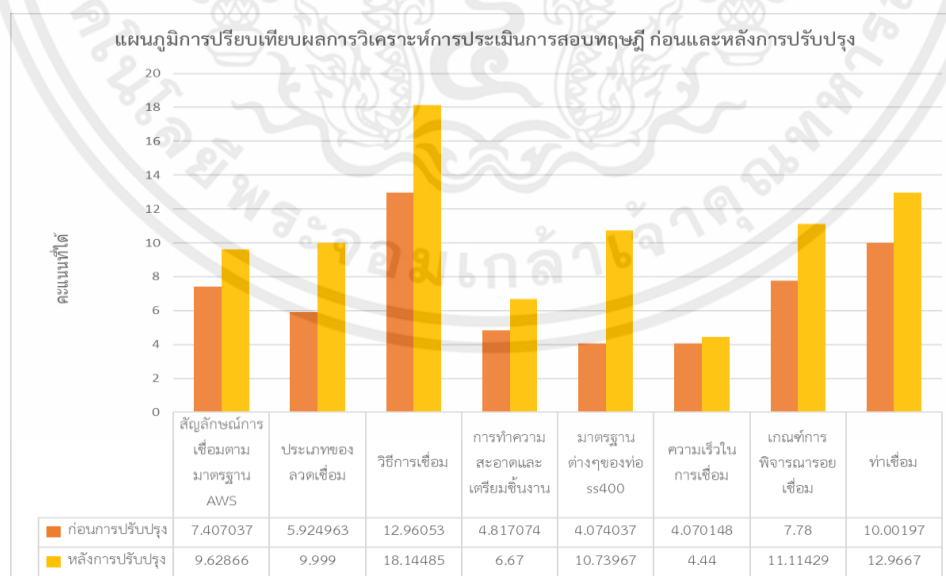
ขั้นตอนการควบคุมเป็นการควบคุมข้อบกพร่องจากสาเหตุต่างๆ ซึ่งจะต้องควบคุมขั้นตอนหรือวิธีการทำงานมากขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำขึ้นอีก โดยมีการอบรมและจัดการทดสอบให้กับพนักงานเชื่อมอยู่เสมอและต่อเนื่อง เพื่อให้พนักงานเชื่อมมีความเข้าใจและสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 4.3 สิ่งที่ได้ดำเนินการปรับปรุงและแนวทางการควบคุม

สิ่งที่ได้ดำเนินการปรับปรุง	แนวทางการควบคุม
1. มาตรฐานการทำงานเชื่อม	- การนำคู่มือมาตรฐานมาประยุกต์ควบคุมกับเอกสารการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ในส่วนของการปฏิบัติงานเชื่อม
2. ทักษะของพนักงานเชื่อม	- อบรมให้กับพนักงานเชื่อม - จัดการทดสอบทักษะพนักงานเชื่อม

4.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อวัดระดับความสามารถของพนักงานก่อนและหลังปรับปรุง

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การประเมินการสอบทฤษฎีก่อนและหลังการปรับปรุง ผลทั้งสองภาคของการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

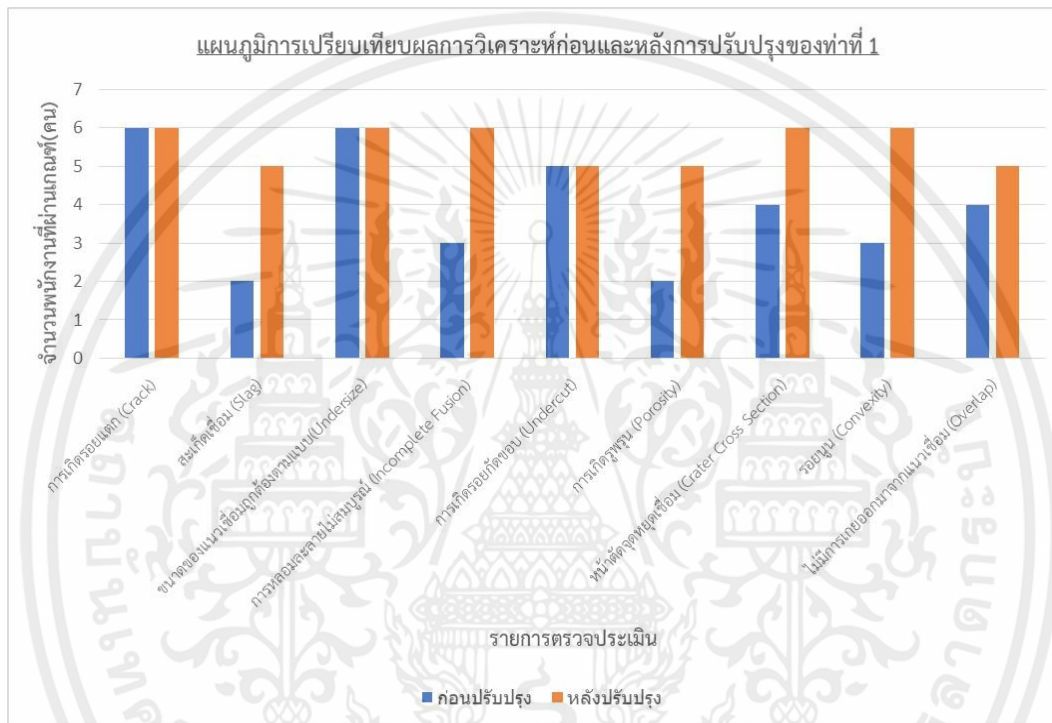


รูปที่ 4.14 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การประเมินการสอบทฤษฎี ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าคะแนนการทดสอบทฤษฎี ก่อนและหลังการปรับปรุงพนักงานเชื่อมทั้งหมด 6 คน หลังจากการปรับปรุง วิเคราะห์ตามแบบทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อมเป็นข้อสอบปรนัย มีจำนวนทั้งหมด 45 ข้อ ตามหัวข้อทั้งหมด 8 ข้อ โดยกำหนดเป้าหมายในการผ่านเกณฑ์ในแต่ละรายการตรวจคือร้อยละ 1 ข้อ 1. สัญลักษณ์งานเชื่อมก่อนปรับปรุงพนักงานได้คะแนนร้อยละ 7.407 หลังปรับปรุงร้อยละ 9.629 คะแนนเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับร้อยละ 2.221 ข้อ 2. ประเภทของลวดเชื่อม ก่อนปรับปรุงพนักงานได้คะแนนร้อยละ 5.925 หลังปรับปรุงร้อยละ 9.999 คะแนน คะแนนเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับร้อยละ 4.074 ข้อ 3. วิธีการเชื่อมก่อนปรับปรุงพนักงานได้คะแนนร้อยละ 12.961 หลังปรับปรุงร้อยละ 18.145 คะแนนเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับร้อยละ 5.184 ข้อ 4. การทำความสะอาดเพื่อเตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อมก่อนปรับปรุงพนักงานได้คะแนนร้อยละ 4.817 หลังปรับปรุงร้อยละ 6.67 คะแนนเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับร้อยละ 1.853 ข้อ 5. มาตรฐานเกี่ยวกับท่อก่อนปรับปรุงพนักงานได้คะแนนร้อยละ 4.074 หลังปรับปรุงร้อยละ 10.739 คะแนนเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับร้อยละ 6.666 ข้อ 6. ความเร็วในการเชื่อมก่อนปรับปรุงพนักงานได้คะแนนร้อยละ 4.070 หลังปรับปรุงร้อยละ 4.44 คะแนนเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับร้อยละ 0.369 ข้อ 7. เกณฑ์ในการตรวจสอบและเกณฑ์ในการยอมรับรอยเชื่อมก่อนปรับปรุงพนักงานได้คะแนนร้อยละ 7.78 หลังปรับปรุงร้อยละ 11.114 คะแนนเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับร้อยละ 3.334 ข้อ 8. ท่าเชื่อมที่ใช้ในงานเชื่อมท่อกลมก่อนปรับปรุงพนักงานได้คะแนนร้อยละ 10.002 หลังปรับปรุงร้อยละ 12.967 คะแนนเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับร้อยละ 2.965

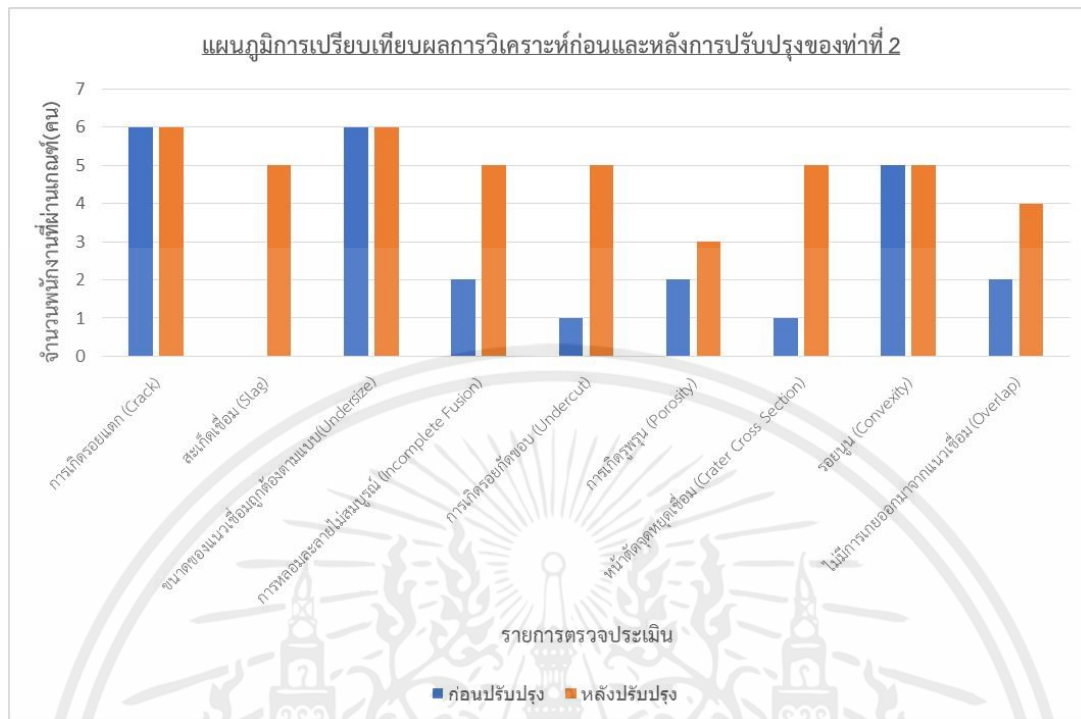
จากผลการทดสอบคะแนนหลังจากการปรับปรุงพนักงานมีความรู้เข้าใจในด้านทฤษฎีเพิ่มมากขึ้นและ
เป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกหัวข้อ

โดยแบบประเมินการทดสอบภาคปฏิบัติอ้างอิงรายการที่ต้องตรวจสอบและเกณฑ์ในการยอมรับมาจาก มาตรฐานสมาคมการเชื่อมประเทศสหรัฐอเมริกาหรือ American welding society (AWS) การประเมินให้ คะแนนของแบบทดสอบภาคปฏิบัติจะถูกประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทกรณีศึกษา 3 คนและผู้เชี่ยวชาญจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 คน สามารถดูผลได้ดังรูปที่ 4.15



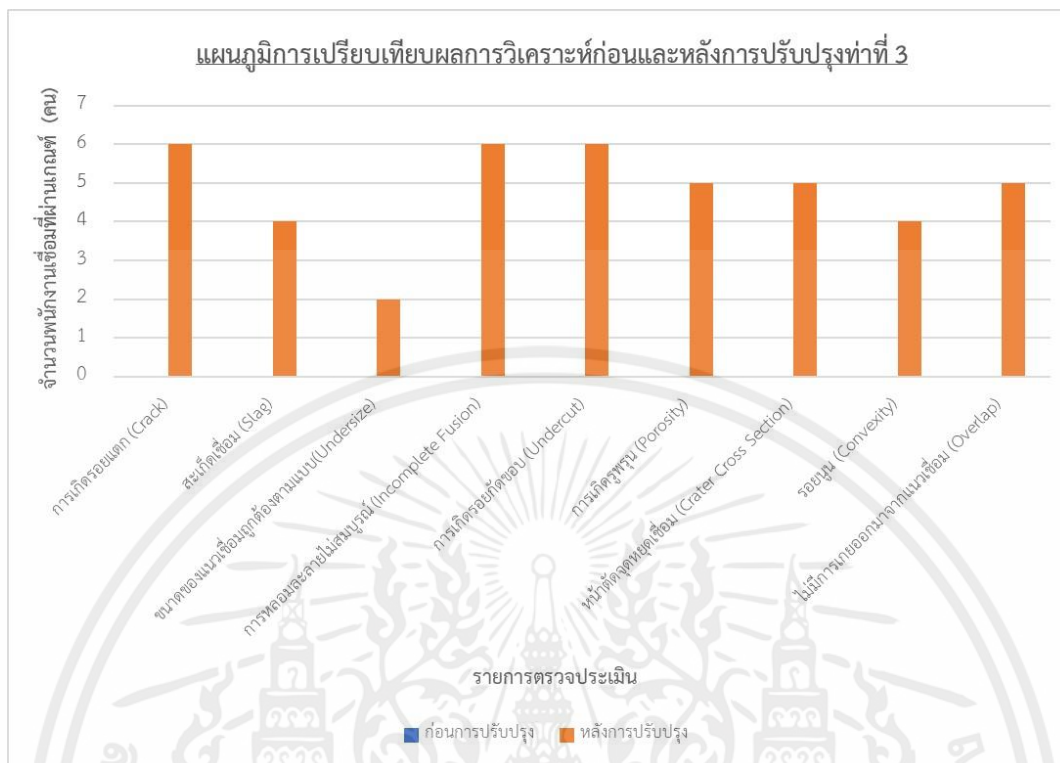
รูปที่ 4.15 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการปรับปรุงของท่าที่ 1

จากรูปที่ 4.15 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในส่วนของก่อนและหลังการปรับปรุงของ ท่าที่ 1 โดยกำหนดเป้าหมายในการผ่านเกณฑ์ในแต่ละรายการตรวจคือร้อยละ 50 ของจำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ ดังนั้นเป้าหมายในการผ่านเกณฑ์ในแต่ละรายการตรวจคือ 3 คน โดยในรายการตรวจประเมินที่มีจำนวนพนักงาน ผ่านเกณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 50 ในส่วนของก่อนการปรับปรุงคือ สลัดเชื่อม (Slag) และการเกิดรูพรุน (Porosity) ซึ่งมีจำนวนพนักงานผ่านเพียงแค่ร้อยละ 33.33 เท่านั้น เมื่อมาเปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุงนั้นในหัวข้อ รายการตรวจประเมินเดียวกัน กลับพบว่ามีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ที่ร้อยละ 50 อยู่ที่ร้อยละ 83.33 แสดงให้ เห็นว่าจากการทดสอบพนักงานมีทักษะงานเชื่อมดีขึ้น เกิดข้อบกพร่องในชิ้นงานน้อยลง



รูปที่ 4.16 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการปรับปรุงของท่าที่ 2

จากรูปที่ 4.16 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในส่วนของก่อนและหลังการปรับปรุงของท่าที่ 2 พบว่า โดยกำหนดเป้าหมายในการผ่านเกณฑ์ในแต่ละรายการตรวจคือร้อยละ 50 ของจำนวนผู้เข้ารับการทดสอบ ดังนั้นเป้าหมายในการผ่านเกณฑ์ในแต่ละรายการตรวจคือ 3 คน โดยในรายการตรวจประเมินที่มีจำนวนพนักงานผ่านเกณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 50 ในส่วนของก่อนการปรับปรุงคือ สะเก็ดเชื่อม (Slag) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut) การเกิดรูพรุน (Porosity) หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section) และ ไม่มีการเกยออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap) ซึ่งมีจำนวนพนักงานผ่านสูงสุดเพียงแค่ร้อยละ 33.33 เท่านั้น เมื่อมาเปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุงนั้นในหัวข้อรายการตรวจประเมินเดียวกันพบว่ามีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 50 คือในรายการตรวจสะเก็ดเชื่อม (Slag) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut) และหน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section) อยู่ที่ร้อยละ 83.33 และในรายการตรวจไม่มีการเกยออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap) อยู่ที่ร้อยละ 66.67 และในรายการตรวจการเกิดรูพรุน (Porosity) อยู่ที่ร้อยละ 50 แสดงให้เห็นว่าจากการทดสอบพนักงานในท่าที่ 2 ซึ่งเป็นท่าที่มีความยากอยู่แล้วซึ่งในการเชื่อมต่ออาศัยทักษะ ในการทดสอบนี้ทำให้ได้เห็นว่าพนักงานมีทักษะที่ดีขึ้น



รูปที่ 4.17 แผนภูมิการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการปรับปรุงท่าที่ 3

จากรูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการปรับปรุงท่าที่ 3 พบว่าก่อนการปรับปรุง มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ต่ำกว่า 50% ในทุกรายการตรวจ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุง นั้นมีรายการตรวจสอบที่มีจำนวนพนักงานเชื่อมผ่านเกณฑ์มากกว่า 50% ได้แก่ รายการตรวจสอบการเกิดรอยแตก (Crack) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 100% สะเก็ดเชื่อม (Slag) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 66.67% การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 100% การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 100% การเกิดรูพรุน (Porosity) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 83.33% หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 83.33% รอยนูน (Convexity) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 66.67% และไม่มีการแยกออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 83.33% โดยมีเพียงรายการตรวจสอบเดียวที่มีจำนวนพนักงานเชื่อมผ่านเกณฑ์ต่ำกว่า 50% คือ รายการตรวจสอบขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersized) มีจำนวนพนักงานเชื่อมที่ผ่านเกณฑ์ 33.33%

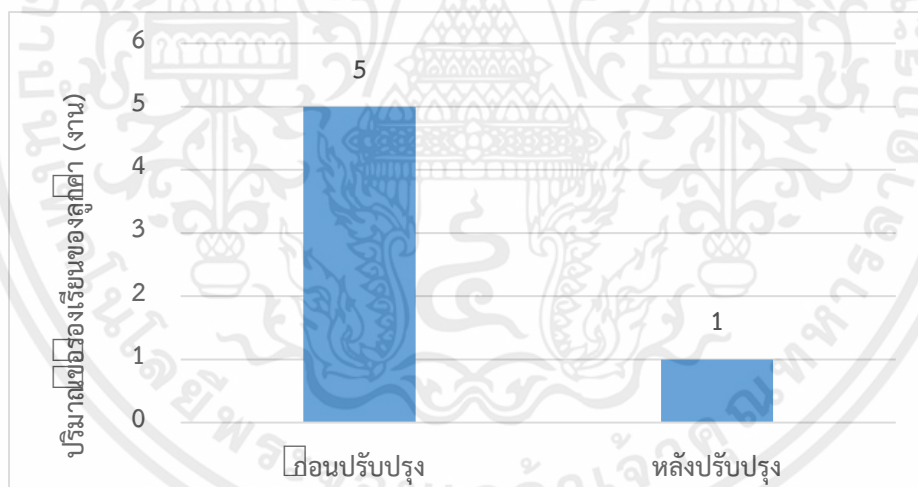
4.3 ผลการดำเนินงานในเรื่องการใช้คู่มือ

จากแนวทางการดำเนินงานตามขั้นตอน DMAIC แต่ละขั้นตอนได้นำไปสู่การนำไปปฏิบัติ โดยทำการติดตามผลหลังการปรับปรุงแก้ไขเป็นระยะเวลา 3 เดือน ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณข้อร้องเรียนของลูกค้าหลังการปรับปรุง (เดือน มกราคม-มีนาคม พ.ศ. 2565)

รายละเอียด	เดือน			จำนวนทั้งหมด (งาน)
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
ข้อร้องเรียนของลูกค้าเกี่ยวกับรอย เชื่อมของรื้อกันเครื่องจักรแบบเหล็ก กลม	0	1	0	1

จากตารางที่ 4.4 หลังจากการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 3 เดือน มีจำนวนข้อร้องเรียนจากลูกค้าทั้งหมด 5 งาน เมื่อนำข้อมูลหลังจากการปรับปรุงมาสรุปเปรียบเทียบจำนวนของเสียก่อนและหลังปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบจำนวนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.18 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบจำนวนของเสียก่อนปรับปรุง (เดือน มกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2564) และหลังการปรับปรุง (เดือน มกราคม-มีนาคม พ.ศ. 2565) พบว่าหลังการปรับปรุงมีจำนวนข้อร้องเรียนลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง โดยก่อนการปรับปรุงมีจำนวนข้อร้องเรียน 5 งาน และหลังการปรับปรุงมีจำนวนข้อร้องเรียน 1 งาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวทางการดำเนินการแก้ไขปัญหามีประสิทธิผล สามารถลดปริมาณข้อร้องเรียนจากลูกค้าได้ร้อยละ 80

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลดำเนินงาน

จากปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาเกี่ยวกับซึ่งเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิตมีปริมาณสูงกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ นำไปสู่การประยุกต์ใช้แนวทางการดำเนินงานของซิกซิกม่า (Six sigma) เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาซึ่งเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการกำหนดปัญหาการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการ

5.1 สรุปผลดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นบริษัทที่ทำการผลิตเครื่องจักรอัตโนมัติ สำหรับบริษัทชั้นนำทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งมีกระบวนการขึ้นรูปและการตรวจสอบงานโครงสร้างที่เป็นกระบวนการที่สำคัญ พบว่าปัญหาหลักในปัจจุบันที่พบมากที่สุดในการบวนการนี้ ได้แก่ ข้อร้องเรียนเรื่องรอยเชื่อมไม่สวยงาม โดยมีสัดส่วนของปัญหาสูงสุดถึงร้อยละ 39.13 ของจำนวนปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหา และหาแนวทางปรับปรุงให้ปริมาณปัญหาลดน้อยลงเพื่อบรรลุจุดประสงค์ที่กำหนดไว้

จากการศึกษากระบวนการงานเชื่อม พบว่ากระบวนการผลิตส่วนของขั้นตอนการขึ้นรูปโครงสร้าง นั้นมีคำร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องชิ้นงานมีรอยเชื่อมที่ไม่สวยงาม หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ระดมสมองร่วมกับทีมงานที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์ถึงรากเหง้าของปัญหาโดยการวิเคราะห์แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) โดยพิจารณาถึงสาเหตุของการเกิดปัญหา ซึ่งแบ่งปัจจัยเป็น 4 กลุ่ม คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และวัตถุดิบ (Material) ต่อมาจึงนำสาเหตุของปัญหาที่ได้จากแผนภาพแสดงสาเหตุและผลมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงจากการใช้เทคนิค การวิเคราะห์ Why Why และนำผลการประเมินความรุนแรงและโอกาสของสาเหตุที่เกิดขึ้นจากทางสถานประกอบการ มาช่วยประกอบการตัดสินใจ โดยจากผลการวิเคราะห์นั้นผู้วิจัยพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปัญหาคำร้องเรียนจากลูกค้า (Complaints) คือ ไม่มีการอบรม (Training) ไม่มีข้อกำหนดในส่วนของการปฏิบัติงาน และไม่มีมาตรฐาน จากนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาร่วมกับทีมงานที่เกี่ยวข้องหาเพื่อแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการงานเชื่อม

หลังจากการปรับปรุงได้ติดตามผล โดยการควบคุมปัจจัยหลักในระยะเวลา 3 เดือน (เดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ.2565) สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยสัดส่วนหลังจากการปรับปรุง โดยที่วัดผลตามแบบทดสอบภาคทฤษฎีการเชื่อมเป็นข้อสอบปรนัยมีความรู้เข้าใจในด้านทฤษฎีก่อนการปรับปรุงพนักงานทดสอบได้คะแนนร้อยละ 57.03 หลังการปรับปรุงพนักงานทดสอบได้คะแนนร้อยละ 83.70 เพิ่มมากขึ้นร้อยละ 26.67 วัดผลตามแบบทดสอบภาคปฏิบัติการเชื่อมแบ่งออกเป็น 3 ท่า ได้แก่ ท่าที่ 1 ต่อชนแบบปากเขาจะร้องซึ่งพบวก่อนปรับปรุงมีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ที่ร้อยละ 50 อยู่ที่ร้อยละ 64.81 หลังปรับปรุงมีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ที่ร้อยละ 50 อยู่ที่ร้อยละ 83.33 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.52 ท่าที่ 2 ท่าเชื่อมรอบแนวเต็ม ซึ่งพบวก่อนปรับปรุงมีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ที่ร้อยละ 50 อยู่ที่ร้อยละ 46.29 หลังปรับปรุงมีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ที่ร้อยละ 50 อยู่ที่ร้อยละ 81.48 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 35.19 ซึ่งเป็นท่าที่มีความยากอยู่แล้ว ซึ่งในการเชื่อมต้องอาศัยทักษะ ในการทดสอบนี้ก็ทำให้ได้เห็นว่าพนักงานมีทักษะที่ดีขึ้น ท่าที่ 3 ท่าเชื่อมต่อชนเชื่อมรอบ ซึ่งพบวก่อนปรับปรุงมีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ที่ร้อยละ 50 อยู่ที่ร้อยละ 0 หลังปรับปรุงมีจำนวนพนักงานที่ผ่านเกณฑ์ที่ร้อยละ 50 อยู่ที่ร้อยละ 79.63 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 79.63 และในส่วนของการอ่านข้อร้องเรียนลดลงตามแนวทางการดำเนินการแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณข้อร้องเรียนจากลูกค้าได้ร้อยละ 80 หลังจากการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการงานเชื่อมได้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันที่ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การจัดอบรมพนักงานเกี่ยวกับการปฏิบัติงานเชื่อมปีละ 1 ครั้ง เพื่อให้พนักงานเรียนรู้ทักษะหรือการปฏิบัติงานเชื่อมในงานได้อย่างถูกต้องและเข้าใจมากขึ้น
2. ทำมาตรการการตรวจสอบแบบ QC in Process โดยจะเน้นให้พนักงานเชื่อมที่ไม่ได้รับผิดชอบงานนั้นเป็นผู้ตรวจสอบรอยเชื่อมตามเกณฑ์การพิจารณารอยเชื่อมของ AWS ก่อนที่จะส่งไปยังแผนกถัดไป
3. ทำการจัดพนักงานให้ทำงานเหมาะสมกับระดับความสามารถของตนเอง เพื่องานเชื่อมที่ออกมาชิ้นจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข, 2563. การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรม (Industrial Work Study). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] จุฑามาส บุญมา และ ศรัณยา รุ่งเจริญสุขศรี, 2556. การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบทางกายภาพของรถยนต์ด้วยเทคนิคอีซีอาร์เอสในโรงงานประกอบรถยนต์แห่งหนึ่ง. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] 2562. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 107-2561 ท่อเหล็กกล้าคาร์บอนสำหรับงานโครงสร้างทั่วไป. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- [4] นันทวัฒน์ สติระชัยวิทย์, (-). การใช้ท่อเหล็กในโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- [5] <http://www.steels-supplier.com/steel-standard/jis-g3101-ss400-structural-carbon-steel-plate-specification.html>
- [6] http://sar.udontech.ac.th/43/public/files/1520751388_fd5bef49f420869a6aab044d0cffe813.pdf
- [7] ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ลีลากรวิวงศ์, 2549. เอกสารคำสอนงานเชื่อม. มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [8] Tanasak, 2558. การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม
- [9] <https://www.blockdit.com/posts/603f0ad35dd2ea0be91149c8> (มีนาคม, 2564)
- [10] <http://inded.rmuts.ac.th/Alumni/Alumni-54/Alumni-56-wps.pdf> (2556)
- [11] <http://arcraftplasma.blogspot.com/2016/08/preheat-temperature-table-in-welding.html> (สิงหาคม, 2559)
- [12] <https://pdf4pro.com/amp/view/steel-preheating-chart-crown-alloys-5a243b.html>
- [13] <https://powertool.today/> (มิถุนายน, 2564)
- [14] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2551. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย
- [15] <https://www.mechical.com/2021/09/welding-defects.html> (กันยายน, 2564)
- [16] <https://weldingtroop.com/welding-defects-how-to-prevent/> (2565)
- [17] ฝ่ายพัฒนาระบบและรูปแบบการฝึกตามความสามารถ (CBT), (-). คู่มือผู้รับการฝึก (Trainee Manual) Competency Based Training. กลุ่มงานพัฒนาระบบการฝึก สำนักพัฒนาผู้ฝึกและเทคโนโลยีการฝึก กรมฝีมือแรงงาน
- [18] <https://ตู้เชื่อมไฟฟ้า.com/ลวดเชื่อม> (พฤศจิกายน, 2557)

- [19] <https://www.stwelding2000.com/setting-parameter/>
- [20] ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง อัมพวรรณ จิระอาภาวงศ์ และทศพล เกียรติเจริญผล, 2551. การประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสุกัญชาเซรามิกส์. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
- [21] <http://qd.swu.ac.th/Portals/2077/Why%20Why%20Anlysis.pdf?ver=2562-05-24-082545-380> (2562)
- [22] <https://greedisgoods.com/ecrs-คือ/> (กรกฎาคม, 2561)
- [23] อภิญญา หนูพริ้ม, 2563. การลดของเสียในกระบวนการการผลิต กรณีศึกษาในโรงงานถลุงมือยางตัวอย่าง. สารนิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [24] https://www.aitech.co.th/_aitech/products.php (2565)
- [25] https://hr.oop.cmu.ac.th/km/PDFKmHr/moringkm/mn_54_2.pdf (2563)
- [26] AWS Committee on Structural, 2542. Structural Welding Code-Steel. American Welding Society

ภาคผนวก





ปรากฏการณ์	หัวข้อตรวจสอบ	ทำไม 1	ทำไม 2	ทำไม 3	ทำไม 4	มาตรการ
รอยเชื่อมไม่สวยงาม เกิด Undercut	ปรับกระแสไฟไม่เหมาะสม	กระแสไฟเชื่อมสูงเกินไป	พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจ	ไม่ได้มีการ Training		จัดทำข้อกำหนดการปรับกระแสไฟที่เป็นมาตรฐานและจัดทำ Training พนักงาน
			ไม่มีข้อกำหนดการปรับกระแสไฟที่เป็นมาตรฐาน			
	ช่องว่างของชิ้นงาน(Gap)	วัดความยาวผิด	อ่านแบบผิด	ไม่มีการ Training		ทำการ Training พนักงานและทดสอบความเข้าใจการอ่านแบบ
			แบบ Drawing ไม่ชัดเจน			
			เครื่องมือวัดไม่แม่นยำ	ไม่มีการเช็คสภาพการใช้งานของเครื่องมือวัด		มีการตรวจสอบสภาพเครื่องมือก่อนใช้งาน
			เครื่องมืออยู่การใช้งานมาก			
			ไม่ได้ตรวจสอบความยาว			
		ระยะเผื่อไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าจะต้องเผื่อเท่าไร	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องการเผื่อช่องว่าง	ไม่มีการ Training	
	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	พนักงานไม่รู้ว่าความเร็วในการเดินลวดเท่าไรถึงเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้ในการเดินลวดเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติการเชื่อมให้พนักงาน
	ทำเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องทำเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีข้อกำหนดทำทางการเชื่อม	จัดทำทำทางการเชื่อมที่ถูกต้องตามมาตรฐาน
	ไม่มีการทำความสะอาดก่อนเชื่อม	ไม่มีมาตรฐาน				จัดทำมาตรฐานในส่วนขั้นตอนการทำ ความสะอาดงานเชื่อม
		ไม่มีข้อกำหนดการทำความสะอาด				
	การเลือกวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าวิธีการเชื่อมแบบไหนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องวิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติการเชื่อมให้พนักงาน

ตารางที่ ก.1 ตารางผลการวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why - why Analysis ของบริษัท ก

ปรากฏการณ์	หัวข้อตรวจสอบ	ทำไม 1	ทำไม 2	ทำไม 3	ทำไม 4	มาตรการ
รอยเชื่อมไม่สวยตามเกิด Undersized weld , Porosity , Sleg inclusion , Undercut	ปรับกระแสไฟฟ้าไม่เหมาะสม	กระแสไฟฟ้าเชื่อมถูกเกินไป	พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจ ไม่มีคู่มือกำหนดการปรับกระแสไฟฟ้าให้เป็นมาตรฐาน	ไม่ได้มีการ Training		จัดทำข้อกำหนดการปรับกระแสไฟฟ้าเป็นมาตรฐานและจัดทำ Training พนักงาน
	ข้อบกพร่องชิ้นงาน (Gap)	วัดความยาวผิด	อ่านแบบผิด	ไม่ได้มีการ Training แบบ Drawing ไม่ชัดเจน		ทำการ Training พนักงานและทดสอบความเข้าใจในการอ่านแบบ
			เครื่องมือวัดไม่แม่นยำ	ไม่มีการป้องกันการใช้งานเครื่องมือวัด		มีการตรวจทานเครื่องมือก่อนใช้งาน
			ไม่ได้ตรวจสอบความยาว	เครื่องมือวัดอยู่การใช้งานมาก		
		ระยะเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าจะเชื่อมที่ตรงไหน	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องการเชื่อมอย่างทั่ว	ไม่ได้มีการ Training	
	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	พนักงานไม่รู้ว่าการเดินลวดเชื่อมที่ตรงไหนเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้ในการเดินลวดเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้	ไม่ได้มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติที่งานเชื่อมให้พนักงาน
	ท่าเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ท่าเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องท่าเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีข้อกำหนดท่าทางการเชื่อม	จัดทำท่าทางการเชื่อมที่ถูกต้องตามมาตรฐาน
	ไม่มีการทำความสะอาดก่อนเชื่อม	ไม่มีการตรวจ				จัดทำมาตรฐานในส่วนขั้นตอนการทำความสะอาดก่อนเชื่อม
		ไม่มีข้อกำหนดการทำความสะอาด				
	รอยเชื่อมไม่ได้นขนาดที่เหมาะสม	ไม่มีการกำหนดขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสมในแบบงาน				จัดทำมาตรฐานและทำการ Training ให้พนักงาน
		พนักงานไม่รู้ว่าจะเชื่อมที่ชิ้นงานเท่าไรจึงจะเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้เรื่องขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้		
	การเลือกวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้วิธีการเชื่อมแบบไหนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องวิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่ได้มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติที่งานเชื่อมให้พนักงาน
	การเลือกลวดเชื่อมที่ไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	พนักงานทราบว่ามีลวดเชื่อมแบบไหนที่ไม่ปฏิบัติตาม	พนักงานจับใจจะเลย	พนักงานทำงานหลายงาน คนเดียว		* จัดทำมาตรการในการตรวจสอบ (ป้องกันของ)
	ลวดเชื่อมได้รับความร้อนมากเกินไป	อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนเกินไป	มีการจับกับไม่เหมาะสม			จัดทำข้อกำหนดในการตรวจสอบอุณหภูมิและจัดทำพื้นที่จับกับวัตถุโดยเฉพาะ
		ไม่มีการตรวจสอบก่อนใช้งาน	ไม่มีคู่มือบังคับในการตรวจสอบ			

ตารางที่ ก.2 ตารางผลการวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why - why Analysis ของบริษัท ข

ปรากฏการณ์	หัวข้อตรวจสอบ	ทำไม 1	ทำไม 2	ทำไม 3	ทำไม 4	มาตรการ
รอยเชื่อมไม่สวยงามเกิด Undercut, Slag inclusion, Undersized weld	ปรับกระแสไฟไม่เหมาะสม	กระแสไฟเชื่อมสูงเกินไป	พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจ	ไม่ได้มีการ Training		จัดทำข้อกำหนดการปรับกระแสไฟที่เป็นมาตรฐานและจัดทำ การ Training พนักงาน
			ไม่มีข้อกำหนดการปรับกระแสไฟที่เป็นมาตรฐาน			
	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	พนักงานไม่รู้ว่าความเร็วในการเดินลวดเท่าไรจึงเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้ในการเดินลวดเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติการเชื่อมให้พนักงาน
	ท่าเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ท่าเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องท่าเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีข้อกำหนดท่าทางการเชื่อม	จัดทำท่าทางการเชื่อมที่ถูกต้องตามมาตรฐาน
	ไม่มีการทำความสะอาดก่อนเชื่อม	ไม่มีมาตรฐาน				จัดทำมาตรฐานในส่วนขั้นตอนการทำความสะอาดงานเชื่อม
		ไม่มีข้อกำหนดการทำความสะอาด				
	การเลือกวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้วิธีการเชื่อมแบบไหนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องวิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติการเชื่อมให้พนักงาน
รอยเชื่อมไม่ได้ขนาดที่เหมาะสม		ไม่มีการกำหนดขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสมในแบบงาน				จัดทำมาตรฐานและทำการ Training ให้พนักงาน
		พนักงานไม่รู้วารอยเชื่อมต้องมีขนาดเท่าไรถึงจะเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้เรื่องขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้		

ตารางที่ ก.3 ตารางผลการวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why - why Analysis ของบริษัท ค

ปรากฏการณ์	หัวข้อตรวจสอบ	ทำไม 1	ทำไม 2	ทำไม 3	ทำไม 4	มาตรการ
รอยเชื่อมไม่ตรงตามเกิด Undercut , Undersized weld , Porosity	บริการแปลไฟไม่เหมาะสม	กระแสไฟเชื่อมสูงเกินไป	พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจ	ไม่ได้รับการ Training		จัดทำข้อกำหนดการบริการแปลไฟที่เป็นมาตรฐานและจัดทำ Training พนักงาน
			ไม่มีข้อกำหนดการบริการแปลไฟที่เป็นมาตรฐาน			
	ช่องว่างของชิ้นงาน(Gap)	วัดความยาวผิด	อ่านแบบผิด	ไม่มีการ Training		ทำการ Training พนักงานและทดสอบความเข้าใจการอ่านแบบ
			เครื่องมือวัดไม่แม่นยำ	ไม่มีการเช็คสภาพการใช้งานของเครื่องมือวัด		
				เครื่องมือเฝ้ารายการใช้งานผิด		มีการตรวจสอบภาพเครื่องมือก่อนใช้งาน
		รอยเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าจุดเชื่อมเท่าไร	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องการเชื่อมช่องว่าง	ไม่มีการ Training	
	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	พนักงานไม่รู้ว่าความเร็วในการเดินลวดเท่าไรถึงเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้ในการเดินลวดเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติการเชื่อมให้พนักงาน
	ทำเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องทำเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีการกำหนดทำทำการเชื่อม	จัดทำทำการเชื่อมที่ถูกต้องตามมาตรฐาน
	ไม่มีการทำความสะอาดก่อนเชื่อม	ไม่มีความรู้				จัดทำมาตรฐานในส่วนขั้นตอนการทำความสะอาดงานเชื่อม
		ไม่มีข้อกำหนดการทำความสะอาด				
	การเลือกวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้จักวิธีการเชื่อมแบบไหนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องวิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติการเชื่อมให้พนักงาน
	รอยเชื่อมไม่ได้ขนาดที่เหมาะสม	ไม่มีการกำหนดขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสมในแบบงาน				จัดทำมาตรฐานและทำการ Training ให้พนักงาน
		พนักงานไม่รู้ว่ารอยเชื่อมต้องขนาดเท่าไรถึงจะเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้เรื่องขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้		
	การเลือกลวดเชื่อมที่ใช้ไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	พนักงานทราบว่าต้องใช้ลวดเชื่อมแบบใด แต่ไม่ปฏิบัติตาม	พนักงานรีบจึงลดย	พนักงานทำงานหลายคน คนเดียว		* จัดทำมาตรการในการตรวจสอบ (ข้อเสนอแนะ)
	ลวดเชื่อมได้รับความชื้นมากเกินไป	อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นมากเกินไป	มีการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม			จัดทำข้อกำหนดในการตรวจสอบวัสดุและจัดทำที่จัดเก็บวัสดุโดยเฉพาะ
		ไม่มีการตรวจสอบก่อนใช้งาน	ไม่มีข้อบังคับในการตรวจสอบ			

ตารางที่ ก.4 ตารางผลการวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why - why Analysis ของบริษัท ง

ปรากฏการณ์	หัวข้อตรวจสอบ	ทำไม 1	ทำไม 2	ทำไม 3	ทำไม 4	มาตรการ
รอยเชื่อมไม่สวยงามเกิด Undercut , Undersized weld	ปรับกระแสไฟไม่เหมาะสม	กระแสไฟเชื่อมสูงเกินไป	พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจ	ไม่ได้มีการ Training		จัดทำข้อกำหนดการปรับกระแสไฟที่เป็นมาตรฐานและจัดทำ การ Training พนักงาน
			ไม่มีข้อกำหนดการปรับกระแสไฟที่เป็นมาตรฐาน			
	ช่องว่างของชิ้นงาน(Gap)	วัดความยาวผิด	อ่านแบบผิด	ไม่ได้มีการ Training		ทำการ Training พนักงานและทดสอบความเข้าใจการอ่านแบบ
			แบบ Drawing ไม่ชัดเจน			
			เครื่องมือวัดไม่แม่นยำ	ไม่มีการเช็คสภาพการใช้งานของเครื่องมือวัด		มีการตรวจสอบเครื่องมือก่อนใช้งาน
			เครื่องมือมีการใช้งานมาก			
		ไม่ได้ตรวจสอบความยาว				
	ระยะเผื่อไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าจะต้องเผื่อเท่าไร	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องการเผื่อช่องว่าง	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องการเผื่อช่องว่าง	ไม่ได้มีการ Training	
	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	พนักงานไม่รู้ว่าความเร็วในการเดินลวดเท่าไรถึงเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้ในการเดินลวดเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้	ไม่ได้มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติการเชื่อมให้พนักงาน
	ท่าเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าท่าเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องท่าเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่มีข้อกำหนดท่าทางการเชื่อม	จัดทำท่าทางการเชื่อมที่ถูกต้องตามมาตรฐาน
	ไม่มีการทำความสะอาดก่อนเชื่อม	ไม่มีมาตรฐาน				จัดทำมาตรฐานในส่วนขั้นตอนการทำ ความสะอาดงานเชื่อม
		ไม่มีข้อกำหนดการทำ ความสะอาด				
	การเลือกวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	พนักงานไม่รู้ว่าวิธีการเชื่อมแบบไหนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน	พนักงานไม่มีความรู้ในเรื่องวิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง	พนักงานขาดความรู้	ไม่ได้มีการ Training	ทำการ Training แบบปฏิบัติการเชื่อมให้พนักงาน
	รอยเชื่อมไม่ได้ขนาดที่เหมาะสม	ไม่มีการกำหนดขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสมในแบบงาน				จัดทำมาตรฐานและทำการ Training ให้พนักงาน
		พนักงานไม่รู้ว่ารอยเชื่อมต้องมีขนาดเท่าไรถึงจะเหมาะสม	พนักงานไม่มีความรู้เรื่องขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสม	พนักงานขาดความรู้		

ตารางที่ ก.5 ตารางผลการวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why - why Analysis ของบริษัท จ

		บริษัทลูกค้า					รวม
		บริษัท ก	บริษัท ข	บริษัท ค	บริษัท ง	บริษัท จ	
กองส่งเสริม	ปรับกระแสไฟไม่เหมาะสม	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ความเชื่อในการเดินลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ท่าเชื่อมไม่ถูกต้อง	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ไม่มีการทำความสะอาดก่อนเชื่อม	✓	✓	✓	✓	✓	5
	รอยเชื่อมไม่ได้ขนาดที่เหมาะสม		✓	✓	✓	✓	4
	ช่องว่างของชิ้นงาน(Gap)	✓	✓		✓	✓	4
	การเลือกวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	✓	✓	✓	✓	✓	5
	การเลือกลวดเชื่อมที่ใช้ไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน		✓		✓		2
	ลวดเชื่อมได้รับความชื้นมากเกินไป		✓		✓		2

ตารางที่ ก.6 ตารางสรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why - why Analysis

		บริษัทลูกค้า					รวม
		บริษัท ก	บริษัท ข	บริษัท ค	บริษัท ง	บริษัท จ	
* เป็น	ไม่มีการ Training	✓	✓	✓	✓	✓	5
	เครื่องมือมีอายุการใช้งานมาก	✓	✓		✓	✓	4
	ไม่มีการเช็คสภาพการใช้งานของเครื่องมือวัด	✓	✓		✓	✓	4
	แบบ Drawing ไม่ชัดเจน	✓	✓		✓	✓	4
	พนักงานทำงานหลายส่วน คนเดียว				✓		1
	ไม่มีข้อกำหนดการปรับกระแสไฟที่เป็นมาตรฐาน	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ไม่ได้ตรวจสอบความยาว	✓			✓	✓	3
	ไม่มีข้อกำหนดค่าทางการเชื่อม	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ไม่มีมาตรฐาน	✓	✓		✓	✓	4
	ไม่มีข้อกำหนดการทำความสะอาด	✓	✓		✓	✓	4
	มีการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม				✓		1
	ไม่มีการกำหนดขนาดรอยเชื่อมที่เหมาะสมในแบบงาน		✓	✓	✓	✓	4
	พนักงานขาดความรู้		✓	✓	✓	✓	4
	ไม่มีข้อบังคับในการตรวจสอบ				✓		4

ตารางที่ ก.7 ตารางสรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why - why Analysis

		บริษัทลูกค้า					รวม
		บริษัท ก	บริษัท ข	บริษัท ค	บริษัท ง	บริษัท จ	
ประเภท	จัดทำข้อกำหนดการปรับกระแสไฟที่เป็นมาตรฐาน	✓	✓	✓	✓	✓	5
	จัดทำกร Training พนักงาน	✓	✓	✓	✓	✓	5
	ทดสอบความเข้าใจการอ่านแบบ	✓	✓		✓	✓	4
	มีการตรวจสอบสภาพเครื่องมือก่อนใช้งาน	✓	✓		✓	✓	4
	จัดทำพาหนการเชื่อมต่อที่ถูกต้องตามมาตรฐาน	✓	✓	✓	✓	✓	5
	จัดทำมาตรฐานในส่วนขั้นตอนการทำความสะดวกงานเชื่อม	✓	✓	✓	✓	✓	5
	จัดทำข้อกำหนดในการตรวจสอบวัสดุ				✓		1
	จัดทำพื้นที่จัดเก็บวัสดุโดยเฉพาะ				✓		1
	จัดทำมาตรฐานในการตรวจสอบ(ข้อเสนอแนะ)		✓		✓		2

ตารางที่ ก.8 ตารางสรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุด้วย Why - why Analysis

การวิเคราะห์ปัญหาและการเลือกปัญหา				
ปัญหา	ความถี่การเกิด	ความรุนแรงการเกิด	ความสำคัญการแก้ไขปัญหา	รวมคะแนน
ขาดการTrainingก่อนทำงาน	2	4	3	24
ทำเชื่อมต่อที่ใช้	5	4	3	60
ไม่มีข้อกำหนดที่แน่ชัด	5	4	4	80
ไม่มีข้อกำหนดการใช้ชนิดลวดเชื่อม	5	3	4	60
ไม่มีขนาดแนวเชื่อมในแบบงาน	4	3	4	48
ไม่กำหนดขั้นตอนการเชื่อมที่ชัดเจน	5	4	5	100
การตรวจสอบคุณภาพไม่ชัดเจน	5	4	5	100
ขาดมาตรฐานการเชื่อมที่เป็นระบบชัดเจน	5	5	5	125
	5 = เกิดขึ้นทุกวัน 4 = เกิดขึ้นบ่อยๆทุก2-3วัน 3 = เกิดทุกสัปดาห์ 2 = เกิดทุกเดือน 1 = ไม่บ่อยครั้ง	5 = กระทบกับความเชื่อมั่นลูกค้า 4 = มีผลกระทบต่อคุณภาพงาน 3 = มีผลกระทบต่อต้นทุน 2 = มีผลกระทบบ้างกับการส่งมอบ 1 = มีผลกับความสวยงาม	5 = สำคัญมากที่สุด 4 = สำคัญมาก 3 = สำคัญพอสมควร 2 = แก่ภายหลังได้ 1 = ไม่สำคัญมาก	

ตารางที่ ก.9 ตารางการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา





สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

แบบทดสอบ

1. สัญลักษณ์  ของงานเชื่อม หมายถึงการเชื่อมแบบใด

- ก.การเชื่อมต่อนอนไม่บากหน้างาน
- ข.การเชื่อมต่อนอนบากร่องวี
- ค.การเชื่อมต่อนอนบากร่องด้านเดียว
- ง.เชื่อมต่อนอนตัวที

2. สัญลักษณ์  ของงานเชื่อม หมายถึงการเชื่อมแบบใด

- ก.การเชื่อมต่อนอนไม่บากหน้างาน
- ข.การเชื่อมต่อนอนบากร่องตัวเจ
- ค.การเชื่อมต่อนอนบากร่องตัวยู
- ง.เชื่อมต่อนอนตัวที

3. สัญลักษณ์  ของงานเชื่อม หมายถึงการเชื่อมแบบใด

- ก.การเชื่อมต่อนอนไม่บากหน้างาน
- ข.การเชื่อมต่อนอนบากร่องตัวเจทั้งสองด้าน
- ค.การเชื่อมต่อนอนบากร่องวีทั้งสองด้าน
- ง.เชื่อมต่อนอนตัวที

4. จากสัญลักษณ์  ของงานเชื่อม หมายเลข2เป็นการกำหนดของอะไร

- ก.วิธีการแต่งผิวแนวเชื่อม
- ข.ระยะห่างขอบชิ้นงานงานเชื่อม
- ค.มุมเอียงในการบากหน้างาน
- ง.ขนาดความลึกของรอยเชื่อม

5.จากรูปงานเชื่อม สัญลักษณ์การเชื่อมควรเป็นสัญลักษณ์ใด



- ก.
- ข.
- ค.
- ง.

6.ลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ตามมาตรฐานAWS E6013 ตัวอักษร E มีความหมายว่า

- ก.ลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมไฟฟ้า
- ข.ค่าต้านแรงดึงต่ำสุด
- ค.ลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมแก๊ส
- ง.คุณสมบัติต่างๆของลวดเชื่อม เช่น กระแสไฟ การกินลึก

7.ลักษณะการอาร์คที่รุนแรงควรเลือกใช้ลวดเชื่อมรหัสใด

- ก. EXX10
- ข. EXX20
- ค. EXX24
- ง. EXX27

8.ลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ตามมาตรฐานAWS E6013 หมายเลข 1 หมายถึงทำเชื่อมใด

- ก. หมายถึง ทำราบเท่านั้น
- ข.หมายถึง ทำขนานนอนและทำราบเท่านั้น
- ค.หมายถึง ทำราบ ทำตั้ง ทำขนานนอน ทำเหนือศีรษะ
- ง.หมายถึง ทำขนานนอนเท่านั้น

9.การเชื่อม TIG ได้มีการใช้ชิ้นงานเชื่อมเป็น สแตนเลส(stainless steel) ควรใช้ชนิดลวดเติมตามAWS ชนิดใด

ก. A 5.10

ข. A 5.14

ค. A 5.9

ง. A5.18

10.หากรหัสลวดเชื่อมคือ EXX3 คุณสมบัติด้านสารละลายลิกอยู่ปริมาณเท่าใด

ก.มาก

ข.น้อย

ค.ปานกลาง

ง.ไม่เกิดเลย

11. การเคาะสแลก ควรกระทำเมื่อใด

ก. เมื่อเชื่อมเสร็จควรรีบเคาะทันที

ข. ปล่อยให้เย็นตัวลงเป็นก่อนจึงเคาะ

ค. เชื่อมไปเคาะไปจนกระทั่งสิ้นสุดแนวเชื่อม

ง. ถูกทุกข้อ

12.การปฏิบัติการเชื่อมไฟฟ้าเทคนิคการเชื่อมเริ่มต้นการอาร์ค ด้วยการทำสิ่งใด

ก. การอาร์คเกิดขึ้นโดยการแตะแผ่นโลหะเบา ๆ ด้วยลวดเชื่อม

ข. ทำการยกลวดเชื่อมขึ้น (ถ้าดึงลวดเชื่อมออกไม่เร็วพอจะติดกับแผ่นโลหะ)

ค. เคลื่อนลวดเชื่อมข้ามบ่อไปที่ขอบด้านหน้าของแนวเชื่อม

ง. เคลื่อนที่กลับไปกลับมาไปตามแนวเส้นแนวเชื่อม

13.การเชื่อมแนวตั้งทำเหนือศีรษะ เมื่อปรับกระแสให้พอเหมาะ (D.C ที่ 120 -170 แอมแปร์หรือ A.C. ที่ 130 – 190 แอมแปร์) แล้วควรเอียงลวดเชื่อมทำมุมกึ่งฉากกับแผ่นโลหะเมื่อมองจากด้านข้าง

ก.90°

ข.45°

ค.50°

ง.15°

14. เทคนิคการเชื่อมการเชื่อมต่อเกยแนวตั้งเคลื่อนที่ลง จะไม่ทำการสิ่งใด
- ก. ปรับกระแสให้สูง
 - ข. เอียงลวดเชื่อม 30 องศาตามทิศทางการเคลื่อนที่
 - ค. ระยะอาร์คควรสั้นและเคลื่อนที่ลวดเชื่อมค่อนข้างสม่ำเสมอ
 - ง. สายลวดเชื่อม / เคลื่อนที่ไม่เป็นวงกลม
15. แนวเชื่อมที่ต้องการความกว้างของแนวสม่ำเสมอตลอดต้องควบคุมจุดใด
- ก. รักษาความเร็วในการเดินและเติมลวดให้สม่ำเสมอ
 - ข. ควบคุมระยะอาร์คให้เที่ยงตรงตลอดการเชื่อม
 - ค. ควบคุมบ่อหลอมละลายให้คงที่
 - ง. ควบคุมงานและมุมเดินให้ถูกต้อง
16. เครื่องเชื่อมกระแสตรง (DC) แบบ DCEN และแบบ DCEP แบบใดสามารถหลอมละลายลึกได้มากกว่า
- ก. DCEN (Direct Current Electrode Negative) หลอมละลายลึกได้ดีกว่า
 - ข. DCEP (Direct Current Electrode Positive) หลอมละลายลึกได้ดีกว่า
 - ค. หลอมละลายลึกได้ทั้งสองแบบค. ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้เชื่อมในการเดินเร็วหรือช้า
 - ง. ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องเชื่อม
17. เครื่องเชื่อมกระแสตรง (DC) แบบ DCEN และแบบ DCEP แบบใดเชื่อมได้เร็วกว่า
- ก. แบบ DCEN เนื่องจากความร้อนที่ขึ้นงานมากกว่า
 - ข. แบบ DCEP เนื่องจากความร้อนลวดเชื่อมมีมากกว่าหลอมละลายเร็วสามารถเดินได้เร็ว
 - ค. ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้เชื่อมในการเดินเร็วหรือช้า
 - ง. ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องเชื่อม
18. เครื่องเรียงกระแส (Rectifier) ทำหน้าที่อะไร
- ก. แปลงกระแสไฟตรงให้เป็นกระแสสลับ
 - ข. เพิ่มกระแสไฟให้สูงขึ้น
 - ค. แปลงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง
 - ง. แปลงขั้วบวกให้เป็นขั้วลบ

19.การปรับตั้งกระแสไฟใช้ในการเชื่อมสัมพันธ์กับอะไรบ้าง

ก.จำนวนชิ้นงาน

ข.ขนาดของลวดเชื่อม

ค.ความหนาของชิ้นงาน

ง.ถูกทั้งข้อ ข.และ ค.

20.จากรูปเป็นการปรับตั้งกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมแบบใด



ก.ปรับตั้งกระแสต่ำเกินไป

ข.ปรับตั้งกระแสสูงเกินไป

ค.ปรับตั้งกระแสและความเร็วในการเคลื่อนที่ลวดเชื่อม ถูกต้อง

ง.ไม่มีข้อใดถูกต้อง

21.หากใช้ปรับตั้งกระแสไฟเชื่อมต่ำ จะต้องเคลื่อนที่ลวดเชื่อมแบบใด

ก.ช้าลง

ข.เร็วขึ้น

ค.อยู่กับที่

ง.ไม่มีข้อใดถูกต้อง

22.ในการเตรียมชิ้นงานเชื่อม ช่วงการทำความสะอาดชิ้นงาน อาจจะทำด้วยการขัดหรือเจียรนัยได้โดยการใช้แปรง ลวด กระดาษทราย หรือหินเจียรนัยโลหะ ในอลูมิเนียมควรหลีกเลี่ยงการใช้สิ่งใด ที่จะทำให้เกิดเม็ดทรายฝังในตัว เนื้ออลูมิเนียมได้

- ก.หินเจียรนัยโลหะ
- ข.กระดาษทราย
- ค.แปรงลวด
- ง.ถูกทั้งข้อ ก. และ ข.

23.การอุ่นชิ้นงาน (Preheat) โลหะชนิดใดควรอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 100-150 องศา

- ก.ทองแดง
- ข.ฟอส-บรอนซ์
- ค.ทองเหลือง
- ง.อลูมิเนียม

24.ขั้นการเตรียมชิ้นงาน การจัดคาบไซมันต่างๆ น้ำมันจาระบีความชื้น และฝุ่นละอองสามารถขจัดได้ด้วยอะไร

- ก.ล้างด้วยน้ำต่าง
- ข.ล้างด้วยไฮโดรเจนคาร์บอน
- ค.อะซิโตน แอลกอฮอล์
- ง.ถูกทุกข้อ

25.ในกรรมวิธีการผลิตท่อเหล็กกล้า มีประเภทใดบ้าง

- ก.ท่อเชื่อมตะเข็บ
- ข.ท่อไร้ตะเข็บ
- ค.ถูกทั้งข้อ ก และ ข.
- ง.ไม่มีข้อใดถูก

26.มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงในการผลิต JIS เป็นมาตรฐานของประเทศใด

- ก.มาตรฐานประเทศอเมริกา
- ข.มาตรฐานประเทศออสเตรเลีย
- ค.มาตรฐานประเทศญี่ปุ่น
- ง.มาตรฐานประเทศเยอรมัน

27.เกรดของเหล็ก JIS G3101 SS400 เหล็กที่ใช้ ดังที่ระบุมีค่าความต้านแรงดึง (Tensile Strength)

อยู่ในช่วงใด

ก.3000-3100 MPa

ข. 100-400 MPa

ค.310-400 MPa

ง.400-550 MPa

28.ข้อใดคือมาตรฐานเหล็กแผ่นรีดร้อนสำหรับใช้ในงานโครงสร้าง เหล็กโครงสร้างทั่วไปและเหล็กโครงสร้างเชื่อม ใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก สะพาน เรือ และรถยนต์

ก.JIS G3101

ข.TIS 2060

ค.JIS G3125

ง.TIS 1501

29.เหล็กเกรดใดที่มีค่าความต้านแรงดึง (Tensile Strength) ระดับมากกว่า 400 MPa ซึ่งคุณสมบัติใกล้เคียงกับ JIS G 3101

ก.ASTM A36

ข.TIS 1479

ค.DIN 17100

ง.ถูกทุกข้อ

30.ความเร็วการเคลื่อนที่ลวดเชื่อมจะส่งผลเสียอย่างไร

ก.แนวเชื่อมจะมีขนาดกว้างเกินความจำเป็น

ข.แนวเชื่อมจะมีขนาดเล็ก

ค.สิ้นเปลืองลวดเชื่อม

ง.ถูกทั้ง ก.และค.

31. ความเร็วในการเคลื่อนที่ลวดเชื่อมจะสัมพันธ์กับอะไรบ้าง

- ก. เครื่องเชื่อม
- ข. กระแสไฟ
- ค. ความหนาชิ้นงาน
- ง. ถูกทั้ง ข. และ ค.

32. การเกิดรูพรุน **ไม่อนุญาต** ให้มีในเกณฑ์การตรวจสอบ

- ก. รอยเชื่อมต่อชนบากร่องหลอมลิกสมบูรณ์ที่รับหน่วยแรงดึง
- ข. รอยเชื่อมต่อบากร่องแบบอื่น (นอกจากเหนือ.)
- ค. รอยเชื่อมมุม (Fillet)
- ง. ไม่มีข้อใดถูก

33. ข้อใดคือเกณฑ์การยอมรับการตรวจสอบของการเกิดสะเก็ดเชื่อม (Slag)

- ก. มีได้ไม่เกินร้อยละ 5 ของความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด
- ข. มีได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด
- ค. มีได้ไม่เกินร้อยละ 2 ของความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด
- ง. ไม่อนุญาตให้มี

34. ความชื้นทำให้เกิดจุดบกพร่องในงานเชื่อมคือ

- ก. เกิดแก๊สใน (Slag Inclusion)
- ข. เกิดรูพรุนหรือโพรงอากาศในแนวเชื่อม
- ค. เกิดเนื้อเกยบนชิ้นงานโดยไม่หลอมละลายรวมกัน (Overlap)
- ง. เกิดรอยเว้าแหว่งที่ขอบของแนวเชื่อม (Undercut)

35. เกณฑ์การพิจารณาการยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม จากรูปร่างของรอยเชื่อมที่ยอมรับไม่ได้คือรอยเชื่อมแบบใด



ก. รอยเชื่อมมีความนูนเกินไป (Excessive Convexity)

ข. รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด (Undersize Weld)

ค. รอยเกย (Overlap)

ง. หลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)

36. เกณฑ์การพิจารณาการยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม จากรูปร่างของรอยเชื่อมที่ยอมรับไม่ได้คือรอยเชื่อมแบบใด



ก. รอยเชื่อมมีความนูนเกินไป (Excessive Convexity)

ข. รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด (Undersize Weld)

ค. รอยเกย (Overlap)

ง. หลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)

37. ลักษณะรอยเชื่อมแบบต่อชนบากร่องที่ยอมรับไม่ได้ดังรูปเป็นลักษณะใด



ก. โลหะเชื่อมส่วนเกินมากเกินไป (Excessive Weld Reinforcement)

ข. รอยเชื่อมไม่เต็ม (Underfill)

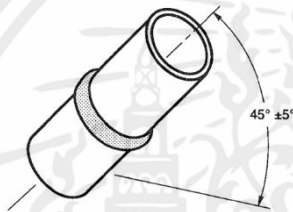
ค. รอยกัดแหว่งมากเกินไป (Excessive Undercut)

ง. รอยเกย (Overlap)

38.รอยบกพร่องโลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement) โลหะเชื่อมส่วนเกินทั้งกรณีโลหะงานหนาเท่ากันและโลหะงานความหนาต่างกัน เกณฑ์การยอมรับจะอยู่ที่เท่าไร

- ก. ความสูงของโลหะเชื่อมมีส่วนไม่เกิน 3 มม.
- ข. ความสูงของโลหะเชื่อมมีส่วนไม่เกิน 10 มม.
- ค. ความสูงของโลหะเชื่อมมีส่วนไม่เกิน 1.5 มม.
- ง. ความสูงของโลหะเชื่อมมีส่วนไม่เกิน 20 มม.

39. แกนท่อเอียงในตำแหน่ง 45° ท่อยึดกับที่เชื่อมขึ้น ดังรูป ควรใช้ทำใด



- ก. ทำเชื่อมพิเศษหรือทำเหนือศีรษะ 6 G
- ข. ทำตั้ง 5 G
- ค. ทำระดับ 2 G
- ง. ทำราบ 1 G

40. ทำราบ (Flat) ใช้สำหรับท่ออยู่ในแนวแกนใด

- ก. แกนท่ออยู่ในแนวนอน หมุนท่อเชื่อม
- ข. แกนท่ออยู่แนวตั้ง ทำยึดกับที่เชื่อม
- ค. แกนท่ออยู่ในแนวนอน ทำยึดกับที่เชื่อม
- ง. แกนเอียงในตำแหน่ง 45° ทำยึดกับที่เชื่อมขึ้น

41. แกนท่ออยู่แนวตั้ง ทำยึดกับที่เชื่อม ในตำแหน่งทำระดับ ดังรูป ควรใช้ทำใด



ก. ทำเชื่อมพิเศษหรือทำเหนือศีรษะ 6 G

ข. ทำตั้ง 5 G

ค. ทำระดับ 2 G

ง. ทำราบ 1 G

42. แกนท่ออยู่แนวนอน ท่อยึดกับที่เชื่อม ในตำแหน่งทำตั้งเชื่อมขึ้น (6 ถึง 12 นาฬิกา) ดังรูป ควรใช้ท่าใด



ก. ทำเชื่อมพิเศษหรือทำเหนือศีรษะ 6 G

ข. ทำตั้ง 5 G

ค. ทำระดับ 2 G

ง. ทำราบ 1 G

43. ท่าเชื่อมที่ควบคุมบ่อหลอมเหลวง่ายที่สุดคือท่าใด

ก. ทำราบ

ข. ทำตั้ง

ค. ทำระดับ

ง. ทำเหนือศีรษะ

44. ในการเชื่อมทำตั้งขณะที่สายลวดเชื่อมนั้นควรหยุดที่ขอบแนวเชื่อมทั้งซ้ายและขวาชั่วขณะหนึ่งเพื่ออะไร

ก. เพื่อเป็นการกระจายความร้อนไม่ให้ร้อนจุดใดจุดสูงมากเกินไป

ข. เพื่อให้แนวเชื่อมส่วนอื่นเย็นตัวขณะที่หยุดอยู่ที่บริเวณขอบแนวเชื่อมด้านขวาชั่วขณะหนึ่ง

ค. เพื่อป้องกันการไหลย้อนของโลหะมากเกินไป

ง. ถูกทุกข้อ

45. การเตรียมชิ้นงานต่อตัวที่ด้านที่จะเชื่อมอย่างไร

ก. ทำมุม 88°

ข. ทำมุม 90°

ค. ทำมุม 92°

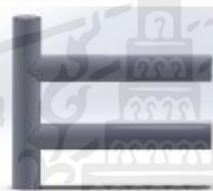
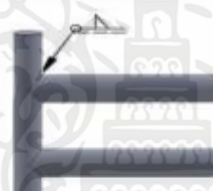
ง. ทำมุม 99°



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

การทดสอบปฏิบัติงานเชื่อม

จัดเตรียมโดย : A.I.T. Technology Company		Name :	
Process	SMAW	Process Type	Manual
กระบวนการ	กระแสไฟฟ้า	ประเภทของกระบวนการ	การปฏิบัติ
Position	ตอชน แบบปากเขาเร่อง	Test Piece	ท่อต่อท่อ
ท่าทาง		ชิ้นทดสอบ	
Base Metals	เหล็ก (Steel : SS400)		
วัสดุ			
Size	ท่อ 6 นิ้ว	Current Polarity	ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)
ขนาดชิ้นงาน		ระบบไฟฟ้า	
Filler Metals	ขี้หื้อลวด : YAMATA มาตรฐาน AWS E6013		
ลวดเชื่อม			
Sketch :			
 			
ท่อต่อท่อ			
Welding Procedure			
Current Amp	70 - 130 Amp	Thickness mm. (In)	3 mm.
กระแสไฟ	Actual : ____ Amp	ความหนา	
		Filler Diameter	3.2 mm
		ขนาดลวด	
เครื่องมือและอุปกรณ์	ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เทคนิควิธี	
1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า AC หรือ DC	1. ตัดชิ้นงานท่อให้ได้ตามกำหนดขนาด	1. การเชื่อมยึดตอสำหรับการขยายตัวของโลหะ โดยให้ทางสิ้นสุดกว้างกว่าด้านเริ่มต้น	
2. ค้อนเคาะสแลก	ยาว 60 มม.	2. เพื่อให้เกิดการซึมลึก ขณะเชื่อมควรสร้างบ่อหลอมละลายให้เป็นแอ่งก่อน	
3. คีมจับงานร้อน	2. เจียรเข้ามุมแบบตอชน	3. ขณะเชื่อม ลวดเชื่อมจะดิ่งเอียงไปข้างหน้า 10-20 องศาตามทิศทางที่ลวดเชื่อมเคลื่อนที่ไป โดยเชื่อมรอบท่อจะต้องมีแนวเชื่อมที่เต็ม ความโตแนวเชื่อมอยู่ที่ 100% ของความหนาท่อ	
4. หน้ากากเชื่อมไฟฟ้า	3. ตรวจสอบเครื่องเชื่อม อุปกรณ์เซฟตี้		
5. แปรงลวดทำความสะอาดแนวเชื่อม	4. เชื่อม แท็ก ชิ้นงานเพื่อตรวจสอบระยะ		
6. ถุงมือหนัง	5. เชื่อมจนเสร็จ		
7. เสื้อหนัง	6. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยแปรงลวด		
	7. ตรวจสอบเบื้องต้น		
	8. แก๊ส		
	9. ส่งชิ้นงาน		

รูปที่ ข.1 แบบทดสอบปฏิบัติงานเชื่อมท่า T-Joint



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

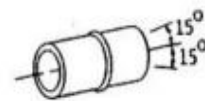
การทดสอบปฏิบัติงานเชื่อม

จัดเตรียมโดย : A.I.T. Technology Company		Name :	
Process	SMAW	Process Type	Manual
กระบวนการ	กระแสไฟฟ้า	ประเภทของกระบวนการ	การปฏิบัติ
Position	ตอชน เชื่อมรอบ	Test Piece	ท่อต่อท่อ
ท่าทาง		ชิ้นทดสอบ	
Base Metals	เหล็ก (Steel : SS400)		
วัสดุ			
Size	ท่อ 6 นิ้ว และ ข้อต่อเชื่อม	Current Polarity	ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)
ขนาดชิ้นงาน		ระบบไฟฟ้า	
Filler Metals	ยี่ห้อลวด : YAMATA มาตรฐาน AWS E6013		
ลวดเชื่อม			

Sketch :



Welding Procedure					
Current Amp	70 - 130 Amp	Thickness mm. (In)	3 mm.	Filler Diameter	3.2 mm.
กระแสไฟ	Actual : ____ Amp	ความหนา		ขนาดลวด	
เครื่องมือและอุปกรณ์	ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน		เทคนิควิธี		
1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า AC หรือ DC 2. ค้อนเคาะสแลก 3. คีมจับงานร้อน 4. หน้ากากเชื่อมไฟฟ้า 5. แปรงลวดทำความสะอาดแนวเชื่อม 6. ถุงมือหนัง 7. เสื้อหนัง	1. ตัดชิ้นงานท่อให้ได้ตามกำหนดขนาดยาว 60 ม.ม. และเตรียมข้อต่อเชื่อม 2. เจียร์เข้ามุมแบบค้อนชน 3. ตรวจสอบเครื่องเชื่อม อุปกรณ์เซฟตี้ 4. เชื่อม แท็ก ชิ้นงานเพื่อตรวจสอบระยะ 5. เชื่อมจนเสร็จ 6. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยแปรงลวด 7. ตรวจสอบเบื้องต้น 8. แก๊ส 9. ส่งชิ้นงาน		1. การเชื่อมข้อต่อต้องเพื่อการขยายตัวของโลหะ โดยให้ทางสิ้นสุดกว้างกว่าด้านเริ่มต้น 2. เพื่อให้เกิดการซึมลึก ขณะเชื่อมควรสร้างบ่อหลอมละลายให้เป็นแอ่งก่อน 3. ขณะเชื่อม ลวดเชื่อมจะต้องเอียงไปข้างหน้า 10-20 องศาตามทิศทางที่ลวดเชื่อมเคลื่อนที่ไป 4. ท่อและรอยเชื่อมแบบหมุนควรจะ $\pm 15^\circ$		



รูปที่ ข.2 แบบทดสอบปฏิบัติงานเชื่อมท่า ท่อต่อท่อ



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

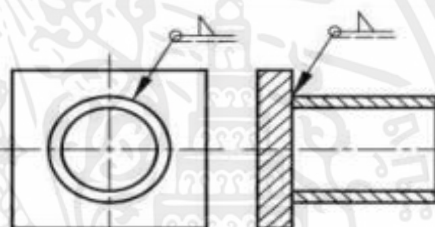
การทดสอบปฏิบัติงานเชื่อม

ชื่อเตรียมโดย : A.I.Tecnology Company		Name :	
Process	SMAW	Process Type	Manual
กระบวนการ	กระแสไฟฟ้า	ประเภทของกระบวนการ	การปฏิบัติ
Position	เชื่อมรอบแนวตั้ง	Test Piece	เชื่อมหน้าแปลน
ท่าทาง		ชิ้นทดสอบ	
Base Metals	เหล็ก (Steel : SS400)		
วัสดุ			
Size	แผ่นเหล็ก 50x50x9 mm	Current Polarity	ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)
ขนาดชิ้นงาน	ท่อ SS400 ขนาด 6 นิ้ว ทน 1.3 mm	ระบบไฟฟ้า	
Filler Metals	ยี่ห้อลวด : YAMATA มาตรฐาน AWS E6013		
ลวดเชื่อม			

Sketch :



เชื่อมหน้าแปลน



Welding Procedure

Current Amp	70 - 130 Amp	Thickness mm. (In)	3 mm.	Filler Diameter	3.2 mm.
กระแสไฟ	Actual : ____ Amp	ความหนา		ขนาดลวด	
เครื่องมือและอุปกรณ์	ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน		เทคนิควิธี		
1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า AC หรือ DC	1. จัดชิ้นงานท่อน้ำให้ได้ตามกำหนดขนาด		1. การเชื่อมยึดต้องเพื่อการขยายตัวของโลหะ โดยให้ทางสิ้นสุดกว้างกว่าด้านเริ่มต้น		
2. ค้อนเคาะสแลก	2. เจียรลบคมชิ้นงาน ทั้งหมด		2. เพื่อให้เกิดการซึมลึก ขณะเชื่อมควรสร้างบ่อหลอมละลายให้เป็นแอ่งก่อน		
3. คีมจับงานร้อน	3. ตรวจสอบเครื่องเชื่อม อุปกรณ์เซฟตี้		3. ขณะเชื่อม ลวดเชื่อมจะต้องเอียงไปข้างหน้า 10-20 องศาตามทิศทางที่ลวดเชื่อมเคลื่อนที่ไป โดยเชื่อมรอบท่อจะต้องมีแนวเชื่อมที่เต็ม ความโตแนวเชื่อมอยู่ที่ 100% ของความหนาท่อ		
4. หน้ากากเชื่อมไฟฟ้า	4. เชื่อม แท่ง ชิ้นงานเพื่อตรวจสอบระยะ				
5. แปรงลวดทำความสะอาดแนวเชื่อม	5. เชื่อมจนเสร็จ				
6. ถุงมือหนัง	6. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยแปรงลวด				
7. เสื้อหนัง	7. ตรวจสอบเบื้องต้น				
	8. แก๊ส				
	9. ส่งชิ้นงาน				

รูปที่ ข.3 แบบทดสอบปฏิบัติงานเชื่อมทำ ท่อต่อแปลน

แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน					
		สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง			
		คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ			
รอบการประเมิน ☐ การทดสอบก่อนการปรับปรุง ☐ การทดสอบหลังการปรับปรุง					
Process		Test Piece			
กระบวนการ		ชิ้นทดสอบ			
ข้อมูลส่วนตัว					
ผู้รับการประเมิน					
ชื่อ-นามสกุล :		ตำแหน่ง :			
แผนก :		วันที่ปฏิบัติงาน / /			
ผู้ประเมิน					
ชื่อ-นามสกุล :		ตำแหน่ง :			
รายการตรวจ	คำอธิบาย	ผลการประเมิน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	รวม
1. การเกิดรอยแตก (Crack)	รอยแตกทุกชนิด	ไม่อนุญาตให้มี			
2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)		ไม่อนุญาตให้มี			
3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Under size)	รอยเชื่อมมุม (Fillet Weld) แบ่งตามขนาดรอยเชื่อมระบุ (Specified Nominal Size: L)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)			
		ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)			
		ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)			
4.การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ลักษณะขาดการหลอมละลายระหว่างเนื้อเชื่อมและชิ้นงานหรือเนื้อเชื่อมกับเนื้อเชื่อม ส่วนใหญ่จะเกิดตามซาง และระหว่างชิ้นแนวเชื่อม	ไม่อนุญาตให้มี			
5.การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	รอยเชื่อมรับภาระพลัดที่บิด รอยต่อข้อ และกรณีรอยเชื่อมข้อ	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดแนวไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)			
		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดแนวไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)			
6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	ก. รอยเชื่อมต่อนานาบริเวณแบนราบ (นอกเหนือจาก ก.)	จำนวนรูพรุนต่อตารางนิ้วไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต่อไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)			
	ข. รอยเชื่อมมุม (Fillet)	รอยเชื่อมมุมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต่อตารางนิ้วไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม.			
7.ขนาดตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ทุกขนาดตัดของจุดหยุดเชื่อมจะต้องเต็มแนวเชื่อมไม่เต็มตามขนาดของรอยเชื่อมที่ระบุบริเวณรอยเชื่อมมุมแบบเป็นระยะที่เชื่อมด้วยความยาวสลับ (Intermittent Fillet Weld)	ตามคำอธิบายรายละเอียด			
8.รอยนูน (Convexity)	สำหรับรอยเชื่อมมุม (Fillet Weld) แบ่งตามความกว้างของซารอยเชื่อม (Width of Weld Face: W)	ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระยะเวลาไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)			
		ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระยะเวลาไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)			
		ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : ระยะเวลาไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)			
9.ไม่มีการเกยออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap)	สำหรับรอยเชื่อมมุมและรอยเชื่อมขนานแบบราบเรียบ	ไม่อนุญาตให้มี			
รวม					
สรุป คะแนนรวมที่ได้ คะแนน					
ข้อเสนอแนะ					
ลงชื่อ ผู้ประเมิน (..... วันที่ / /					

รูปที่ ข.4 แบบประเมินผลการปฏิบัติการทดสอบ



	วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 1 T-Joint (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)								
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พชรพล		นายสิทธิชัย		นายจุลวิชัย		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันติ	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันติ	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ				0	1			0	0
สังคม				0	0			0	0
วรรณชัย				0	1		1		1
สันติ	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Undersize)	ก. L ≤ 5 มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันติ		ข. L = 6 มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันติ		ค. L ≥ 8 มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1

ตารางที่ ค.1 วิเคราะห์ประเมินท่าที่ 1 T-Joint ก่อนการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)

วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 1 T-Joint (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)(ต่อ)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พชรพล		นายสิทธิชัย		นายจุลวิทย์		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันทัด	4.การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร				0	1		1		1
พิเชฐ				0	1			0	0
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย			1		1		1		1
สันทัด	5.การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดแห้งไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)		0	1		1		1
ทศพร				0	1		1		1
กิตติพร			1		1			0	1
พิเชฐ				0	1		1		1
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย			1		1			0	1
สันทัด		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดแห้งไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด	6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต้องไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)		0	1			0	0
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร				0		0		0	0
พิเชฐ				0	1			0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย			1		1		1		1
		รอยเชื่อมมุมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม.							

ตารางที่ ค.1 วิเคราะห์ประเมินท่าที่ 1 T-Joint ก่อนการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 1 T-Joint (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)(ต่อ)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พชรพล		นายสิทธิชัย		นายจุลวิชญ์		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันทัด	7.หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ตามค่าอธิบายรายละเอียด	1			0		0	0
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1			0		0	0
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันทัด	8.รอยบุบ (Convexity)	ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระยะบุบไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด		ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระยะบุบไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)		0		0		0	0
ทศพร				0	1		1		1
กิตติพร				0	1		1		1
พิเชฐ				0		0		0	0
สังคม				0	1		1		1
วรรณชัย				0		0		0	0
สันทัด		ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : ระยะบุบไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด	9.ไม่มีการเกยออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1			0	1
ทศพร				0	1		1		1
กิตติพร				0	1		1		1
พิเชฐ				0	1			0	0
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย				0	1		1		1

ตารางที่ ค.1 วิเคราะห์ประเมินท่าที่ 1 T-Joint ก่อนการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint (โรงงาน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	คุณสมบัติ		คุณภาพ		คุณธรรม		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันติ	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิชญ์				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0	1			0	0
สันติ	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี		0		0		0	0
ทศพร				0		0		0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิชญ์				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0	1			0	0
สันติ	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาด รอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิชญ์									
สังคม									
วรรณชัย									
สันติ		ข. $L \leq 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาด รอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิชญ์									
สังคม									
วรรณชัย									
สันติ		ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาด รอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิชญ์			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1

ตารางที่ ค.2 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint ก่อนการปรับปรุง (โรงงาน)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint (โรงงาน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	คุณสมบัติ		คุณวุฒิ		คุณธรรม		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันทัด	4.การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี		0		0		0	0
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร				0		0		0	0
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0	1			0	0
สันทัด	การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)		0	1			0	0
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0		0		0	0
สันทัด		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด		6.การเกิดรูพรุน (Porosity)		0		0		0	0
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร				0				0	0
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0	1			0	0
		รอยเชื่อมมุมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม.							

ตารางที่ ค.2 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint ก่อนการปรับปรุง (โรงงาน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint (โรงงาน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	คุณสมบัติ		ความดัน		คุณภาพ		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันหัด	7.หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ตามคำอธิบายรายละเอียด		0		0		0	0
ทศพร				0		0		0	0
กิตติพร				0		0		0	0
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0	1			0	0
สันหัด	8.รอยนูน (Convexity)	ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระยะเวลาไม่เกิน 2 มม. ($1/16$ นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันหัด		ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระยะเวลาไม่เกิน 3 มม. ($1/8$ นิ้ว)		0		0		0	0
ทศพร				0		0		0	0
กิตติพร				0		0		0	0
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0		0		0	0
สันหัด	9.ไม่มีการแยกออกจากแนวเชื่อม (Overlap)	ไม่อนุญาตให้มี							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันหัด	9.ไม่มีการแยกออกจากแนวเชื่อม (Overlap)	ไม่อนุญาตให้มี		0		0		0	0
ทศพร				0		0		0	0
กิตติพร				0		0		0	0
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0		0		0	0

ตารางที่ ค.2 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint ก่อนการปรับปรุง (โรงงาน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 2 ท่อต่อท่อ (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พชรพล		นายสิทธิชัย		นายจุลวิทย์		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันทิด	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันทิด	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร			1			0		0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0		0		0	0
สันทิด	3. ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทิด		ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทิด		ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)	1		1		1		1
ทศพร				0	1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันทิด	4. การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1			0	1
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร				0	1		1		1
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย				0	1			0	0

ตารางที่ ค.3 วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 2 ท่อต่อท่อ ก่อนการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)

วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 2 ท่อต่อท่อ (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)(ต่อ)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พชรพล		นายสิทธิชัย		นายจุลวิษฐ์		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันทัด	5.การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดแหลมไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)		0	1		1		1
ทศพร				0		0		0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชษฐ				0	1			0	0
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย			0	1			0	0	
สันทัด		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดแหลมไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย	6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต้องไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)		0	1			0	0
สันทัด				0		0		0	0
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1			0	1
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม			0		0		0	0	
วรรณชัย		รอยเชื่อมมมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม100 มม.							
สันทัด	7.หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ตามคำอธิบายรายละเอียด		0	1			0	0
ทศพร			1		1			0	1
กิตติพร				0		0	1		0
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม			1			0		0	0
วรรณชัย				0		0		0	0
สันทัด	8.รอยนูน (Convexity)	ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระบุบนไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด		ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระบุบนไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)		0	1		1		1
ทศพร				0	1		1		1
กิตติพร				0	1		1		1
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0	1		1		1
วรรณชัย			0	1		1		1	
สันทัด		ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : ระบุบนไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย	9.ไม่มีการเกยออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1		1		1
สันทัด				0	1			0	0
ทศพร				0	1		1		1
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชษฐ				0	1			0	0
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย		0	1			0	0		

ตารางที่ ค.3 วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 2 ท่อต่อท่อ ก่อนการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 2 ท่อต่อท่อ (โรงงาน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	จุดยอดขึ้น		จุดเวติน		จุดเยกร		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันทัด	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร				0		0		0	0
กิตติพร				0		0		0	0
พีเชรุ				0		0		0	0
สังคม						0		0	0
วรรณชัย				0		0		0	0
สันทัด	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1			0		0	0
พีเชรุ			1		1			0	1
สังคม					1			0	0
วรรณชัย				0		0		0	0
สันทัด	3. ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พีเชรุ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด		ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พีเชรุ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด		ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)		0	1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร				0	1		1		1
พีเชรุ				0	1		1		1
สังคม			1			0	1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันทัด	4. การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี		0		0		0	0
ทศพร				0		0	1		0
กิตติพร				0		0		0	0
พีเชรุ						0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0		0		0	0

ตารางที่ ค.4 วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 2 ท่อต่อท่อ ก่อนการปรับปรุง (โรงงาน)

			วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 2 ท่อต่อท่อ (โรงงาน)							
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	จุดยอดขยับ		จุดเวกติน		จุดเยื้องกร		ผลประเมิน	
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน		
สันติ	5.การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)	1			0		0	0	
ทศพร				0		0		0	0	
กิตติพร				0		0		0	0	
พิเชษฐ				0		0		0	0	
สังคม				0		0		0	0	
วรรณชัย			0		0		0	0		
สันติ		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)								
ทศพร										
กิตติพร										
พิเชษฐ										
สังคม										
วรรณชัย	6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางรูพรุนต้องไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)		0		0		0	0	
ทศพร				0		0		0	0	
กิตติพร				0		0		0	0	
พิเชษฐ				0		0		0	0	
สังคม				0		0		0	0	
วรรณชัย			0		0		0	0		
		รอยเชื่อมมุมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต้องไม่ เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม100 มม.								
สันติ										
ทศพร										
กิตติพร										
พิเชษฐ										
วรรณชัย	7.หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ตามคำอธิบายรายละเอียด		0		0		0	0	
ทศพร				0		0		0	0	
กิตติพร				0		0		0	0	
พิเชษฐ				0		0		0	0	
สังคม				0		0		0	0	
วรรณชัย			0		0		0	0		
สันติ		8.รอยบุ๋ม (Convexity)	ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระบุบนไม่ เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร										
กิตติพร										
พิเชษฐ										
สังคม										
วรรณชัย	ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระบุบนไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)		0		0		0	0		
ทศพร			0		0		0	0		
กิตติพร			0		0		0	0		
พิเชษฐ			0		0		0	0		
สังคม			0		0		0	0		
วรรณชัย	ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : ระบุบนไม่ เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)		0		0		0	0		
ทศพร										
กิตติพร										
พิเชษฐ										
สังคม										
วรรณชัย	9.ไม่มีการยกออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap)	ไม่อนุญาตให้มี		0		0		0	0	
ทศพร				0	1		1		1	
กิตติพร				0	1			0	0	
พิเชษฐ				0		0		0	0	
สังคม				0		0		0	0	
วรรณชัย				1		0	1		1	

ตารางที่ ค.4 วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 2 ท่อต่อท่อ ก่อนการปรับปรุง (โรงงาน) (ต่อ)

ตารางที่ ค.5 วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อแปลน ก่อนการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)

	วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อแปลน (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)								
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พชรพล		นายสิทธิชัย		นายจุลวิทย์		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันหัด	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร			1		1			0	1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ				0		0		0	0
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันหัด		ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันหัด		ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด	4.การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1			0	1
ทศพร			1		1			0	1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1

ตารางที่ ค.5 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 3 ท่อต่อแปลน ก่อนการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)(ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 3 ท่อต่อแปลน (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พรพล		นายสิทธิชัย		นายจุลวิทย์		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันหัด	5.การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดแนววงไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)		0	1			0	0
หสพร			1		1		1		1
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชฐ				0	1		1		1
สังคม				0	1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดแนววงไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)							
หสพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย	6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต้องไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
สันหัด				0	1		0		0
หสพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ				0	1		0		0
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย		1		1		1		1	
สันหัด		รอยเชื่อมมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม100 มม.		0	1		0		0
หสพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ				0	1		0		0
สังคม	1			1		1		1	
วรรณชัย	7.หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ตามคำอธิบายรายละเอียด	1			0	1		1
สันหัด			1			0	1		1
หสพร				0		0	1		1
กิตติพร				0		0	1		0
พิเชฐ			1			0	1		1
สังคม		1	0	1		1		1	
วรรณชัย		1		1		1		1	
สันหัด		ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระยะบุนไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
หสพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย	8.รอยบุน (Convexity)	ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระยะบุนไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)	1		1		1		1
สันหัด			1		1		1		1
หสพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม		1		1		1		1	
วรรณชัย		1		1		1		1	
สันหัด		ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : ระยะบุนไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)							
หสพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย	9.ไม่มีการเกยออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap)	ไม่อนุญาตให้มี		0		0	1		0
สันหัด				0		0		0	0
หสพร			1		1		1		1
กิตติพร				0	1		1		1
พิเชฐ				0	1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย									

ตารางที่ ค.6 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 3 ท่อต่อแป้น ก่อนการปรับปรุง (โรงงาน)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 3 ท่อต่อแป้น (โรงงาน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	จุดยอดข้อ		จุดควม		จุดระยะ		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันทิต	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชฐ				0		0		0	0
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย				0	1			0	0
สันทิต	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี		0		0		0	0
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0	1			0	0
สันทิต	3. ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize)	ก. $L < 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาด รอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทิต		ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาด รอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทิต	ค. $L > 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาด รอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)			0		0		0	0
ทศพร				0		0		0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชฐ				0		0		0	0
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย				0		0		0	0
สันทิต	4. การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร				0	1			0	0
กิตติพร				0	1			0	0
พิเชฐ				0	1			0	0
สังคม				0	1			0	0
วรรณชัย				0	1			0	0

ตารางที่ ค.6 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 3 ท่อต่อแผ่น ก่อนการปรับปรุง (โรงงาน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 3 ท่อต่อแผ่น (โรงงาน)								
พนักงานประเมิน	รายการตรวจ	เกณฑ์การประเมิน	คุณสมบัติ		คุณสมบัติ		คุณสมบัติ	
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
สังเกต	5.การบิดงอเหล็ก (Underset)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีการเชื่อมรับน้ำหนักแรงดึง : ความลึกของรอยกัดกร่อนไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)		0		0		0
ทดสอบ				0	1		0	0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
สังเกต		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดกร่อนไม่เกิน 1.5 มม. (1/32 นิ้ว)						
ทดสอบ								
พิจารณา								
พิจารณา								
พิจารณา								
สังเกต	6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	จำนวนรูพรุนต่อตารางนิ้ว 1 ด้านบนของทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต้องไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)						
ทดสอบ				0		0		0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา		รวมเส้นเชื่อมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต่อตารางนิ้ว 1 ด้านบนของทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม.		0		0		0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
สังเกต	7.ขนาดข้อต่อเชื่อม (Girth Joint Section)	ตามค่าเฉลี่ยของข้อต่อ		0		0		0
ทดสอบ				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
สังเกต		ก. $W < 8$ มม. ($W < 5/16$ นิ้ว) : ระบุรูไม่ผ่าน 2 มม. (1/16 นิ้ว)						
ทดสอบ				0		0		0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
พิจารณา				0		0		0
สังเกต	8.รอยเชื่อม (Concreteness)	ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระบุรูไม่ผ่าน 3 มม. (1/8 นิ้ว)						
ทดสอบ				0		0		0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา		ค. $W > 25$ มม. ($W > 1$ นิ้ว) : ระบุรูไม่ผ่าน 5 มม. (3/16 นิ้ว)						
ทดสอบ								
พิจารณา								
พิจารณา								
พิจารณา								
สังเกต	9.ไม่มีการบดออกจากรอยเชื่อม (Overlap)	ไม่พบรอยเชื่อม		0		0		0
ทดสอบ				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0
พิจารณา				0		0		0
พิจารณา				0	1		0	0

ตารางที่ ค.7 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)								
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	ผู้ประเมินจากสถาบัน					
			พชรพล		สิทธิชัย		จุลวิชัย	
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
สังคม	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1	
สันติ			1		1		1	
พิเชฐ			1		1		1	
กิตติพร			1		1		1	
วรรณชัย			1		1		1	
ทศพร	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1	
สังคม			1		1		1	
สันติ				0	1			0
พิเชฐ			1		1		1	
กิตติพร				0	1		1	
วรรณชัย	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตาม แบบ(Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อม เล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)	1		1		1	
ทศพร								
สังคม								
สันติ								
พิเชฐ								
กิตติพร		ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็ก กว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)						
วรรณชัย								
ทศพร								
สังคม								
สันติ								
พิเชฐ		ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อม เล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)	1		1		1	
กิตติพร			1		1		1	
วรรณชัย			1		1		1	
ทศพร			1		1		1	
สังคม			1		1		1	
สันติ	4.การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี					0	
พิเชฐ							0	
กิตติพร			1		1		1	
วรรณชัย			1		1		1	
ทศพร			1		1		1	

ตารางที่ ค.7 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)										
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	ผู้ประเมินจากสถาบัน						ผลการประเมิน	
			พชรพล		สิทธิชัย		จุลวิชัย			
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน		
สังคม	5.การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)	1		1		1		1	
สันติ				0	1		0		0	
พิชญ				0	1		1		1	
กิตติพร				0	1		1		1	
วรรณชัย				1		1		1		1
ทศพร				1		1		1		1
สังคม		6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)							
สันติ										
พิชญ										
กิตติพร										
วรรณชัย										
ทศพร										
สังคม	7.หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)		จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต้องไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
สันติ										
พิชญ										
กิตติพร										
วรรณชัย										
ทศพร										
สังคม		8.รอยนูน (Convexity)	รอยเชื่อมมุมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม.	1		1		1		1
สันติ				1		1		0		1
พิชญ					0	1		1		1
กิตติพร					0	1		0		0
วรรณชัย	1				1		1		1	
ทศพร	1				1		1		1	
สังคม	9.ไม่มีการแยกออกจากแนวเชื่อม (Overlap)		ทุกหน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมจะต้องเต็มแนวเชื่อมให้เต็มตามขนาดของรอยเชื่อมที่ระบุ ยกเว้นรอยเชื่อมแบบเว้นระยะที่เชื่อมได้ความยาวแล้ว (Intermittent Fillet Weld)	1		1		1		1
สันติ				1		1		1		1
พิชญ					0	1		1		1
กิตติพร				1		1		0		1
วรรณชัย		1			1		1		1	
ทศพร		1			1		1		1	
สังคม		10.การเกิดรอยร้าว (Crack)	ก. $W < 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระยะนูนไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
สันติ										
พิชญ										
กิตติพร										
วรรณชัย										
ทศพร										
สังคม	11.การเกิดรอยร้าว (Crack)		ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระยะนูนไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)	1		1		1		1
สันติ					0	1		1		1
พิชญ				1		1		1		1
กิตติพร				1		1		1		1
วรรณชัย		1			1		1		1	
ทศพร		1			1		0		1	
สังคม		12.การเกิดรอยร้าว (Crack)	ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : ระยะนูนไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)							
สันติ										
พิชญ										
กิตติพร										
วรรณชัย										
ทศพร										
สังคม	13.การเกิดรอยร้าว (Crack)		ด. ไม่มีการแยกออกจากแนวเชื่อม (Overlap)	1		1		1		1
สันติ					0	1		0		0
พิชญ					0	1		1		1
กิตติพร				1		1		0		1
วรรณชัย		1			1		1		1	
ทศพร				0	1		1		1	

ตารางที่ ค.8 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint หลังการปรับปรุง (โรงงาน)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint หลังการปรับปรุง (โรงงานการศึกษา)								
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	ผู้ประเมินจากโรงงานการศึกษา					
			รอยกร		วคิน		ยอดชัย	
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
สังคม	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1	
สันทัด			1		1		1	
พิเชฐ			1		1		1	
กิตติพร			1		1		1	0
วรรณชัย			1		1		1	
ทศพร			1		1		1	
สังคม	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1		1	
สันทัด			1		1		1	
พิเชฐ			1			0	1	
กิตติพร			1		1		1	
วรรณชัย			1		1		1	
ทศพร				0	1		1	
สังคม	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)						
สันทัด								
พิเชฐ								
กิตติพร								
วรรณชัย								
ทศพร								
สังคม		ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)	1				1	
สันทัด			1		1		1	
พิเชฐ			1		1		1	
กิตติพร			1		1		0	
วรรณชัย			1		1		1	
ทศพร			1		1		1	
สังคม		ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)						
สันทัด								
พิเชฐ								
กิตติพร								
วรรณชัย								
ทศพร								
สังคม	4.การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1		1	
สันทัด			1			0	1	
พิเชฐ			1		1		1	
กิตติพร			1		1		0	
วรรณชัย			1		1		1	
ทศพร			1		1		1	

ตารางที่ ค.8 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint หลังการปรับปรุง (โรงงาน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 1 T-Joint หลังการปรับปรุง (โรงงานการศึกษา)										
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	ผู้ประเมินจากโรงงานการศึกษา						ผลการประเมิน	
			ชอกร		วสัน		ยอชย			
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน		
สังคม	5.การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)		0	1		1		1	
สันกัฒ			1			0	1		1	
พิชช			1			0	1		1	
กิตติพร			1		1			0	1	
วรรณชัย			1		1		1		1	
ทศพร		1		1		1		1		
สังคม		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)								
สันกัฒ										
พิชช										
กิตติพร										
วรรณชัย										
ทศพร	6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต้องไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)								
สังคม				0	1		1		1	
สันกัฒ			1			0	1		1	
พิชช			1			0	1		1	
กิตติพร			1		1			0	1	
วรรณชัย		1		1		1		1		
ทศพร			0	1		1		1		
สังคม		7.หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ทุกหน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมจะต้องเต็มแนวเชื่อมให้เต็มตามขนาดของรอยเชื่อมที่ระบุ ยกเว้นรอยเชื่อมแบบแนวร่องเชื่อมได้ความยาวแล้ว (Intermittent Fillet Weld)		0	1		1		1
สันกัฒ				1			0	1		1
พิชช				1			0	1		1
กิตติพร	1				1			0	1	
วรรณชัย	1				1		1		1	
ทศพร		0	1		1		1			
สังคม	8.รอยนูน (Convexity)	ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระบุแบบไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)								
สันกัฒ										
พิชช										
กิตติพร										
วรรณชัย										
ทศพร		ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระบุแบบไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)								
สังคม										
สันกัฒ										
พิชช										
กิตติพร										
วรรณชัย	ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : ระบุแบบไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)		1		1		1		1	
ทศพร			1			0	1		1	
สังคม			1			0	1		1	
สันกัฒ			1		1			0		
พิชช				1			1			
กิตติพร	9.ไม่มีการยกออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1		1		1	
วรรณชัย				0	1		1		1	
ทศพร				1			0	1		1
สังคม				1		1		1		1
สันกัฒ					0	1		1		1

ตารางที่ ค.9 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 2 ท่อต่อท่อ หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 2 ท่อต่อท่อ หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	พหุพจน์		ลักษณะ		จุดวิจัย		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
บันทึก	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทดสอบ			1		1		1		1
ทดสอบ			1		1			0	1
ทดสอบ			1		1		1		1
สังเกต			1		1			0	1
รวมเฉลี่ย			1		1		1		1
บันทึก	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1			0	1
ทดสอบ			1		1			0	1
ทดสอบ			1		1			0	1
ทดสอบ			1		1			0	1
สังเกต				0		0		0	0
รวมเฉลี่ย				0	1		1		1
บันทึก	3. ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว) ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)							
ทดสอบ									
ทดสอบ									
ทดสอบ									
สังเกต			1		1		1		1
รวมเฉลี่ย			1		1		1		1
บันทึก	4. การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)							
ทดสอบ									
ทดสอบ									
ทดสอบ									
สังเกต				0		0		0	0
รวมเฉลี่ย			1		1		1		1
บันทึก	4. การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1			0	1
ทดสอบ			1		1		1		1
ทดสอบ			1		1			0	1
ทดสอบ			1		1		1		1
สังเกต			1		1			0	1
รวมเฉลี่ย			1		1		1		1

ตารางที่ ค.9 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 2 ท่อต่อท่อ หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 2 ท่อต่อท่อ หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)									
พนักงานประเมิน	รายการตรวจ	เกณฑ์การประเมิน	พาราล		สัทธิต		จุดตรวจ		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สังเกต	5.การบิพรอติคอบ (Undercut)	ก. กรณีบิพรอติคอบ (Primary Members) ที่บิพรอติคอบเชื่อมกับท่อนวดรีด : ความลึกของรอยบิพรอติคอบไม่ผ่าน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)		0		0		0	0
ทดสอบ			1		1		1		1
วัดขนาด			1		1			0	1
ตรวจสอบ				0	1		1		1
ตรวจสอบ				0		0		0	0
ตรวจสอบ			1		1		1		1
สังเกต		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยบิพรอติคอบไม่ผ่าน 1 มม. (1/32 นิ้ว)							
ทดสอบ									
วัดขนาด									
ตรวจสอบ									
ตรวจสอบ									
สังเกต	6.การบิพรอติคอบ (Picosity)	จำนวนจุดบิพรอติคอบไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อความยาวท่อเชื่อม 100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเชื่อมไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)		0	1			0	0
ทดสอบ			1		1		1		1
วัดขนาด				0		0		0	0
ตรวจสอบ			1		1			0	1
ตรวจสอบ				0		0		0	0
ตรวจสอบ			1		1		1		1
สังเกต		รอยเชื่อมทุกกรณี : จำนวนจุดบิพรอติคอบไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อความยาวท่อเชื่อม 100 มม.							
ทดสอบ									
วัดขนาด									
ตรวจสอบ									
ตรวจสอบ									
สังเกต	7.พินิตจุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ตามค่าขีดขั้วรอยเชื่อม		0		0		0	0
ทดสอบ			1		1		1		1
วัดขนาด			1		1			0	1
ตรวจสอบ					1		1		1
ตรวจสอบ					1			0	1
ตรวจสอบ			1		1		1		1
สังเกต		ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : รอยเชื่อมไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทดสอบ									
วัดขนาด									
ตรวจสอบ									
ตรวจสอบ									
สังเกต	8.รอยเชื่อม (Convexity)	ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : รอยเชื่อมไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)							
ทดสอบ									
วัดขนาด									
ตรวจสอบ									
ตรวจสอบ									
สังเกต		ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : รอยเชื่อมไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)							
ทดสอบ									
วัดขนาด									
ตรวจสอบ									
ตรวจสอบ									
สังเกต	9.ไม่มีการบิพรอติคอบจากแนวเชื่อม (Overlap)	ไม่พบจุดบิพรอติคอบ		0		0		0	0
ทดสอบ			1		1			0	1
วัดขนาด				0	1		1		1
ตรวจสอบ				0	1		1		1
ตรวจสอบ				0	1		1		1
ตรวจสอบ				0		0		0	0
สังเกต				0		0		0	0
ทดสอบ				0	1		1		1
วัดขนาด				0	1		1		1
ตรวจสอบ				0		0		0	0

ตารางที่ ค.10 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 2 ท่อต่อท่อ หลังการปรับปรุง (โรงงาน)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 2 ท่อต่อท่อ หลังการปรับปรุง (โรงงาน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	ธยกร		วคิน		ยอดชัย		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันหัด	การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			0		0		1		0
สังคม			1		0		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อม ระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันหัด			1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			1		0		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด	ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อม ระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)								
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันหัด	4.การหลอมละลาย ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1

ตารางที่ ค.10 วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 2 ท่อต่อท่อ หลังการปรับปรุง (โรงงาน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 2 ท่อต่อท่อ หลังการปรับปรุง (โรงงาน)								
พิกัดงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การประเมิน	ตรง		วเกิน		ยอดซ้าย	
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
เดินท่อด	5. การเชื่อมรอยต่อ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Member) ที่มีรอยเชื่อมรับ หน่วยแรงดึง : ความเค้นการเชื่อม คิดหน่วยเป็น 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)	1			0		0
พทพร			1		1		1	
กีดผิว			1		1		1	
พิชฐ				0		0		0
อัตร			1			0	1	
วรวม			1		1		1	
เดินท่อด		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความเค้นการเชื่อมคิดหน่วยเป็น 1 มม. (1/32 นิ้ว)						
พทพร								
กีดผิว								
พิชฐ								
อัตร								
วรวม								
เดินท่อด	6. การเชื่อมรอยต่อ (Porosity)	จำนวนรูพรุนต่อไม่เกิน 1 สำหรับท่อความยาวรวม เชื่อม 100 มม. (4 นิ้ว) และขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อไม่ เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)		0		0		0
พทพร			1		1		1	
กีดผิว				0	1			0
พิชฐ			1			0	1	
อัตร			1			0		0
วรวม			1		1		1	
เดินท่อด		รวมรอยเชื่อมทุกกรณี : จำนวนรู พรุนต่อไม่เกิน 1 สำหรับท่อ ทุกขนาดการเชื่อม 100 มม.						
พทพร								
กีดผิว								
พิชฐ								
อัตร								
วรวม								
เดินท่อด	7. ท่อเชื่อมรอยต่อ (Crater Cross Section)	ตามค่าเฉลี่ยการประเมิน		0		0		0
พทพร			1		1		1	
กีดผิว				0	1		1	
พิชฐ			1			0	1	
อัตร			1		1		1	
วรวม			1		1		1	
เดินท่อด		ก. $W < 8$ มม. ($W < 5/16$ นิ้ว) : รอยเชื่อมไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)						
พทพร								
กีดผิว								
พิชฐ								
อัตร								
วรวม								
เดินท่อด	8. รอยเชื่อม (Convexity)	ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : รอยเชื่อมไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)						
พทพร								
กีดผิว								
พิชฐ								
อัตร								
วรวม								
เดินท่อด		ค. $W > 25$ มม. ($W > 1$ นิ้ว) : รอยเชื่อมไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)		0		0		0
พทพร			1		1		1	
กีดผิว				0		0		0
พิชฐ			1			0	1	
อัตร			1		1		1	
วรวม			1		1		1	
เดินท่อด	9. ไม่มีการเชื่อมรอยต่อ (Overlap)	ไม่อนุญาตให้มี	1			0	1	
พทพร			1		1			0
กีดผิว				0		0		0
พิชฐ				0		0		0
อัตร			1		1			0
วรวม			1		1		1	
เดินท่อด								
พทพร								
กีดผิว								
พิชฐ								
อัตร								
วรวม								

ตารางที่ ค.11 วิเคราะห์ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อแผ่น หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)

	วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อแผ่น (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)								
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พรพล		นายสิทธิชัย		นายจุลวิทย์		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันหัด	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1			0	1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี		0	1			0	0
ทศพร				0	1		1		1
กิตติพร				0	1		1		1
พิเชฐ				0	1			0	0
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1			0	1		1
สันหัด	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันหัด	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Undersize)	ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)	1		1			0	1
ทศพร			1			0		0	0
กิตติพร				0		0	1		0
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม				0		0		0	0
วรรณชัย			1		1		1		1
สันหัด	3.ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ(Undersize)	ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันหัด	4.การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1			0	1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1

ตารางที่ ค.11 วิเคราะห์ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อแผ่น หลังการปรับปรุง (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อแผ่น (อาจารย์ผู้ชำนาญการที่สถาบัน)							
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	อาจารย์พรพล		นายสิทธิชัย		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันหัด	5.การเกิดรอยกัดขอบ (Undercut)	ก. กรณีโครงสร้างหลัก (Primary Members) ที่มีรอยเชื่อมรับหน่วยแรงดึง : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 0.25 มม. (0.01 นิ้ว)	1		1	0	1
ทศพร			1		1		1
กิตติพร			1		1	0	1
พิเชษฐ			1		1		1
สังคม			1		1		1
วรรณชัย			1		1		1
สันหัด		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความลึกของรอยกัดขอบไม่เกิน 1 มม. (1/32 นิ้ว)					
ทศพร							
กิตติพร							
พิเชษฐ							
สังคม	6.การเกิดรูพรุน (Porosity)	จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม. (4 นิ้ว) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต้องไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)					
วรรณชัย							
สันหัด							
ทศพร							
กิตติพร							
พิเชษฐ							
สังคม		รอยเชื่อมมทุกกรณี : จำนวนรูพรุนต้องไม่เกิน 1 ตำแหน่งต่อทุกความยาวรอยเชื่อม 100 มม.					
วรรณชัย							
สันหัด							
ทศพร							
กิตติพร	7.หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ตามคำอธิบายรายละเอียด		0	1	0	0
พิเชษฐ			1		1		1
สังคม				0	1	0	0
วรรณชัย			1		1		1
สันหัด			1		1		1
ทศพร			1		1		1
กิตติพร		ตามคำอธิบายรายละเอียด		0	1		1
พิเชษฐ				0	1		1
สังคม				0	1		1
วรรณชัย				0	1		1
สันหัด	8.รอยนูน (Convexity)	ก. $W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว) : ระยะนูนไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)					
ทศพร							
กิตติพร							
พิเชษฐ							
สังคม							
วรรณชัย							
สันหัด		ข. $8 < W < 25$ มม. ($5/16 < W < 1$ นิ้ว) : ระยะนูนไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)					
ทศพร							
กิตติพร							
พิเชษฐ							
สังคม	9.ไม่มีการแยกออกมาจากแนวเชื่อม (Overlap)	ค. $W \geq 25$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว) : ระยะนูนไม่เกิน 5 มม. (3/16 นิ้ว)					
วรรณชัย							
สันหัด							
ทศพร							
กิตติพร							
พิเชษฐ							
สังคม		ไม่อนุญาตให้มี					
วรรณชัย							
สันหัด							
ทศพร							

ตารางที่ ค.12 วิเคราะห์ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อปลอน หลังการปรับปรุง (โรงงาน)

วิเคราะห์ ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อปลอน (โรงงาน)									
พนักงานเชื่อม	รายการตรวจ	เกณฑ์การยอมรับ	คุณสมบัติ		ความถี่		ความถี่		ผลประเมิน
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
สันทัด	1. การเกิดรอยแตก (Crack)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ			1		1		1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันทัด	2. สะเก็ดเชื่อม (Slag)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ			1		0		0		0
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันทัด	3. ขนาดของแนวเชื่อมถูกต้องตามแบบ (Undersize)	ก. $L \leq 5$ มม. (3/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2 มม. (1/16 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด		ข. $L = 6$ มม. (1/4 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 2.5 มม. (3/32 นิ้ว)	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ				0		0	1		0
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1
สันทัด		ค. $L \geq 8$ มม. (5/16 นิ้ว) : ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว)							
ทศพร									
กิตติพร									
พิเชษฐ									
สังคม									
วรรณชัย									
สันทัด	4. การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	ไม่อนุญาตให้มี	1		1		1		1
ทศพร			1		1		1		1
กิตติพร			1		1		1		1
พิเชษฐ			1			0	1		1
สังคม			1		1		1		1
วรรณชัย			1		1		1		1

ตารางที่ ค.12 วิเคราะห์ประเมินท่าที่ 3 ท่อต่อแปลน หลังการปรับปรุง (โรงงาน) (ต่อ)

วิเคราะห์ ประเมินค่าที่ 3 พ้อยต์ประเมิน (154 คะแนน)										
พนักงานประเมิน	รายละเอียดการตรวจ	เกณฑ์การประเมิน	ศูนย์ลดข้อ		ศูนย์วาเกิน		ศูนย์รบกพร		ผลประเมิน	
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน		
สืบศักดิ์	5.การบริการลูกค้า (Undersuit)	ก. กรณีบริการลูกค้า (Primary Members) ที่มี ร้อยละเกินร้อยละ 90 : ความเร็วการบริการ : 1 นาที (1/30 วินาที)	1		1		1		1	
พศพร		1		1		1		1		
กิตติพร		1		1		1		1		
พิชญ์		1		1		1		1		
อริศ		1		1		1		1		
วรรณวิทย์		1		1		1		1		
สืบศักดิ์		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : ความเร็วการบริการ : 1 นาที (1/30 วินาที)								
พศพร										
กิตติพร										
พิชญ์										
อริศ										
วรรณวิทย์										
สืบศักดิ์	6.การบริการลูกค้า (Porosity)	จำนวนลูกค้าที่รอเกิน 1 ชั่วโมง : 10 คน (1/30 วินาที) : 1 นาที (1/30 วินาที)								
พศพร										
กิตติพร										
พิชญ์										
อริศ										
วรรณวิทย์										
สืบศักดิ์		ข. กรณีอื่นๆ นอกเหนือจาก ก. : จำนวนลูกค้าที่รอเกิน 1 ชั่วโมง : 10 คน (1/30 วินาที) : 1 นาที (1/30 วินาที)	1		0		0		0	
พศพร			1		1		1		1	
กิตติพร				0	1		1		1	
พิชญ์			1		1		1		1	
อริศ	1			1		1		1		
วรรณวิทย์	1		1		1		1			
สืบศักดิ์	7.การจัดลูกค้า (Order Cross Section)		1		0		0		0	
พศพร		1		1		1		1		
กิตติพร		1		1		1		1		
พิชญ์		1		1		1		1		
อริศ		1		1		1		1		
วรรณวิทย์		1		1		1		1		
สืบศักดิ์	8.การจัดลูกค้า (Conveyer)	ก. $W < 5$ มม. ($W < 5/30$ วินาที) : 1 นาที (1/30 วินาที)								
พศพร										
กิตติพร										
พิชญ์										
อริศ										
วรรณวิทย์										
สืบศักดิ์		ข. $5 < W < 25$ มม. ($5/30 < W < 1$ วินาที) : 1 นาที (1/30 วินาที)								
พศพร										
กิตติพร										
พิชญ์										
อริศ										
วรรณวิทย์										
สืบศักดิ์	9.ไม่มีการยกลูกค้าออกจากแนวคิว (Overlap)	ค. $W > 25$ มม. ($W > 1$ วินาที) : 1 นาที (1/30 วินาที)	1		1		1		1	
พศพร		1		1		1		1		
กิตติพร		1		1		1		1		
พิชญ์		1		1		1		1		
อริศ		1		1		1		1		
วรรณวิทย์		1		1		1		1		
สืบศักดิ์		ด. $W > 25$ มม. ($W > 1$ วินาที) : 1 นาที (1/30 วินาที)			0		1		1	
พศพร			1		1		1		1	
กิตติพร			1		1		1		1	
พิชญ์			1		1		1		1	
อริศ			0	1		0		0		
วรรณวิทย์		1		1		1		1		



					หมายเลขเอกสาร : AIT-FR-MEP-002		
บันทึกการตรวจสอบงานขึ้นรูปโครงสร้าง (FAB)					วันที่เริ่มใช้งาน : 14 กุมภาพันธ์ 2565 Rev. 06		
Job No: _____				DATE: ____/____/____			
Job Name: _____				Q'TY: _____			
DWG. No.: _____				สัญลักษณ์ Judgement : ✓ ผ่าน ✗ ไม่ผ่าน			

No.	หัวข้อ	Specification	วิธีการตรวจสอบ	Judgement			หมายเหตุ
				1	2	3	
1	ความหนาแน่นเชื่อม	กำหนด 70% ขึ้นไป ของความหนาแน่นหลัก					เอกสารคู่มืออ้างอิง ความหนาแน่นเชื่อม และแบบงานกำหนด
2	ค่าขนาด (ตามแบบระบุ)	วัดขนาดหัว, กลาง, ท้าย ± 3 mm.	ดัดแบบตร				ค่า บวกลบ ตามความยาวของชิ้นงาน
3	ค่าเพนซึม	วัดเพนซึม ± 3 mm.	ดัดแบบตร				
4	ขนาด	(ลงผลการตรวจสอบในแบบ)	ดัดแบบตร				ตามแบบงานระบุ
5	ข้อบกพร่อง	ต้องไม่มี	สายตา				
6	รอยแตก	ต้องไม่มี	สายตา/MT/PT				
7	รอยร้าว	ต้องไม่มี	สายตา/MT/PT				
8	รอยเชื่อมเกินงาน	ต้องไม่มีรอยลึก/เข้าเนื้อ	สายตา				
9	ขนาดโครงสร้าง	อ้างอิงตามการกำหนดค่าพิสัยความเผื่อ (Tolerance)	ดัดแบบตร				
10	มุมฉาก	ต้องให้ได้ 90°	ฉากหลัก				บวกลบ อนุญาตตามแบบกำหนด

ประเภทการเชื่อม : ☐ การเชื่อมอาร์กอน (TIG : Tungsten Inert Gas Welding) ☐ การเชื่อมไฟฟ้า (SMAW : Shielded Metal Arc Welding)

☐ การเชื่อม CO₂ (MIG : Metal Inert Gas Welding) ☐ การเชื่อมอลูมิเนียม (Aluminium Welding)

☐ เปรียงก่อนเชื่อม (Pre Heat)

ประเภทเหล็กพรรณ : ☐ รางน้ำ (C-Channel) ☐ ไอบีม (I-beam) ☐ เอชบีม (H-Beam)

☐ กล้องสี่เหลี่ยม (Square Steel Tube) ☐ กล้องสี่เหลี่ยมแบน (Rectangular Steel Tube) ☐ อก 1ก (Angle Steel)

☐ อื่นๆ (ระบุ) _____

ขนาดความหนาแน่นหลัก : ☐ 2.3-3.2 mm. ☐ 5 mm. ☐ 10 mm. ☐ 15 mm. ☐ 20 mm.

☐ 25 mm. ☐ 30 mm. ☐ 35 mm. ☐ มากกว่า 35 mm. (ระบุ) _____

สรุปผลการตรวจสอบ : ☐ ผ่านทุกชิ้น ☐ แก้ไขเพิ่มเติม ☐ ไม่ผ่านการตรวจสอบโดยให้

บันทึกอื่น ๆ เพิ่มเติม : _____

หมายเหตุ : กรณีที่แบบไม่มีการกำหนดค่าพิสัยความเผื่อ (Tolerance) ของขนาดโครงสร้างให้ใช้เกณฑ์ตามข้อมูลดังนี้ (เทียบ Datum ที่กำหนดจาก Base หรือ Floor)

ขนาดโครงสร้าง	ค่าพิสัยความเผื่อ (Tolerance)
500 mm.	± 2 mm.
501 - 1000 mm.	± 3 mm.
1001 - 1500 mm.	± 4 mm.
1501 - 2500 mm.	± 4.5 mm.
มากกว่า 2500 mm.	± 5 mm.

ผู้ปฏิบัติงาน	ผู้ตรวจสอบ (หัวหน้างาน)	ผู้อนุมัติวิศวกรผลิตขึ้นไป
...../...../.....	/...../.....	/...../.....

รูปที่ ง.1 แผนบันทึกการตรวจสอบงานขึ้นรูปโครงสร้างของสถานประกอบการ

