

รหัสโครงการ SUT707-71254-12-29



รายงานการวิจัย

การประเมินฝีมือช่างเชื่อมงานโยธา (นครราชสีมา)

(Performance Evaluations of Civil Work Welders (Korat Area))

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การประเมินฝีมือช่างเชื่อมงานโยธา (นครราชสีมา) (Performance Evaluations of Civil Work Welders (Korat Area))

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศาสตราจารย์ สุขประเสริฐ

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นางกาญจน์กรรณ สุอังคะ

นางสาวรุ่งอรุณ บุญถ่าน

นางสาวมัตติกา บุญมา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2556

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีอย่างมากในการทำงานวิจัย และการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2554

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้ช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ดังนี้

โครงการก่อสร้างที่ดำเนินงานในเขตจังหวัดนครราชสีมาทั้ง 19 แห่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ช่างเชื่อมที่ปฏิบัติงานจริงในโครงการเข้าร่วมการทดสอบฝีมือ และให้ความอำนวยความสะดวกในการทดสอบอย่างดียิ่ง

นายวิชาญ วีระชัยสุนทร ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ นายคมสัน ภาษยเดช นายณพพร แถวเพชร นายสหัสชัย ทิพย์เนตร์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการกลึงชิ้นงาน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์และให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานตลอดการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสาทวิชาความรู้ ข้อดีของหนังสือเล่มนี้ขออุทิศให้คณาจารย์ทุกท่าน ที่จะลืมไม่ได้คือครอบครัวที่อบอุ่น ที่มีส่วนร่วมในการเป็นกำลังใจในการทำงานตลอดมา หากมีข้อผิดพลาดประการใด ต้องขออภัย ณ ที่นี้ด้วย และหากมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมประการใด สามารถแจ้งได้ที่ E-mail : sart@sut.ac.th

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2556

บทคัดย่อ

การประเมินฝีมือช่างเชื่อมงานโยธา (นครราชสีมา) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพฝีมือช่างเชื่อมของงานด้านวิศวกรรมโยธา ภายในจังหวัดนครราชสีมา โดยมุ่งเน้นตรวจสอบช่างเชื่อมที่ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมก่อสร้างขนาดกลาง และขนาดเล็ก ขั้นตอนการวิจัย เริ่มจาก การกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ทดสอบฝีมือช่างเชื่อม ซึ่งกำหนดให้ทำการเชื่อมไฟฟ้าต่อแผ่นเหล็กด้วยรอยต่อชน(Butt Joint) เชื่อมในตำแหน่งการเชื่อมท่าราบ (Flat Position Welding) การเชื่อมท่าขนานนอน (Horizontal Position Welding) และการเชื่อมท่าเหนือศีรษะ (Overhead Position Welding) ขั้นตอนประเมินคุณภาพการเชื่อม ด้วยวิธีตรวจสอบด้วยสายตา และทดสอบสมบัติแรงดึง นอกจากนี้ ยังสังเกตความเหมาะสมของการแต่งกายของผู้ปฏิบัติการเชื่อม สำหรับเหล็กที่ใช้ทดสอบการเชื่อม มีคาร์บอนเป็นส่วนผสม ร้อยละ 0.0523 มีความแข็ง 116 HV และมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) 366 เมกะปาสคาล โดยเหล็กแผ่นที่มีขนาด กว้าง 20 มิลลิเมตร หนา 2.6 มิลลิเมตร มีค่าแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย 19,128 นิวตัน สำหรับผลการวิจัยนี้ จะเป็นเครื่องบ่งชี้สถานการณ์คุณภาพฝีมือแรงงาน สาขาช่างเชื่อม ในงานด้านวิศวกรรมโยธา ที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

การวิเคราะห์มาตรฐานฝีมือของช่างเชื่อมของงานด้านวิศวกรรมโยธาภายในจังหวัดนครราชสีมา ด้วยการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานที่เชื่อมโดยช่างที่ปฏิบัติงานในไลน์ก่อสร้างขนาดกลาง และขนาดเล็ก จำนวน 19 แห่ง จากผลการตรวจสอบด้วยสายตา พบว่า มีชิ้นงานเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ร้อยละ 1.75 ส่วนผลการทดสอบแรงดึง พบว่าชิ้นงานเชื่อมที่ทำการทดสอบในตำแหน่งท่าราบมีค่าแรงดึงสูงสุด เฉลี่ย 14,914 นิวตัน ชิ้นงานเชื่อมที่ทดสอบในตำแหน่งท่าขนานนอนมีค่าแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย 15,204 นิวตัน และชิ้นงานเชื่อมที่ทดสอบในตำแหน่งท่าเหนือศีรษะมีค่าแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย 14,708 นิวตัน ผลการทดสอบแรงดึงดังกล่าว พบว่า ชิ้นงานเชื่อม มีค่าแรงดึงสูงสุดต่ำกว่าค่าแรงดึงสูงสุดของเหล็กที่ใช้ทดสอบ ร้อยละ 9.27-41.01 ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวมากกว่าร้อยละ 5 ตามเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้จากการสังเกตการณ์แต่งกายของผู้ปฏิบัติงานเชื่อมในสถานที่ก่อสร้าง พบว่า ร้อยละ 79 สวมเครื่องแต่งกายไม่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติการเชื่อม จากผลการวิจัย เป็นข้อบ่งชี้ว่า ช่างเชื่อมในอุตสาหกรรมก่อสร้างขนาดกลางและขนาดเล็กในจังหวัดนครราชสีมาเป็นช่างเชื่อมที่ต้องได้รับการส่งเสริมพัฒนา ทักษะ ความรู้ความสามารถ เพื่อเป็นแรงงานฝีมือ ตามเกณฑ์มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ

Abstract

This skill assessment for welding technician in civil engineering industry aims at determining the quality of skilled labor available in small and medium sized construction industries in Nakhonratchasima province. The methodology used in assessing the skills in focus begins with identifying and specifying the criteria for skills required for a welder for construction purposes. The identified skills for the baseline quality of this trade include performance in creating butt joint, flat position welding, horizontal position welding and overhead position welding. The quality of outputs from these tasks indicates the quality of the skill of the technician. Skill assessment is first assessed using visual inspection and followed by mechanical inspection using tensile strength test. Apart from the finished work piece, the appropriateness of the technicians' working manner is also observed, including their attire. The sample metal piece used for testing the technician's skills is 20 mm in width and 2.6 mm thick with 0.05523% carbon content, 116 HV and UTS of 366 MPa. Its average tensile strength is 19,128 N. These properties will be used as the standard qualities for comparison of the welded piece which will determine the qualities of skilled welders present.

The skill assessment was performed in 19 small and medium construction sites and found that only 1.75 % of welders assessed are qualified after the visual inspection round. The average tensile strength for flat position welding, horizontal position welding and overhead welding are 14,914N, 15,204 N and 14,708 N respectively. This shows that the finished products have 9.27 – 41.01 % lower tensile strength than its original material. The difference in tensile property is too high based on the acceptable standard difference of 5%. Other than that, it was also observed that 79 % of the welders are not suitably dressed for their function, showing lack of awareness for safety. In conclusion, this research finds that welding technicians in small and medium sized construction industry in Nakhonratchasima lack the qualifications of a good quality professional welder. In order to increase the skills to meet national standard for skilled welders, the assessed technicians should receive skill enhancement training.

สารบัญ

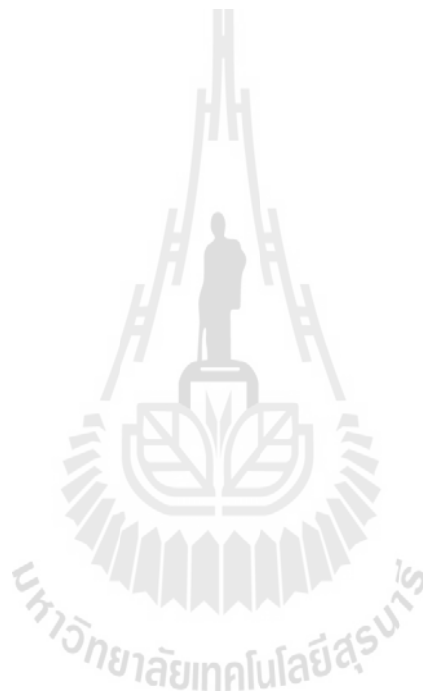
หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อุตสาหกรรมและประเภทของอุตสาหกรรม	7
2.2 เหล็กโครงสร้าง	9
2.3 วิวัฒนาการของเทคนิคการเชื่อม	11
2.4 การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding; SMAW)	13
2.5 องค์ประกอบของงานเชื่อมไฟฟ้า	15
2.6 ตำแหน่งในการเชื่อม	23
2.7 ข้อบกพร่องในงานเชื่อม	24
2.8 การตรวจสอบงานเชื่อม	27
2.9 ลำดับและขั้นตอนในการตรวจสอบงานเชื่อม	28
2.10 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมต่อ	31
2.11 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบการค้ำองงานเชื่อม	31
2.12 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบการดีหัก	32
2.12 อันตรายที่เกิดจากการเชื่อมไฟฟ้าและวิธีป้องกัน	33
บทที่ 3 วัสดุและวิธีการทดลอง	36
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	36
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	36

3.3 การทดสอบช่างเชื่อมที่ปฏิบัติงานจริงในโครงการก่อสร้าง	37
3.4 การประเมินช่างเชื่อม	39
3.5 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล	41
3.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	43
3.7 การถ่ายภาพพื้นผิวการแตกหักเนื่องจากการทดสอบแรงดึง	45
3.8 การวัดขนาดของรอยเชื่อม	45
บทที่ 4 ผลการศึกษา	46
4.1 ลักษณะงานเชื่อมด้านวิศวกรรมโยธา	46
4.2 สมบัติของเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ	50
4.3 การสำรวจลักษณะการแต่งกายของช่างเชื่อมขณะปฏิบัติงาน	51
4.4 การประเมินงานเชื่อมด้วยสายตา	52
4.5 โครงสร้างทางจุลภาค	54
4.6 ผลการทดสอบความแข็ง	60
4.7 ผลการทดสอบแรงดึง	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	67
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายชิ้นงานเชื่อม	69
ภาคผนวก ข ผลการวัดขนาดรอยเชื่อม	73
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบแรงดึง	78
ประวัติผู้วิจัย	80

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลวดเชื่อมไฟฟ้าชนิดเหล็กเหนียว (JIS Z 3211 – 1976)	16
ตารางที่ 2.2 ลักษณะจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมแบบไฟฟ้าด้วยมือ	25
ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กที่ใช้ทดสอบการเชื่อม	50
ตารางที่ 4.1 จำนวนของช่างเชื่อม จำแนกตามลักษณะการแต่งกาย	51
และการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากการเชื่อม	
ตารางที่ 4.3 จำนวนชิ้นงานเชื่อมจำแนกตามลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อม	52



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1. โครงสร้างสะพานที่ทำจากเหล็ก	4
รูปที่ 2.2 การใช้เหล็กในงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างหลังคา	5
รูปที่ 2.4 เหล็กโครงสร้างห่อหุ้ม และภาพภายนอกอาคารสนามกีฬาโอลิมปิก ณ กรุงปักกิ่ง	6
รูปที่ 2.5 หอไอเฟล ตั้งอยู่ในกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส	6
รูปที่ 2.6 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ	11
รูปที่ 2.7 งานต่อเรือ	13
รูปที่ 2.8 การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	14
รูปที่ 2.9 การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	15
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	18
รูปที่ 2.11 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์และการระบุประเภทของลวดเชื่อม	19
รูปที่ 2.12 แสดงระยะอาร์กของการเชื่อม	20
รูปที่ 2.13 แสดงผลจากการเชื่อมที่ระยะอาร์กไม่เหมาะสม	21
รูปที่ 2.14 แสดงการควบคุมความเร็วที่ถูกต้อง	22
รูปที่ 2.15 มุมระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน และมุม เดินลวด	23
รูปที่ 2.16 ทำเชื่อมมาตรฐาน	24
รูปที่ 2.17 แสดงจุดบกพร่องภายนอกแนวเชื่อมรอยต่อชน	26
จากกระบวนการเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	
รูปที่ 2.18 แสดงจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อมรอยต่อชน	27
จากกระบวนการเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	
รูปที่ 2.19 เครื่องแต่งกายเพื่อป้องกันอันตรายจากการเชื่อม	35
รูปที่ 3.1 รอยต่อเชื่อมชนิด รอยต่อชน	37
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานเชื่อม	37
รูปที่ 3.3 การทดสอบช่างเชื่อมในตำแหน่งท่าราบ	38
รูปที่ 3.4 การทดสอบช่างเชื่อมในตำแหน่งทำขนานนอน	38
รูปที่ 3.5 การทดสอบช่างเชื่อมในตำแหน่งทำเหนือศีรษะ	39
รูปที่ 3.6 ระยะห่างและมุมตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจ	40
รูปที่ 3.7 จำแนกลักษณะของรอยเชื่อม	41
รูปที่ 3.8 ลักษณะหวัคคของการทดสอบความแข็งแบบบิกเกอร์	42

รูปที่ 3.9 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง	43
รูปที่ 3.10 ส่วนของชิ้นงานเชื่อมที่นำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	44
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในมุมมองด้านบน (Top View)	44
รูปที่ 3.12 ชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตามภาคตัดขวาง (Cross Section)	44
รูปที่ 3.13 การวัดขนาดรอยเชื่อม	45
รูปที่ 4.1 ลักษณะงานเชื่อมโครงหลังคา	46
รูปที่ 4.2 ลักษณะรอยต่อชิ้นงานเชื่อมเหล็กโครงสร้าง	47
รูปที่ 4.3 การเชื่อมต่อเหล็กหน้างาน	47
รูปที่ 4.4 งานโครงสร้างหลังคา	48
รูปที่ 4.4 งานต่อเติมอาคารเพื่อทำกันสาด	49
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กคาร์บอนต่ำที่ใช้ในการวิจัย	50
รูปที่ 4.6 จำแนกรอยเชื่อมตามลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อม	47
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างแนวเชื่อมลักษณะต่าง ๆ	52
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม ภาพถ่ายมุมมองด้านบน (Top View)	55
รูปที่ 4.9 ส่วนขยายภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ภาพถ่ายตามยาว	56
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม ภาพถ่ายภาคตัดขวาง (Cross section)	57
รูปที่ 4.11 ส่วนขยายภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ถ่ายตามภาคตัดขวาง	58
รูปที่ 4.12 ขยายภาพที่ 4.10 ส่วนที่ 4	59
รูปที่ 4.13 ขยายภาพที่ 4.10 ส่วนที่ 5	59
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานเชื่อม	60
รูปที่ 4.15 ความแข็งที่ต่างตามตำแหน่งในบริเวณ Weld Zone (Top View)	61
รูปที่ 4.16 ความแข็งที่ต่างตามตำแหน่งในชิ้นงานเชื่อม (Cross Section)	61
รูปที่ 4.17 ค่าแรงดึงสูงสุดของแผ่นเหล็ก และชิ้นงานเชื่อมในท่าราบ ท่าขนานนอน และทำเหนือศีรษะ	62
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงกับความเครียดของเหล็กและชิ้นงานเชื่อม	63
รูปที่ 4.19 ลักษณะของชิ้นงานเหล็กภายจากการทดสอบแรงดึง	63
รูปที่ 4.20 ลักษณะชิ้นงานเชื่อมภายจากการทดสอบแรงดึง	64
รูปที่ 4.21 พื้นผิวการแตกหักจากการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเหล็ก	65
รูปที่ 4.22 พื้นผิวการแตกหักจากการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเชื่อม	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

งานด้านวิศวกรรมโยธาที่เป็นโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ที่ต้องเน้นในเรื่องของความปลอดภัย เช่น การก่อสร้างโรงงานปิโตรเคมี ซึ่งต้องใช้ภาชนะบรรจุความดันหรือโรงกลั่นน้ำมัน ที่ต้องมีท่อส่งน้ำมัน สิ่งเหล่านี้ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ขบวนการเชื่อมที่ต้องเน้นเรื่อง ความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญหรือเรียกโดยรวมว่า การประกันคุณภาพ (Quality Assurance; QA) ซึ่งจะรู้จักในนาม ISO 9000 โดยมีข้อกำหนดมาตรฐานกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification ;WPS) และการทดสอบกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Qualification; WPQ) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพ ซึ่งจะเกี่ยวข้องเฉพาะกับงานเชื่อมเท่านั้น ข้อกำหนดมาตรฐานกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification ;WPS) เป็นเอกสารที่กำหนดวิธีการเชื่อมและ ตัวแปรต่างๆ ที่สำคัญ ซึ่งจะกำหนดโดยผู้รับเหมางานเชื่อมและจะมีการพิสูจน์ว่า WPS ที่กำหนดขึ้นนั้นใช้งานได้หรือไม่ จึงจำเป็นต้องพิสูจน์ด้วยขั้นตอน Procedure Qualification Test Records (PQR) โดยทำการเชื่อมจริงตาม WPS ที่กำหนดขึ้น และทำการทดสอบ ตามมาตรฐานที่กำหนดในขั้นตอนสุดท้าย คือ การจัดหาช่างเชื่อมที่มีความสามารถในการเชื่อมตาม WPS นั้นเรียกว่า Welder Qualification Test (WQT) หากช่างเชื่อม สามารถผ่านการทดสอบก็จะออกใบรับรองให้ช่างเชื่อมและสามารถปฏิบัติงานเป็นช่างเชื่อมได้ ซึ่งเป็นกระบวนการควบคุมคุณภาพโดยการทดสอบฝีมือช่างเชื่อม ก่อนได้รับอนุญาตให้ปฏิบัติงาน

แต่สำหรับโครงการก่อสร้างอาคาร โดยผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลาง จะไม่มีการควบคุมคุณภาพของงานเชื่อมเท่าใดนัก ทั้ง ๆ ที่ คุณภาพของงานเชื่อมเป็นสิ่งกำหนดความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างเหล็ก เนื่องจากรอยเชื่อมเป็นจุดอ่อนของชิ้นงาน โดยในการออกแบบโครงสร้างเหล็กเพื่อให้สามารถรับแรงได้ตามที่ออกแบบนั้น ต้องมีการออกแบบรอยเชื่อมให้มีขนาดตามที่กำหนด ซึ่ง ความสามารถในการรับแรงของรอยเชื่อมนั้นจะขึ้นอยู่กับ คุณภาพของการเชื่อมและฝีมือของช่างเชื่อมเป็นหลัก แต่เนื่องจากช่างเชื่อมที่มีฝีมือนั้นเป็นบุคลากรที่มีความขาดแคลนเป็นอย่างสูง ทำให้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลาง จะมีช่างเชื่อมที่ยังไม่ได้มาตรฐาน และเมื่อโครงสร้างเหล็กถูกเชื่อมโดยช่างดังกล่าว จะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงของอาคารลดลงเนื่องจากคุณภาพงานเชื่อม นอกจากนั้นยังมีปัญหาในเรื่องของการพัฒนาแรงงานที่มีฝีมือไม่เพียงพอต่อการขยายตัวของภาวะเศรษฐกิจ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาในภาคอุตสาหกรรม

ดังนั้นการตรวจสอบฝีมือช่างเชื่อมทั่วไปในอุตสาหกรรมการก่อสร้างจะเป็นการตรวจสอบฝีมือช่างเชื่อมในเบื้องต้น เมื่อพบปัญหาเรื่องคุณภาพของงานเชื่อม ควรมีการจัดอบรมพัฒนาฝีมือช่างเชื่อมให้ได้มาตรฐานซึ่งเป็นสิ่งที่ประเทศไทยต้องเร่งผลิตแรงงานที่มีฝีมือ เพื่อป้องกันไม่ให้นักลงทุนต่างชาติ

นำเข้าแรงงานของตัวเองเข้ามามากจนทำให้แรงงานในประเทศไม่สามารถพัฒนาศักยภาพฝีมือได้อย่างเต็มที่ นอกจากนั้นการพัฒนาฝีมือแรงงานจะทำให้คุณภาพชีวิตของแรงงานดีขึ้น เนื่องจากช่างเชื่อมมีฝีมือจัดว่าเป็นสาขาที่มีความขาดแคลนอย่างสูง ดังนั้นค่าแรงของช่างเชื่อมที่มีฝีมือจะได้รับค่าตอบแทนที่สูงกว่าช่างเชื่อมทั่วไป

เนื่องจากรอยเชื่อมต่อของชิ้นส่วนของโครงสร้างเหล็กมีความสำคัญต่อความแข็งแรง ความทนทาน และความมีเสถียรภาพของโครงสร้างมาก และในประเทศไทย ยังไม่มีหน่วยงานของรัฐหรือสมาคมมาควบคุมคุณภาพและสอบเทียบฝีมือของช่างเชื่อมที่ได้รับการรับรองทางกฎหมายดังเช่นในต่างประเทศ เช่น ในสหรัฐอเมริกาโดย American Welding Society เป็นต้น มีเพียงหน่วยงานบางหน่วยงานเช่น กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงมหาดไทย เป็นต้น เท่านั้น ที่ทำการจัดอบรมและพัฒนาฝีมือช่างเชื่อมอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้ ช่างเชื่อมที่ผ่านการอบรมดังกล่าวก็ยังคงมีจำนวนที่จำกัด ทำให้คุณภาพของช่างเชื่อมแตกต่างกันไปตามพื้นที่ต่างๆ ของประเทศค่อนข้างสูงมาก

การทดสอบคุณภาพของช่างเชื่อม โดยกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน นั้นมีการทดสอบและการตรวจสอบงานเชื่อมตามข้อกำหนดของการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานการตรวจสอบคุณภาพโดยทั่วไปของงานเชื่อม มีจุดประสงค์เพื่อประเมินฝีมือของช่างเชื่อมว่ามีความรู้ ความสามารถในการปฏิบัติงานเชื่อมได้อย่างมีคุณภาพหรือไม่ ซึ่งระดับความรู้ความสามารถของช่างเชื่อม จะมีขอบเขตการรับรองภายใต้ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการทดสอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกลของรอยเชื่อมไฟฟ้าต่อแผ่นเหล็กโดยช่างเชื่อมงานก่อสร้าง ในเขตจังหวัดนครราชสีมา
- การประเมินคุณภาพฝีมือช่างเชื่อมในอุตสาหกรรมก่อสร้างขนาดกลางและขนาดเล็ก
- การวิเคราะห์มาตรฐานฝีมือของช่างเชื่อมของงานด้านวิศวกรรมโยธาทายในจังหวัดนครราชสีมา

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ทดสอบฝีมือช่างเชื่อมโลหะแผ่นในงานก่อสร้างในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา
- 1.3.2 การทดสอบช่างเชื่อมโดยใช้วิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยมือ และเป็นการเชื่อมชิ้นงานรอยต่อชน
- 1.3.3 เป็นการตรวจสอบงานเชื่อมภายหลังการเชื่อม โดยมีข้อพิจารณาดังนี้
 - ตรวจสอบขนาดจำเพาะของแนวเชื่อม ได้แก่ ส่วนนูนเสริมแรง ความยาวแนวเชื่อม และความยาวฐานแนวเชื่อม

- ตรวจสอบข้อบกพร่องชิ้นงานที่เกิดทั้งบนผิวหน้า และภายในเนื้อโลหะเชื่อม
- ตรวจสอบข้อบกพร่องที่ไม่ได้เกิดบริเวณแนวเชื่อม ได้แก่
 - ลักษณะบกพร่องในโลหะชิ้นงาน หมายถึง ลักษณะบกพร่องที่เกิดขึ้น ภายในบริเวณโลหะเชื่อม ได้แก่รอยแตกแยกชั้นที่ขอบเขตของชิ้นงานแผ่นแบน รอยตะเข็บและรอยเกยในโลหะชิ้นงาน
 - ลักษณะแนวซึมลึกด้านหลัง หมายถึง คุณภาพการหลอมละลายของแนวซึมลึก
 - ลักษณะการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญที่ทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่า ชิ้นงานเชื่อมนั้นต้องได้รับการแก้ไขหรือปฏิเสธการใช้งาน
- ทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นเครื่องบ่งชี้สถานการณ์คุณภาพฝีมือแรงงาน สาขาช่างเชื่อม ในงานด้านวิศวกรรมโยธา ที่
เป็นอยู่ในปัจจุบัน



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการนำวัสดุหลายชนิดมาทำโครงสร้างอาคาร ได้แก่ ไม้ คอนกรีตเสริมเหล็ก และเหล็ก สำหรับเหล็กเป็นวัสดุที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานโครงสร้าง เช่น งานสะพาน ก่อสร้างอาคาร และหอคอย และโครงสร้างอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1-2.5 การใช้เหล็กในงานโครงสร้างได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา เหล็กเป็นวัสดุที่ดีเยี่ยม เนื่องจากมีกำลังและอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักสูง มีความคงทน ความเหนียว ความยืดหยุ่น มีความคล่องตัวในการใช้งาน ง่ายต่อการขึ้นรูป และสามารถผลิตได้ปริมาณมาก แม้ว่าจะมีข้อเสียในเรื่องของการเป็นสนิมและความทนไฟ แต่ก็สามารถป้องกันได้

โครงสร้างอาคารที่ทำจากเหล็กจะต้องค้ำอาคารด้วยการเชื่อม หรือการใช้สลักเกลียว แต่การเชื่อมก็เป็นวิธีที่สำคัญในการประกอบโครงสร้างเหล็ก เนื่องจาก มีความสะดวกรวดเร็วและมีความหลากหลายมากกว่าการเชื่อมต่อโดยใช้สลักเกลียว สำหรับเหล็กที่ใช้ในงานโครงสร้างจะเป็นโลหะผสมของเหล็ก กับคาร์บอน โดยปริมาณคาร์บอนจะมีน้อยกว่า 1% โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นยังมีการผสมสารตัวอื่น เช่น ซิลิกอน แมงกานีส ทองแดง นิเกิล โครเมียม และวาเนเนียม ในปริมาณที่น้อยมาก แต่จะทำให้ได้เหล็กที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป



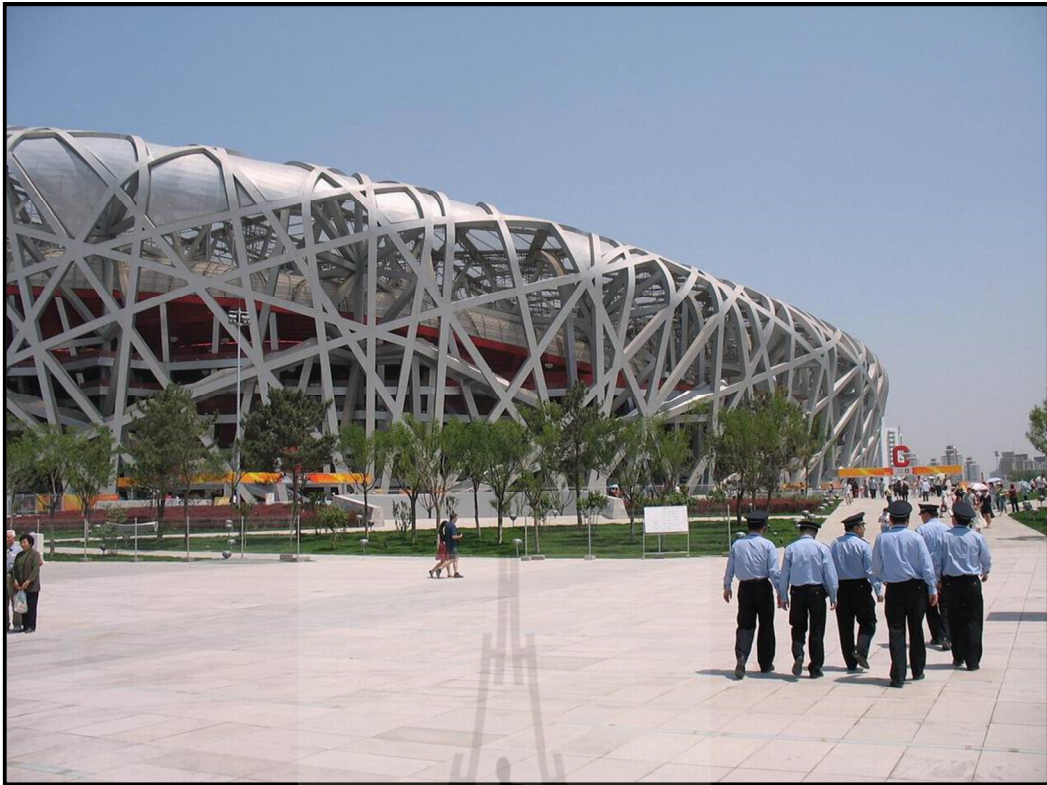
รูปที่ 2.1 โครงสร้างสะพานที่ทำจากเหล็ก (รถไฟไทยดอทคอม.<http://portal.rotfaithai.com>)



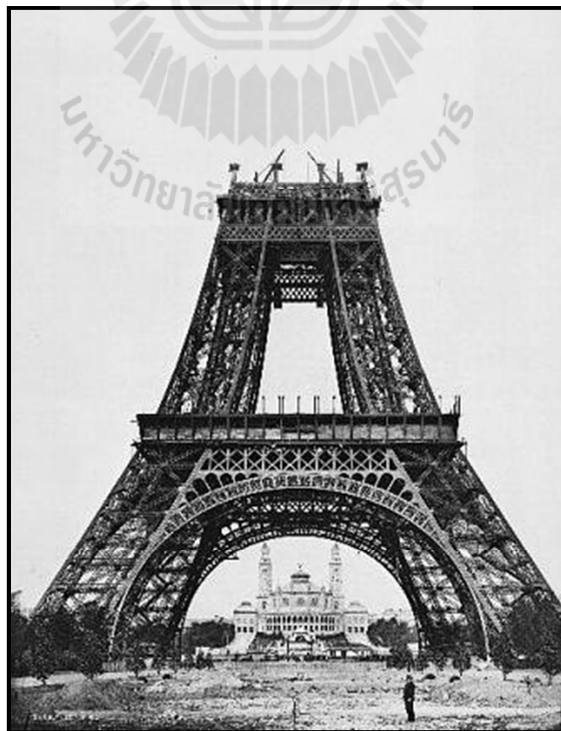
รูปที่ 2.2 การใช้เหล็กในงานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (<http://multimedia.hu.ac.th>)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างหลังคา (<http://www.machine.in.th>)



รูปที่ 2.4 เหล็กโครงสร้างห่อหุ้ม และภาพภายนอกอาคารสนามกีฬาโอลิมปิก ณ กรุงปักกิ่ง
(<http://kawitsorn.blogspot.com>)



รูปที่ 2.5 หอไอเฟล ตั้งอยู่ในกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส (<http://movie.mthai.com>)

2.1 อุตสาหกรรมและประเภทของอุตสาหกรรม

2.1.1 ความหมายของอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมเป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจในขั้นที่ 2 ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเป็นอย่างยิ่ง เพราะอุตสาหกรรมเป็นการแปรรูปให้วัตถุดิบมีมูลค่าสูงขึ้น (Value Added) เพื่อเป็นสินค้าสู่ตลาด (ภาคิยะ พัฒนาศักดิ์) ทั้งนี้ กฎหมายแรงงาน กระทรวงมหาดไทยได้ให้ความหมายของอุตสาหกรรมดังต่อไปนี้

1. การทำเหมืองแร่ เหมืองหิน หรือกิจการอื่นที่เกี่ยวกับการขุดแร่
2. การผลิต เปลี่ยนแปลง ประกอบ ทำความสะอาด ซ่อมแซม ตกแต่ง ทำให้สำเร็จรูป สงวนรักษา คัดแปลงเพื่อจำหน่าย ทำให้แตกหัก รื้อถอนหรือแปรรูปซึ่งวัตถุ หรือทรัพย์สินและรวมถึงการต่อเรือ
3. การก่อสร้าง ต่อเติม ติดตั้ง บำรุงรักษา ซ่อมแซม คัดแปลงหรือรื้อถอน อาคาร ทางรถไฟ ทางรถราง ท่าเรือ อุโมงค์ สะพานเทียบท่าเรือ ทางน้ำในประเทศ ถนน อุโมงค์ สะพานท่อระบายน้ำ บ่อน้ำ โทรเลข โทรศัพท์ ไฟฟ้า ก๊าซ หรือประปา งานก่อสร้างอื่น ๆ รวมถึงการวางรากฐานงานก่อสร้าง โครงสร้างนั้น ๆ
4. การขนส่งผู้โดยสารหรือสินค้าทางถนน รถไฟ ทางน้ำในประเทศหรือทะเล รวมทั้ง การขนถ่ายสินค้าที่ท่าเรือ สะพานเทียบเรือ ท่าเรือ หรือโรงพักสินค้า (ยพค, 2542)

กล่าวโดยสรุป การอุตสาหกรรมคือการแปรรูปวัตถุดิบที่ดำเนินการโดยใช้เงินลงทุนและแรงงานเป็นจำนวนมาก เพื่อดำเนินการให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อการค้า เช่น การทำเหมืองแร่ การขุดบ่อน้ำมัน การทำป่าไม้ การประมง การเกษตรกรรมและการบริการในเชิงการค้า

2.1.2 ประเภทของอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมสามารถจำแนกได้เป็นหลายขนาดและหลายประเภท ขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1.2.1 การจำแนกประเภทอุตสาหกรรมตามขนาด

การจำแนกประเภทอุตสาหกรรมตามขนาดสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (Large Scale Industry) หมายถึงอุตสาหกรรมที่มีการใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมาก มีทรัพย์สินถาวรตั้งแต่ 100 ล้านบาทขึ้นไปและมีแรงงานที่มีความรู้ ความสามารถเป็นจำนวนมาก อุตสาหกรรมประเภทนี้จะมีเครื่องจักรที่ทันสมัย และมีเทคโนโลยีในระดับสูง มีขั้นตอนในการดำเนินงานหลายขั้นตอน เช่น อุตสาหกรรมถลุงเหล็กกล้า อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ โดยในประเทศไทยนั้นได้รับการคาดหมายว่าจะให้เป็นเมืองที่มีการผลิตรถยนต์ที่ใหญ่ที่สุดในเอเชีย (Detroit of Asia) อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกล

2. อุตสาหกรรมขนาดกลาง (Medium Scale Industry) หมายถึงอุตสาหกรรมที่มีแรงงานตั้งแต่ 20 คนถึง 50 คนและมีทรัพย์สินถาวรตั้งแต่ 10 - 100 ล้านบาท มีเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทันสมัย เช่น โรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมทอผ้าและปั่นด้าย

3. อุตสาหกรรมขนาดย่อม (Small Scale Industry) หมายถึงอุตสาหกรรมที่มีแรงงานและจ้างงานไม่เกิน 50 คน และมีทรัพย์สินถาวรต่ำกว่า 10 ล้านบาท เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย โรงงานโลหะ โรงกลึง โรงเชื่อม

2.1.2.2 การจำแนกประเภทของอุตสาหกรรมตามวิธีการดำเนินงาน

การจำแนกประเภทของอุตสาหกรรมตามวิธีการดำเนินงาน สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทดังต่อไปนี้

1. อุตสาหกรรมสกัดจากธรรมชาติ หรือ อุตสาหกรรมเชิงสกัด (Extractive Industry) หมายถึง การสกัดเอาทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์และให้มูลค่าของทรัพยากรชนิดนั้นเพิ่มสูงขึ้น เช่น การสกัดน้ำมันจากปาล์มน้ำมัน การหมักอ้อยและมันสำปะหลังเพื่อนำมาผลิตเป็นเอทานอลใช้ในการผลิตก๊าซโซฮอลล์ การประมง การป่าไม้ ซึ่งอุตสาหกรรมประเภทนี้จัดเป็นอุตสาหกรรมขั้นปฐมภูมิ

2. อุตสาหกรรมการผลิต (Manufacturing Industry) หมายถึง การนำเอาวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมเชิงสกัดมาผลิตเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ เช่น การนำสินแร่เหล็กมาใช้ในการก่อสร้าง การผลิตกระดาษ การทอผ้า

3. อุตสาหกรรมการขนส่ง (Transporting Industry) หมายถึง การดำเนินการเพื่อเป็นการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตส่งไปยังผู้บริโภค เช่น การรถไฟ การเดินเรือ การเดินอากาศ

4. อุตสาหกรรมการบริการ (Service Industry) หมายถึง การประกอบธุรกิจด้านการให้บริการหรืออำนวยความสะดวก เช่น อุตสาหกรรมการโรงแรม การท่องเที่ยวและระบบสาธารณูปโภค (Infrastructure) ต่าง ๆ

2.1.2.3 การจำแนกประเภทของอุตสาหกรรมตามลักษณะวัสดุที่นำมาใช้ผลิต

ประเภทของอุตสาหกรรมตามลักษณะวัสดุที่นำมาใช้ผลิต สามารถจำแนกได้แก่

1. อุตสาหกรรมขั้นปฐมภูมิ (Primary Industry) หมายถึง อุตสาหกรรมที่นำเอาทรัพยากรธรรมชาติหรือผลผลิตทางการเกษตร การประมง ป่าไม้ เลี้ยงสัตว์ ที่ได้มาโดยตรงมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การทำเหมืองแร่ การข่อยหิน การแปรรูปไม้

2. อุตสาหกรรมขั้นทุติยภูมิ (Secondary Industry) หมายถึง อุตสาหกรรมที่นำเอาผลผลิตจากอุตสาหกรรมขั้นปฐมภูมิมาเป็นวัตถุดิบเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป เช่นการนำสินแร่เหล็กมาทำเครื่องจักรกล การนำเอทานอลจากการหมักอ้อยไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อทำก๊าซโซฮอลล์ การกลั่นน้ำมันตามจุดเดือดไฮโดรคาร์บอน เพื่อให้ได้น้ำมันประเภทต่าง ๆ

3. อุตสาหกรรมขั้นตติยภูมิ (Tertiary Industry) หมายถึง อุตสาหกรรมที่นำเอาผลผลิตของอุตสาหกรรมในขั้นทุติยภูมิมาให้บริการ เช่น อุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรมเหล็กกล้า

2.2.1.3 การจำแนกประเภทอุตสาหกรรมตามลักษณะผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

การจำแนกประเภทอุตสาหกรรมตามลักษณะผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จำแนกเป็น

1. อุตสาหกรรมหนัก (Heavy Industry) หมายถึง อุตสาหกรรมที่ทำการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมากและใช้ทุน แรงงานและวัตถุดิบเป็นจำนวนมาก
2. อุตสาหกรรมเบา (Light Industry) หมายถึง อุตสาหกรรมที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา ใช้ทุน แรงงาน และวัตถุดิบน้อยกว่าอุตสาหกรรมหนัก เช่น อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า

2.2 เหล็กโครงสร้าง

เหล็กที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป จะเป็นเหล็กคาร์บอน และเหล็กโลหะผสมกำลังสูง (นระ คม นามูล, 2547) เหล็กคาร์บอนเป็นชื่อเรียก เหล็กกล้า หรือ คาร์บอนสตีล คือ เหล็กที่มีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วย เช่นมี คาร์บอน 1.7% แมงกานีส 1.65% ซิลิคอน 0.60% และทองแดง 0.60% โดยคาร์บอน และ แมงกานีส จะเป็นธาตุที่สำคัญที่ช่วยเพิ่มกำลัง และทำให้เหล็กบริสุทธิ์ให้เป็นเหล็กกล้า การจำแนกประเภทของเหล็กกล้าตามปริมาณส่วนผสมของคาร์บอน ซึ่งจะจำแนก เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. คาร์บอนน้อยมาก (น้อยกว่า 0.15%)
2. คาร์บอนพอสมควร (0.15%-0.29%)
3. คาร์บอนปานกลาง (0.30%-0.59%)
4. คาร์บอนสูงมาก (0.60-1.70%)

เหล็กคาร์บอนสำหรับงานโครงสร้าง เป็นเหล็กจำพวกผสมคาร์บอนพอสมควร ที่เรียกว่า เหล็กเหนียว (Mile Steel) เช่น เหล็ก A36 มีคาร์บอนระหว่าง 0.25% -0.29% (ขึ้นอยู่กับความหนาของเหล็ก) เหล็กชนิดนี้จะแสดงจุดครากที่ชัดเจน การเพิ่มปริมาณส่วนผสมของคาร์บอน จะทำให้ค่าความเค้น ณ จุดครากสูงขึ้น แต่เปราะ และเป็นปัญหาสำหรับการเชื่อม แต่ถ้าหากในเนื้อเหล็กมีคาร์บอนผสมอยู่ไม่เกิน 0.30% จะสามารถทำการเชื่อมได้อย่างปกติ สำหรับเหล็กหล่อ (Cast iron) มีคาร์บอนผสมอยู่อย่างน้อย 1.7 % ซึ่งจะเป็เหล็กที่ไม่สามารถเชื่อมได้เลย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับชนิดของเหล็ก การเพิ่มกำลังของเหล็กคาร์บอนสามารถทำได้ด้วยการ เพิ่มปริมาณส่วนผสมของคาร์บอน นอกจากนี้การผสมธาตุบางชนิดเพียงเล็กน้อยก็สามารถเพิ่มกำลังของเหล็กได้ โดยไม่ต้องใช้กระบวนการทางความร้อน เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง แมงกานีส โมลิบดีนัม ฟอสฟอรัส วานาเดียม หรือ เซอร์โคเนียม ซึ่งธาตุดังกล่าว ทำให้โครงสร้างจุลภาคของเหล็กละเอียดขึ้น ระหว่างการเย็นตัว เหล็กโลหะผสมกำลังสูงส่วนมากมีความต้านทานการเกิดสนิมสูงมาก นอกจากนี้ เหล็กบางชนิดยังสามารถใช้กับการเชื่อมได้อีกด้วย เหล็กชนิดต่าง ๆ ที่ควรทราบมีดังนี้

เหล็ก A36 (Structural steel) จะเป็นเหล็กที่เหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งมีค่าความเค้น ณ จุดครากเท่ากับ 250 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ($\sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$) เหล็ก A36 สามารถทำ

การเชื่อมหรือใส่สลักเกลียวได้โดยง่าย และเป็นเหล็กที่สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด มีรูปพรรณมาตรฐานมีให้เลือกได้มากหลายชนิด หลายขนาด เช่น เหล็กฉาก เหล็กทรง หรือเหล็กคานตัวไอ

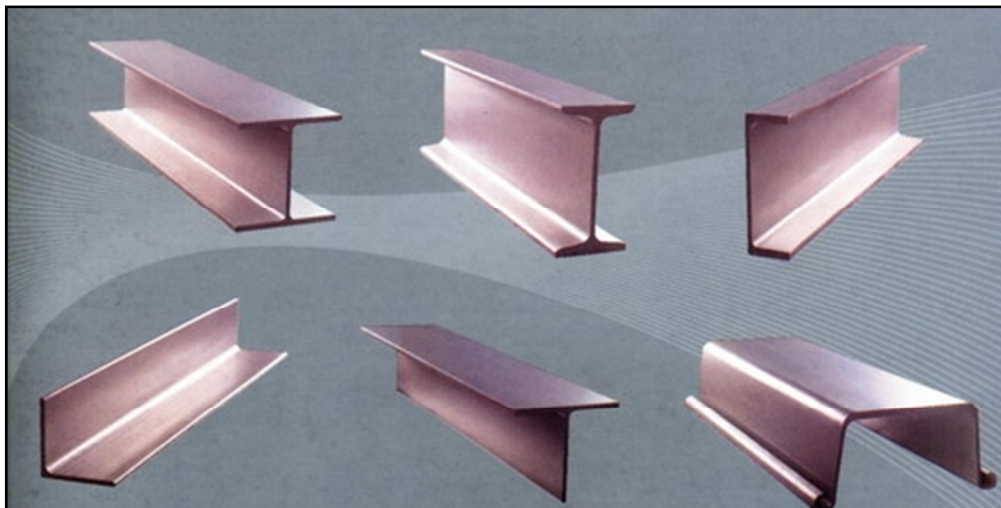
เหล็ก A501 (Hot-formed welded and seamless carbon steel structure tubing) เป็นเหล็กท่อที่ใช้ในส่วนโครงสร้าง สามารถรับแรงอัดได้ดี เพราะมีเสถียรภาพสูง ให้กำลังสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนัก มีค่าความเค้น ณ จุดคราก ประมาณ 170-230 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร นิยมต่อด้วยการเชื่อม แต่จะไม่นิยมต่อด้วยสลักเกลียว เหล็กชนิดนี้ปกติมีสมบัติเช่นเดียวกับเหล็ก A36

เหล็ก A53 (Welded and Seamless Pipe) เป็นเหล็กที่ใช้สำหรับการทำท่อประปา โดยปกติแล้วจะชุบสังกะสี มีความหนาให้เลือกใช้หลายขนาด ตามความแข็งแรงที่ต้องการ มีค่าความเค้น ณ จุดครากเท่ากับ 170-250 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

เหล็ก A573 (Structural carbon steel plates of improved toughness) มีค่าความเค้น ณ จุดครากเท่ากับ 240-250 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นเหล็กที่เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องการประกอบด้วยการเชื่อม เช่น ถังเก็บน้ำ หรือ งานที่ต้องการความเหนียวเป็นพิเศษ เช่น บริเวณรูสำหรับใส่สลักเกลียว

เหล็ก A529 (Structural steel with 290 N/mm² minimum yield point) เป็นเหล็กที่มีความเค้น ณ จุดครากเท่ากับ 330 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นเหล็กที่เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องการกำลังสูงเป็นพิเศษ เหล็กชนิดนี้แข็งแรงกว่าเหล็กกล้าชนิดธรรมดา แต่เปราะ และแสดงจุดครากไม่ชัดเจน เช่นเหล็ก A36

เหล็ก A307 (Low carbon steel externally and internally threaded standard fasteners) เหล็กชนิดนี้ใช้ทำ “Machine bolts” ซึ่งเป็นสลักเกลียวที่ใช้สำหรับติดตั้งชั่วคราว ในงานทั่ว ๆ ไป ใช้เพียงเกรดเอ มีกำลังแรงดึงถึง 380 นิวตันต่อตารางเมตร ส่วนเกรดบีจะมีกำลังสูงถึง 620 นิวตันต่อตารางเมตร ใช้สำหรับการยึดข้อต่อของท่อที่ปักทั้งสองเป็นเหล็กหล่อ



รูปที่ 2.6 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ A36 (<http://www.leelawong.com>)

2.3 วิวัฒนาการของเทคนิคการเชื่อม

การเชื่อมเป็นขบวนการที่ใช้สำหรับต่อวัสดุ ส่วนใหญ่เป็นโลหะและพลาสติก โดยให้รวมตัวเข้าด้วยกัน ปกติใช้วิธีทำให้ชิ้นงานหลอมละลาย และการเพิ่มเนื้อโลหะเดิมลงในแอ่งหลอมละลายของวัสดุที่หลอมเหลว เมื่อเย็นตัวรอยต่อจะมีความแข็งแรง บางครั้งใช้แรงดันร่วมกับความร้อน หรืออย่างเดียว เพื่อให้เกิดรอยเชื่อม ซึ่งตรงข้ามกับการบัดกรีอ่อนและการบัดกรีแข็งซึ่งไม่มีการหลอมละลายของชิ้นงานชิ้นงาน มีแหล่งพลังงานหลายอย่างสำหรับนำมาใช้ในการเชื่อม เช่น การใช้ความร้อนจากเปลวแก๊ส การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า ลำแสงเลเซอร์ การใช้โอเล็คตรอนบีม การเสียดสี การใช้คลื่นเสียง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมมีการนำมาใช้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่นการเชื่อมในพื้นที่โล่ง พื้นที่อับอากาศ การเชื่อมใต้น้ำ การเชื่อมมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรมีความระมัดระวังเพื่อป้องกันอันตราย เช่น ที่เกิดจาก กระแสไฟฟ้า ความร้อน สะเก็ดไฟ คว้นเชื่อม แก๊สพิษ รังสีอาร์ค ชิ้นงานร้อน ฝุ่นละออง ในยุคเริ่มแรกจนถึงศตวรรษที่ 19 มีการใช้งานเฉพาะการเชื่อมทุบ (forge welding) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อโลหะ เช่นการทำดาบในสมัยโบราณ วิธีนี้รอยเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรงสูง และโครงสร้างของเนื้อรอยเชื่อมมีคุณภาพอยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่มีความล่าช้าในการนำมาใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม หลังจากนั้นได้มีการพัฒนามาสู่การเชื่อมอาร์ค และการเชื่อมโดยใช้เปลวแก๊สออกซิเจน และหลังจากนั้นมีการ เชื่อมแบบความดันตามมา เทคโนโลยีการเชื่อมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ในศตวรรษที่ 20 ซึ่งอยู่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่ๆ ได้มีการเร่งพัฒนาเพื่อรองรับต่อการสู้รบในช่วงเวลานั้น เพื่อทดแทนการต่อโลหะแบบเดิม เช่นการใช้หมุดย้ำซึ่งมีความล่าช้าอย่างมาก ขบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding; SMAW) เป็นขบวนการหนึ่งี่พัฒนาขึ้นมาในช่วงนั้นและกระทั่งปัจจุบัน ยังคงเป็นกรรมวิธีที่ใช้งานกันมากที่สุดในประเทศไทย

การเชื่อมขบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ หรือที่เรารู้จักกันว่า การเชื่อมไฟฟ้าเป็นวิธีการเชื่อมที่สำคัญในงานก่อสร้าง ซึ่งโดยส่วนใหญ่ในการออกแบบ มักเป็นโครงสร้างที่ใช้เหล็ก การเชื่อมด้วยการอาร์คนี้ยังใช้ในงานต่อเรือ การผลิตตู้โดยสารรถไฟ สะพานโครงสร้างเหล็ก และอื่น ๆ ในประวัติศาสตร์ของงานเชื่อมที่สำคัญ เช่น การสร้างเรือเดินสมุทรที่มีการเชื่อมทั้งลำในปี ในปี พ.ศ. 2464 (ค.ศ. 1921) การทำคานสะพานรถไฟที่นำแผ่นเหล็กมาเชื่อมทั้งอันที่ เทอเทิล กรีก (Turtle Creek) ในรัฐเพนซิลวาเนีย สหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2470 (ค.ศ. 1927) และในปีเดียวกันอาคารชาร์อน (Sharon) ซึ่งเป็นอาคารที่ใหญ่แห่งแรกในโลกที่ใช้เหล็กโครงสร้างโดยการเชื่อมทั้งหมด การพัฒนาเทคนิคและกระบวนการเชื่อมได้ก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2463 (ค.ศ. 1920) การเชื่อมถูกประยุกต์ใช้ในการต่อประสานติดกัน ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญขั้นรอง ถ้าเราพิจารณาถึงความแข็งแรงหรืองานซ่อมในรายแรกที่เทคนิคการเชื่อมถูกวิวัฒนาการขึ้น หลังจากที่มีประสบการณ์ในทางปฏิบัติซึ่งสามารถประยุกต์ใช้การเชื่อมกับงานโครงสร้างได้อย่างกว้างขวาง กระบวนการที่ถูกนำไปใช้ในการเชื่อมเป็นสิ่งสามัญธรรมดาในทุกประเทศ

แต่เนื่องจากเกิดความเสียหายต่องานเชื่อมโครงสร้าง เช่นการเกิดรอยแตกร้าว ในรอยเชื่อมของ สะพาน รอยเชื่อมเรือ ซึ่งปัญหาการแตกร้าวนี้เป็นปัญหาที่สำคัญที่ต้องถูกนำมาพิจารณา และเป็นกรณีศึกษา เพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมของเหล็กที่สามารถใช้ในงานเชื่อมให้มีความเหมาะสมต่อสภาวะการใช้งาน จากการศึกษาพิสูจน์จากกรณีที่เกิดการแตกร้าวต่าง ๆ จากการเชื่อม เชื่อว่าความผิดพลาดของการเชื่อมเริ่มจากการแตกร้าวจุดเล็ก ๆ ในบริเวณใกล้รอยเชื่อม บริเวณ Heat Affected Zone ซึ่งจะเกิดจากความเค้นคงเหลือในรอยเชื่อม คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้สร้าง ซึ่งต้องมีคุณสมบัติเฉพาะในความสามารถในการรับแรง แต่ไม่มีความเหนียวตามที่กำหนด จะทำให้เกิดการแตกร้าวของรอยเชื่อม ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่ค้นพบ จึงทำให้ต้องมีการทดสอบตามมาตรฐานที่แน่นอนเกี่ยวกับการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy, COD, (Crack Opening Displacement Test) จากการทดสอบนี้ ซึ่งทำให้ต้องทำการเลือกเหล็กให้เหมาะสมต่อการใช้งาน



รูปที่ 2.7 งานต่อเรือ (<http://www.siamfishing.com>)

2.4 การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding; SMAW)

การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เป็นกรรมวิธีการเชื่อมแบบหลอมเหลววิธีหนึ่ง ซึ่งใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อน โดยอาศัยหลักการอาร์ระหว่างปลายลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์กับโลหะงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เป็นวิธีการเชื่อมที่สำคัญสำหรับงานสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย

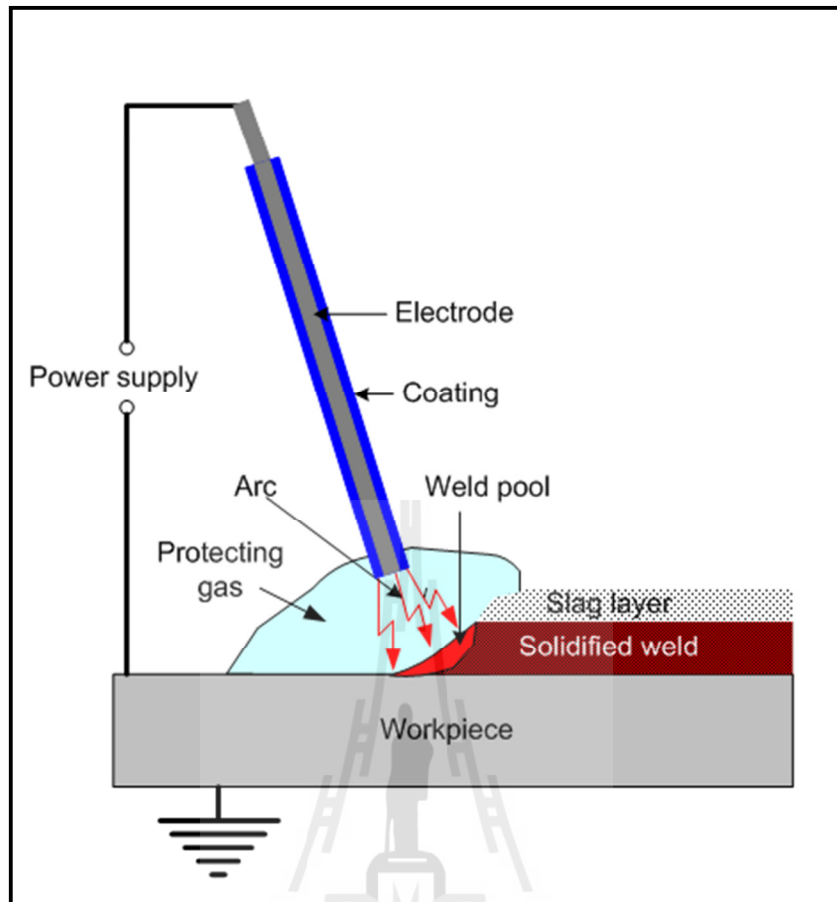
การเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) หรือที่เรามักเรียกกันว่า ก้นเชื่อมรูป บางตำรามักเรียกกันว่า manual metal arc (MMA) หรือ stick welding การเชื่อมแบบนี้ลวดเชื่อมจะมีฟลักซ์หุ้มภายนอกแกนลวด และกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านแกนลวดเชื่อมไปยังส่วนปลาย กระแสไฟฟ้าที่มีทั้งชนิดกระแสตรง (DC) และชนิดกระแสสลับ (AC) การเลือกใช้งานควรเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตลวดเชื่อม โดยปกติจะมีพิมพ์ไว้ข้างกล่องลวด โดยจะมีการขีดบ่ง เช่น ยี่ห้อ เกรดของลวดเชื่อม ขนาด ความยาวลวด ชนิดกระแสไฟฟ้าที่แนะนำให้ใช้งานในแต่ละท่าเชื่อม ชนิดฟลักซ์หุ้ม กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านแหล่งจ่าย โดยทั่วไปจะเป็นเครื่องเชื่อม การเริ่มต้นเชื่อมสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ทำได้ 2 วิธี คือการเชิ้ออาร์คและการแตะปลายลวดกับผิวชิ้นงานแล้วยกขึ้นในระยะที่เหมาะสมเพื่อคงการอาร์คไว้ ขณะอาร์คจะมีความต้านทานระหว่างปลายลวดกับผิวชิ้นงานเกิดเป็นความร้อนที่สูง ซึ่งสูงพอที่จะหลอมละลายได้ทั้งผิวชิ้นงานและปลายลวดเชื่อมให้เกิดการหลอมรวมตัวกันเป็นเนื้อโลหะรอยเชื่อม

การเชื่อมวิธีนี้เป็นการต่อโลหะให้ติดกันโดยใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากการอาร์ค (Arc) ระหว่างชิ้นงาน (Work) กับลวดเชื่อมไฟฟ้า (Electrode) ที่ส่งมายังหัวเชื่อม (Electrode holder) ได้มาจากเครื่องเชื่อม (Power Source) ซึ่งมีทั้งแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อเกิดการอาร์ค ลวดเชื่อมซึ่งทำหน้าที่ในการอาร์คจะหลอมเติมเนื้อโลหะเชื่อมในเวลาเดียวกันก็จะส่งถ่ายน้ำโลหะ (Metal Transfer) ไปยังแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งลักษณะการส่งถ่ายน้ำโลหะจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดของลวดเชื่อม ปริมาณกระแสและแรงเคลื่อน ความเร็วในการเดินเชื่อม ระยะอาร์ค

การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ สามารถเชื่อมโลหะได้หลายชนิด เช่น เหล็กกล้า คาร์บอน และเหล็กกล้าผสมต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กหล่อ ทองแดงและทองแดงผสม นิกเกิล และนิกเกิลผสม ส่วนโลหะที่ไม่สามารถเชื่อมด้วยวิธีนี้ได้เช่น อะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมผสม หรือโลหะที่มีจุดหลอมละลายต่ำ เช่น ตะกั่ว สังกะสี



รูปที่ 2.8 การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงพลังงาน)



รูปที่ 2.9 การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding; SMAW)

(Dmitri Kopeliovich., <http://www.substech.com>)

2.5 องค์ประกอบของงานเชื่อมไฟฟ้า

องค์ประกอบในการเชื่อมไฟฟ้านี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ช่างเชื่อมจะต้องศึกษาและทำความเข้าใจ ซึ่งการเชื่อมจะให้ผลดีนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

1. การเลือกลวดเชื่อมให้ถูกต้องเหมาะสมกับโลหะงาน (correct Electrode)
2. การใช้ระยะอาร์กที่เหมาะสม (Correct Length)
3. ปรับกระแสไฟเหมาะสมกับงาน (Correct current)
4. ควบคุมความเร็วที่ถูกต้องและสม่ำเสมอ (Correct Travel speed)
5. ลวดเชื่อมทำมุมกับชิ้นงานถูกต้อง (Correct Angle of Electrode)

2.5.1 การพิจารณาเลือกลวดเชื่อม

ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ ประกอบด้วย แกนลวด และสารพอกหุ้ม (Flux) ส่วนปลายของลวดเชื่อมจะเว้นช่องว่างของสารพอกหุ้มเอาไว้เพื่อจับลวดเชื่อม (วิชยุทธ จันทะรี, 2549) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 การระบุขนาดของลวดเชื่อมจะระบุตามขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนลวด ดังแสดงในรูปที่ 2.11 การจำแนกประเภทของลวดเชื่อมจะระบุตามมาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น มาตรฐานสมาคมการเชื่อมอเมริกัน และมาตรฐานประเทศไทย โดยมีรายละเอียดดังนี้

มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard; JIS) เช่น D4301 D4313 หรือ D4340 ตัวเลขที่ระบุมีความหมายดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 2.1 ลวดเชื่อมไฟฟ้าชนิดเหล็กเหนียว (JIS Z 3211 – 1976)

การจำแนกประเภท (JIS)	ชนิดสารพอกหุ้ม	ท่าเชื่อม
D4301	อิลเมไนท์	F, V, OH, H
D4303	ไลต์-ไททานี	F, V, OH, H
D4311	ไฮเซลลูโลส	F, V, OH, H
D4313	ไฮไททานีออกไซด์	F, V, OH, H
D4316	ไฮโครเจนต่ำ	F, V, OH, H
D4324	ผงเหล็กไททานี	F, H- Fil
D4327	ผงไฮโครเจนต่ำ	F, H- Fil
D4340	พิเศษ	All of F, V, OH, H, H- Fil of them

หมายเหตุ สัญลักษณ์สำหรับท่าเชื่อม ท่าราบ(F) ท่าตั้ง (V) ท่าขนานนอน (H) ท่าเหนือศีรษะ (OH) ท่าขนานนอนต่อมุมประชิด (H-Fil)

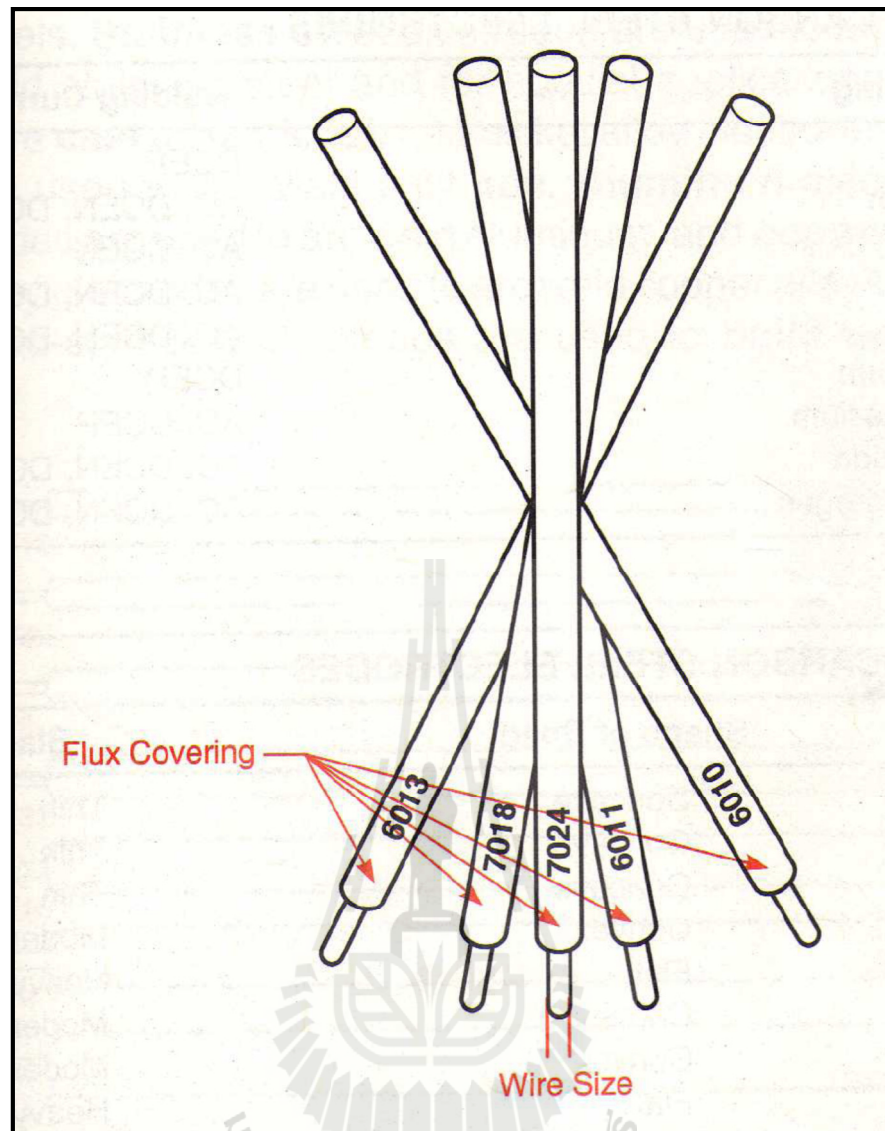
มาตรฐานสมาคมการเชื่อมอเมริกัน (American Welding Society ; AWS) จะแสดงสัญลักษณ์บนลวดเชื่อม ดังนี้ AWS A5.1 – 91 E XX X X โดยตัวอักษรในแต่ละตำแหน่งจะหมายถึง

- A 5.1 หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าอะลูมิเนียม
- 91 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน
- E (Electrode) หมายถึง ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
- XX หมายถึง ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (PSI) คูณค่าคงที่ (1,000)
- X หมายถึง ตำแหน่งท่าเชื่อม
- X หมายถึง สมบัติต่าง ๆ ของลวดเชื่อม , กระแสไฟ , การอาร์ก , การกินลึกและชนิดของฟลักซ์

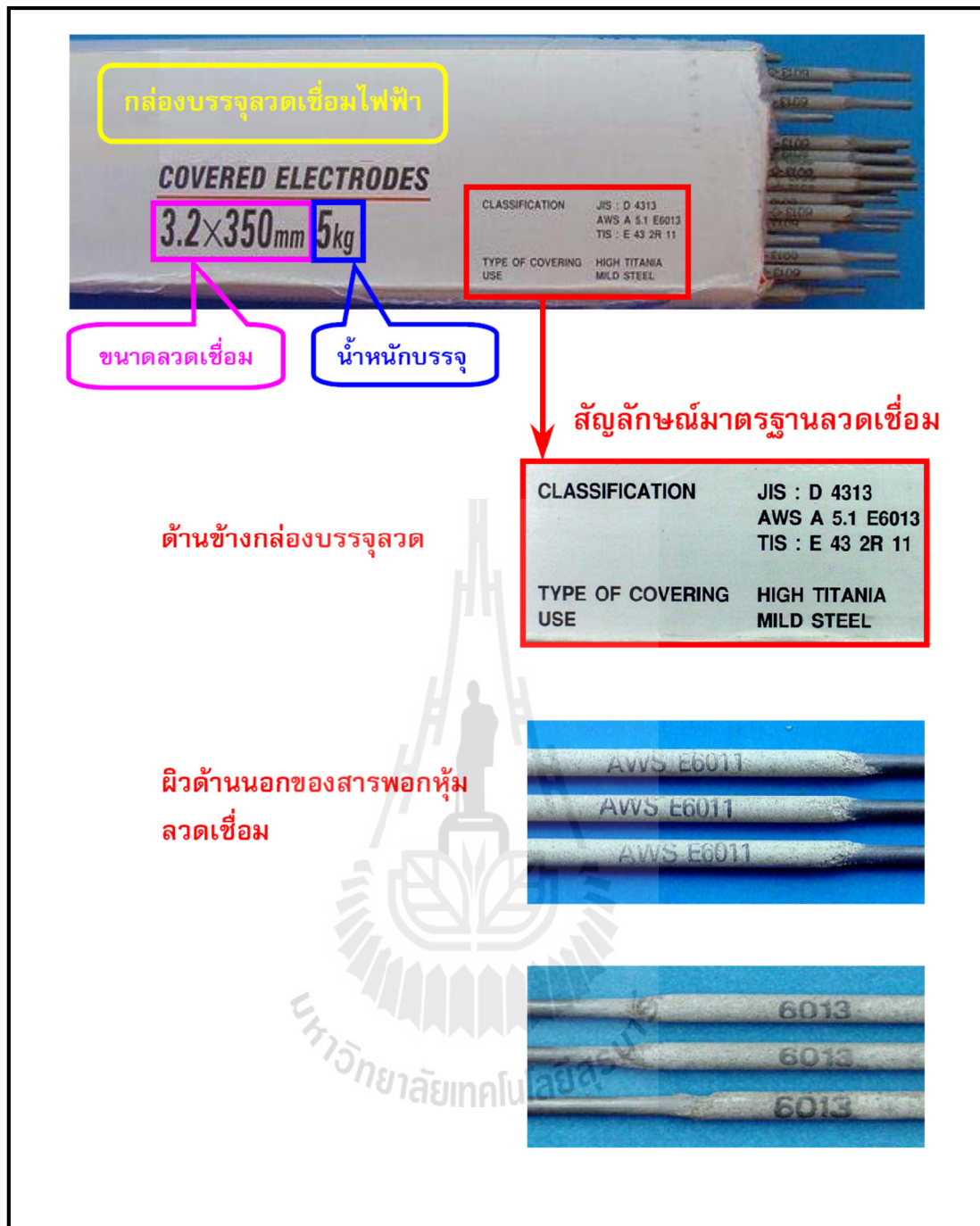
มาตรฐานประเทศไทย (Thai Industrial Standard; TIS) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐานลวดเชื่อมหุ้ม ฟลักซ์ไว้ คือ มอก. 49 – 2538 สำหรับงานเชื่อมเหล็กกล้าอะมุน ตามรหัส ดังนี้ E XX XB X X มีความหมายดังนี้

E	หมายถึง ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
XX	หมายถึง ความต้านทานแรงดึงของเนื้อโลหะเชื่อม
X	หมายถึง ค่าความต้านทานแรงกระแทก , ความยืดหยุ่นของเนื้อโลหะเชื่อม
B	หมายถึง ชนิดของฟลักซ์
X	หมายถึง ตำแหน่งท่าเชื่อม
X	หมายถึง กระแสไฟเชื่อม

ก่อนจะเลือกลวดเชื่อมนั้น จะต้องพิจารณาและตรวจสอบส่วนผสมของโลหะที่จะนำมาเชื่อมก่อน เมื่อทราบว่าโลหะที่นำมาเชื่อมนี้เป็นโลหะอะไร ใช้ทำงานอะไรอยู่ มีส่วนผสมของธาตุอะไรบ้าง ถ้าไม่ทราบข้อมูลอาจต้องเจียรไนเพื่อวิเคราะห์ประกอบไฟว่าเป็นเหล็กชนิดใด จากนั้นจึงพิจารณาเลือกลวดเชื่อมมาใช้ ซึ่งลวดเชื่อมเติมลงไปจะต้องมีส่วนผสมของธาตุเช่นเดียวกับชิ้นงานจึงจะสามารถหลอมละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ เช่น ถ้าเป็นการเชื่อมเหล็กหล่อก็ควรเลือกใช้ลวดเชื่อมเหล็กหล่อมาเชื่อม ถ้านำลวดเชื่อมเหล็กเหนียวมาทำการเชื่อมเนื้อโลหะผสมรวมกันไม่ได้ เป็นผลให้แนวเชื่อมแตกร้าว เมื่อเป็นเช่นนี้ก่อนที่ช่างเชื่อมจะลงมือทำการเชื่อมจำเป็นอย่างมากที่จะต้องศึกษาให้รู้แน่ชัดเสียก่อน ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกลวดเชื่อม นอกจากนี้การเลือกขนาดความโตของลวดเชื่อม ให้เหมาะสมกับกำลังของเครื่องก็มีความจำเป็นเช่นเดียวกันเพราะถ้าเครื่องเชื่อมขนาดเล็กมีกำลังน้อย ผู้เชื่อมเลือกใช้ลวดเชื่อมขนาดความโต 4-5 มิลลิเมตรทำให้กระแสไฟไม่พอ แนวเชื่อมไม่เกิดการซึมลึก ร่องของรอยต่อก็เช่นเดียวกัน รอยต่อเล็กควรใช้ลวดขนาดเล็ก ถ้าวรอยต่อกว้างก็ควรเลือกใช้ลวดเชื่อมที่มีขนาดโต ช่างเชื่อมที่ขาดการพิจารณาในการเลือกลวดเชื่อมก็เท่ากับเป็นการทำงานที่ล้มเหลวตั้งแต่ยังไม่ได้เชื่อม



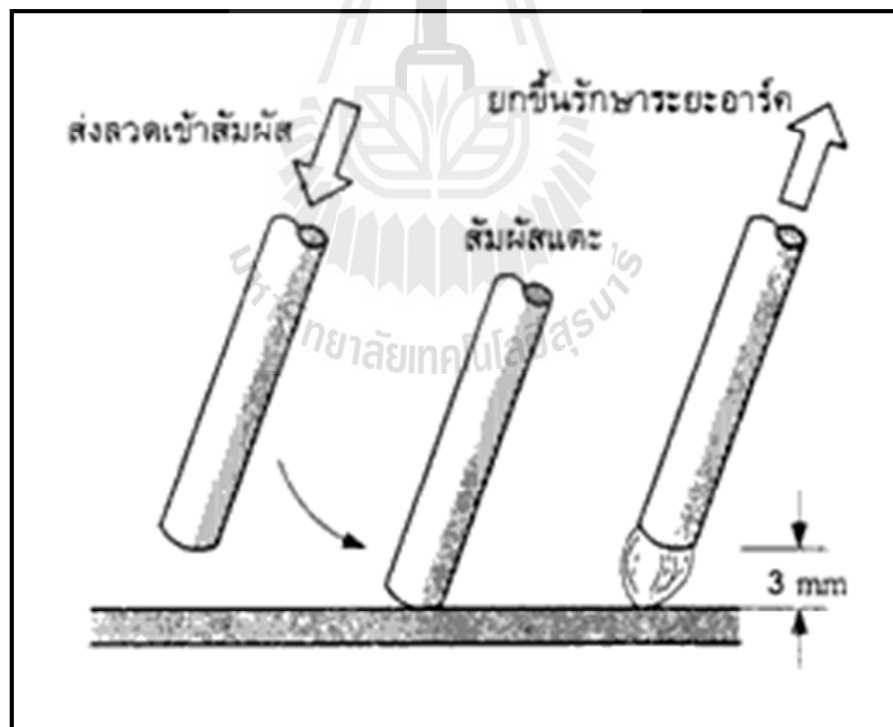
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Mile Gellerman, 1994)



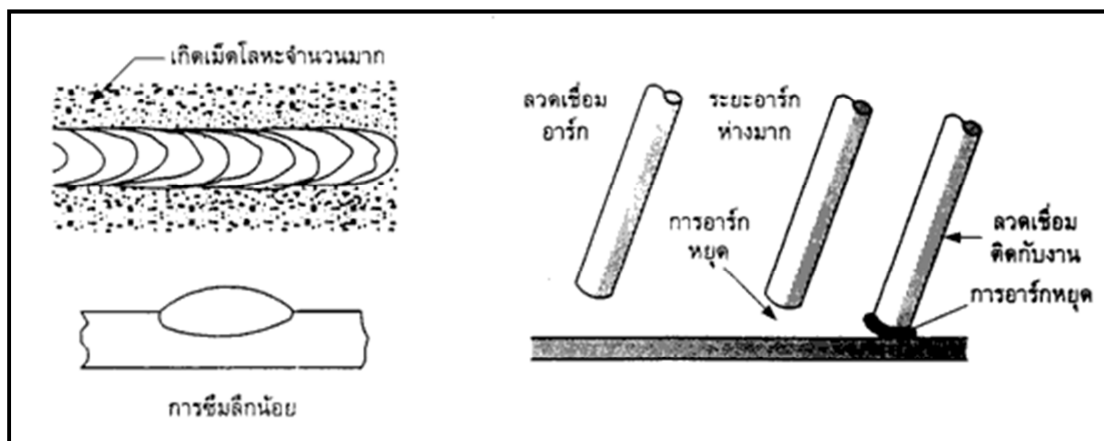
รูปที่ 2.11 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์และการระบุประเภทของลวดเชื่อม

2.5.2 เป็นการใช้ระยะอาร์กที่เหมาะสม

ระยะอาร์ก ก็คือ ระยะห่างระหว่างปลายลวดเชื่อมกับหัวหน้าของชิ้นงานขณะเกิดอาร์ก (รูปที่ 2.12) ระยะอาร์กที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมจะไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสถานการณ์ขณะทำการเชื่อม บางครั้งมีผู้เชี่ยวชาญในการเชื่อมบอกว่า ระยะอาร์กที่เหมาะสมจะเท่ากับความโตของเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม ถ้าใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 มิลลิเมตร ระยะอาร์กจะเท่ากับ 2.6 มิลลิเมตร ถ้าใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ระยะอาร์กจะเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร แต่บางครั้งอาจบอกว่าระยะอาร์กที่เหมาะสมนั้นประมาณ 3 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขณะทำการเชื่อมผู้ปฏิบัติงานเชื่อมไม่สามารถวัดระยะได้ ผู้ที่ฝึกเชื่อมจนกระทั่งชำนาญแล้วจะควบคุมระยะอาร์กโดยการฟังเสียงและการกระเด็นของเม็ดโลหะ ในขณะที่ทำการเชื่อมจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ $10,000^{\circ}\text{F}$ ถ้าระยะอาร์กสูงมากเกินไปจะทำให้เนื้อโลหะกระเด็นออกมาจำนวนมาก และความร้อนแผ่กระจาย ทำให้แนวเชื่อมมีลักษณะกว้างการซึมลึกน้อย แต่ถ้าปรับระยะอาร์กนั้นมากเกินไป ให้ความร้อนไม่เพียงพอ แนวเชื่อมหนาจากการซึมลึกน้อย หรือถ้าระยะอาร์กสั้นลงไปอีก จะทำให้เกิดการติดระหว่างลวดเชื่อมกับแนวเชื่อมได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 แสดงระยะอาร์กของการเชื่อม (<http://dc399.4shared.com/doc/WEmWPJX0/preview.html>)



รูปที่ 2.13 แสดงผลจากการเชื่อมที่ระยะอาร์กไม่เหมาะสม

(<http://dc399.4shared.com/doc/WEmWPJX0/preview.html>)

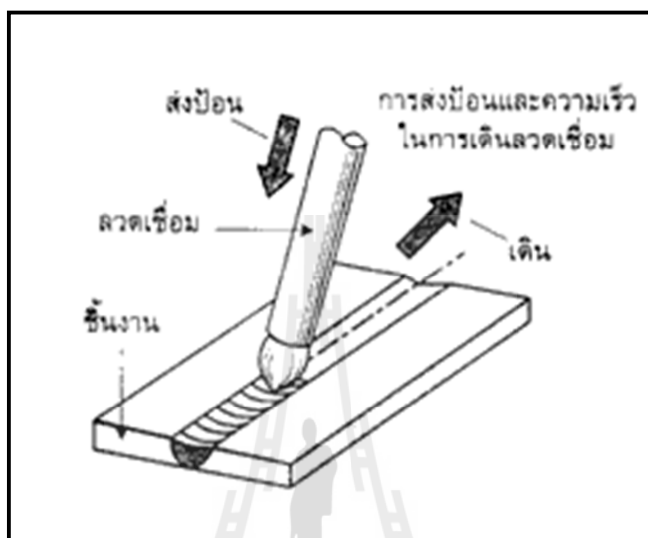
การควบคุมระยะอาร์ก จึงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ผู้ฝึกงานเชื่อมต้องควบคุมให้อยู่ในระบะที่เหมาะสม ในขณะที่ขบวนการควบคุมระยะอาร์กจะต้องสัมพันธ์กับการป้องกันลวดเชื่อม เพราะเมื่อระยะอาร์กสูง จะเกิดกระแสไฟสูง ดังนั้นจะต้องป้องกันลวดเชื่อมลงไปอย่างรวดเร็ว เพื่อควบคุมระยะอาร์ก ช่างเชื่อมสามารถใช้ประโยชน์จากระยะอาร์ก ช่วยในการควบคุมหรือเปลี่ยนแปลงกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมได้ด้วย

2.5.3 การปรับกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับงาน

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกองค์ประกอบหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานที่เชื่อมจะหลอมละลายมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการใช้กระแสไฟ ดังนั้น ผู้ฝึกเชื่อมจึงจำเป็นต้องศึกษาเรื่องกระแสไฟฟ้า เช่น กรณีลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ ควรจะใช้กระแสไฟเท่าไรในการเชื่อม ซึ่งผู้เชื่อมสามารถศึกษาข้อมูลได้จากคู่มือหรือมาตรฐานของลวดเชื่อมที่พิมพ์ไว้ข้างกล่องลวดเชื่อม การปรับกระแสไฟใช้ในการเชื่อมนั้นต้องสัมพันธ์กับขนาดของลวดเชื่อม ความหนาของชิ้นงานเชื่อม อัตราการป้องกันลวดเชื่อม และการเดินลวดเชื่อมด้วย ถ้ากล่าวถึงในลักษณะของการซึมลึกถึงแม้จะปรับกระแสไฟเท่ากัน แต่การเชื่อมกลับข้ามกันของการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมกระแสตรง เช่น เปลี่ยนจากกระแสตรงขั้วลบ (Direct Current Electrode Positive; DCEP) เป็นกระแสตรงขั้วบวก (Direct Current Electrode Negative; DCEN) ทำให้ผลการซึมลึกแตกต่างกันตามทิศทางเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ขนาดของกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมที่เหมาะสมที่สุดไม่มีผู้ใดจะกำหนดได้ เพราะการเชื่อมจะให้คุณภาพนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ดังนั้นค่าที่กำหนดไว้จึงเป็นค่าโดยประมาณ เช่น ควรใช้ตั้งแต่ 80-120 Amp เพื่อให้ช่างเชื่อมเลือกใช้ตามความเหมาะสม

2.5.4 การควบคุมความเร็วที่ถูกต้องและสม่ำเสมอ

ในขณะที่ทำการเชื่อมต้องมีการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของลวดเชื่อมให้สัมพันธ์กับกระแสไฟและขนาดของแนวเชื่อมที่ต้องการ กล่าวคือ ถ้าใช้กระแสไฟสูง ถ้าเดินลวดเชื่อมช้าจะทำให้เกิดการหลอมละลายมากเกินไปเกิดแนวเชื่อมกว้าง ถ้าเดินลวดเชื่อมเร็วจะได้แนวเชื่อมแคบลง หรืออีกกรณีหนึ่ง ถ้ากระแสไฟสูงจะต้องเคลื่อนที่เร็วขึ้น ถ้ากระแสไฟต่ำควรเคลื่อนที่ให้ช้าลง



รูปที่ 2.14 แสดงการควบคุมความเร็วที่ถูกต้อง

(<http://dc399.4shared.com/doc/WEmWPJX0/preview.html>)

2.5.5 ลวดเชื่อมทำมุมกับชิ้นงานถูกต้อง

มุมของลวดเชื่อมที่กระทำต่อชิ้นงานนั้น มีผลต่อการส่งผ่านน้ำโลหะไปยังบ่อหลอม ละลายการทำมุมลวดเชื่อมไม่ถูกต้องจะมีผลทำให้แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ เช่น การซึมลึกไม่ดี เกิดรอยเว้าที่ขอบงาน (Undercut) ดังนั้น ผู้เชื่อมจึงต้องคำนึงถึงมุมในการเชื่อมตลอดเวลา มุมในการเชื่อมจะประกอบด้วย 2 มุม คือ มุมเดินลวด (Travel Angle) และมุมงาน (work Angle) ดังแสดงในรูปที่ 2.115

- มุมเดินลวด จะมีทิศทางไปทางเดียวกับการเดินแนวเชื่อม โดยปกติลวดเชื่อมจะทำมุมกับชิ้นงานประมาณ 65-75 องศา
- มุมงาน จะมีทิศทางขวางกับการเดินแนวเชื่อม หรือมุมที่ลวดทำมุมกับชิ้นงานโดยมองจากด้านข้าง เช่น กรณีทำราบลวดเชื่อมจะทำมุมกับชิ้นงาน 90 องศา ดังแสดงในรูป 2.15

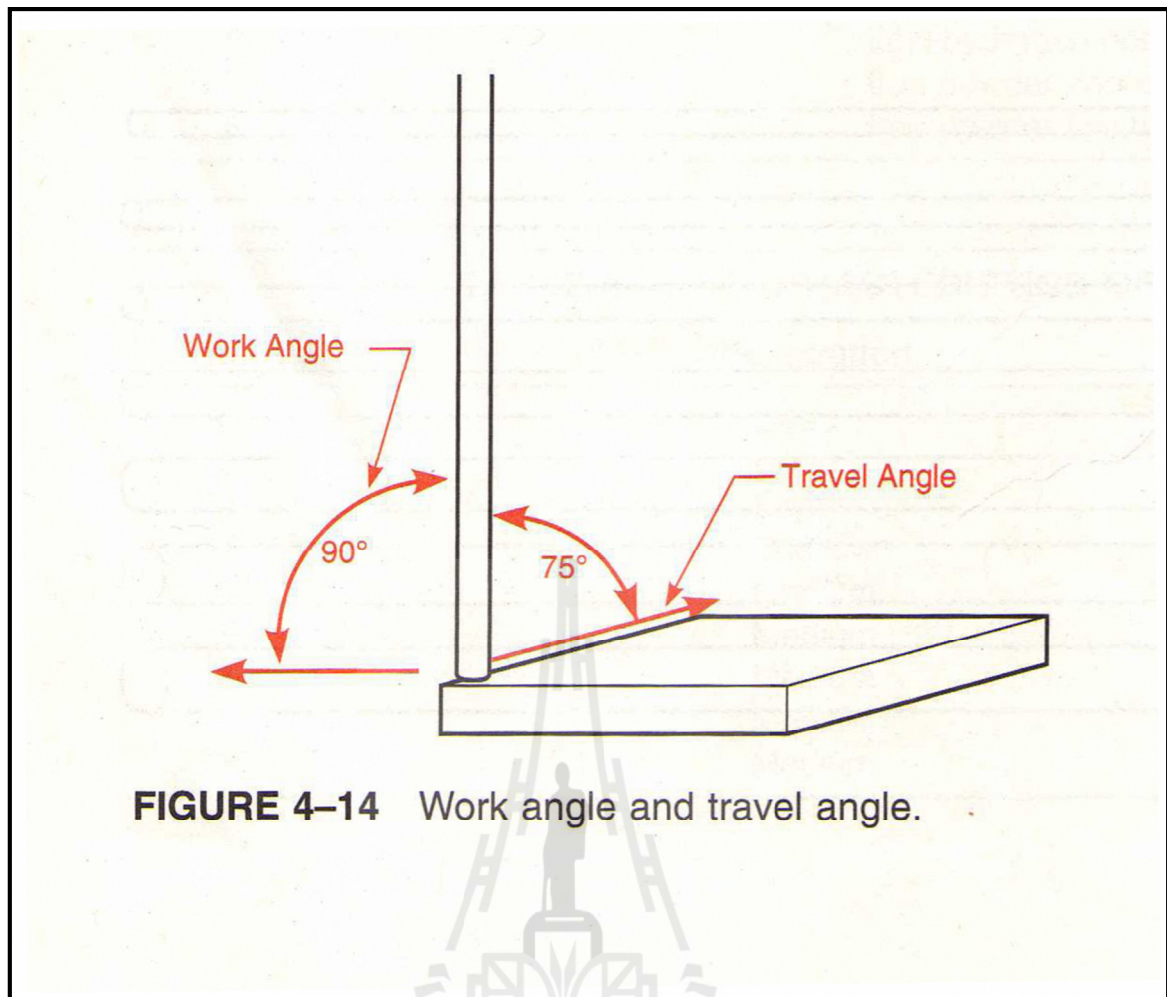


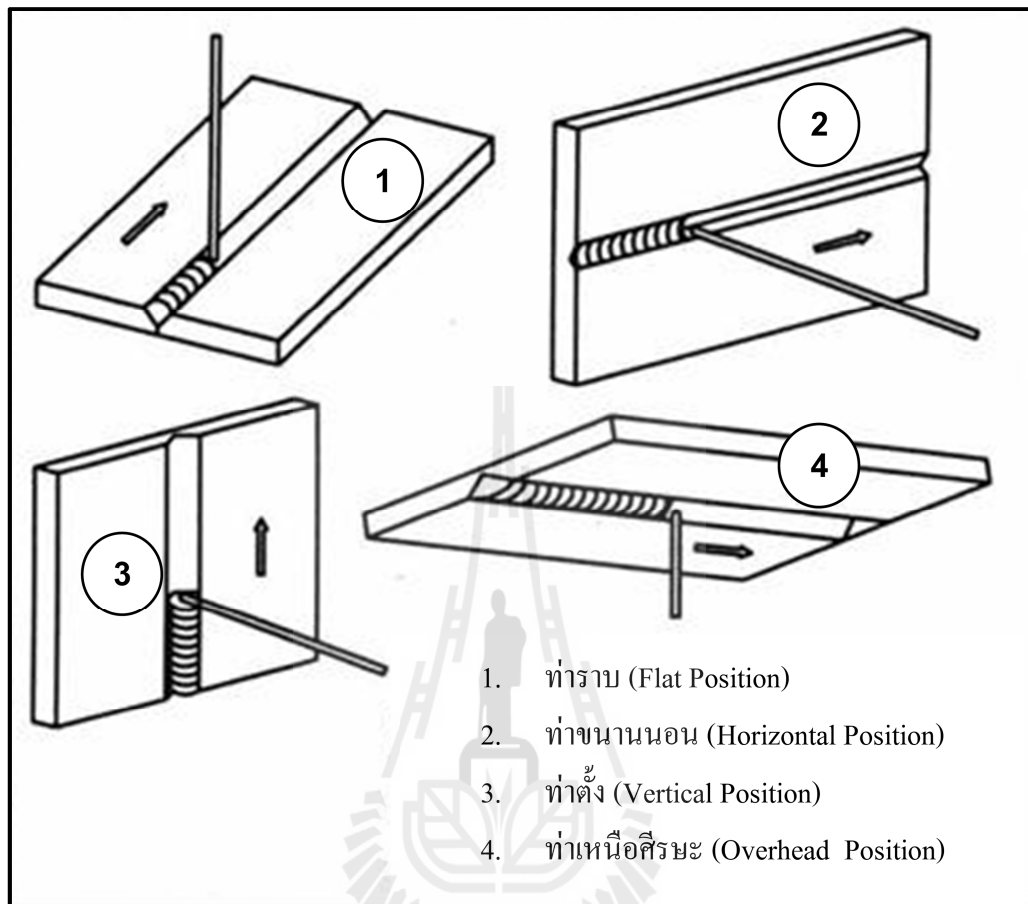
FIGURE 4-14 Work angle and travel angle.

รูปที่ 2.15 มุมระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน และมุม เดินลวด (Mile Gellerman, 1994)

2.6 ตำแหน่งในการเชื่อม

ตำแหน่งในการเชื่อมหรือท่าเชื่อม คือ ตำแหน่งและทิศทางการเชื่อมของแนวเชื่อม แบ่งออกเป็น 4 ตำแหน่งคือท่าราบ (Flat Position) ท่าขนานนอน (Horizontal Position) ท่าตั้ง (Vertical Position) ท่าเหนือศีรษะ (Overhead Position) แสดงตำแหน่งในการเชื่อมในรูปที่ 2.16 โดยท่าราบเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในระนาบเดียวกันกับพื้นราบซึ่งไม่มีปัญหาเรื่องแรงดึงดูดของโลก จึงเป็นท่าเชื่อมที่เชื่อมง่ายกว่าท่าเชื่อมอื่น ๆ ท่าขนานนอนหรือท่าระดับเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวระดับ ซึ่งขนานกับแนวระนาบ ในการเชื่อมท่าเชื่อมนี้ แรงดึงดูดของโลกจะมีผลต่อการเชื่อม ท่าตั้งเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวตั้ง ซึ่งตั้งฉากกับแนวระดับ ในการเชื่อมท่านี้ แรงดึงดูดของโลก จะมีผลต่อการเชื่อมเช่นกัน ตามทิศทางของการเชื่อมเช่น การเชื่อมลง (Vertical Down) และการเชื่อมขึ้น (Vertical Up) ท่าเหนือศีรษะ เป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวระนาบ ในระดับเหนือศีรษะของผู้เชื่อม ในการเชื่อมท่านี้ แรงดึงดูดของโลก มีผลต่อการเชื่อมเป็นอย่างมาก ทั้ง

ข้อบกพร่องในรอยเชื่อมและอันตรายจากสะเก็ดไฟโลหะที่หลอมละลาย และความร้อนจากเปลวไฟที่สะท้อนกลับ



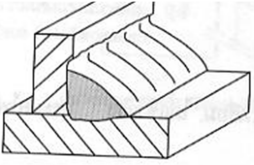
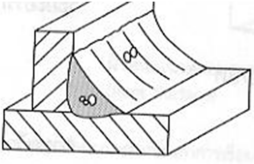
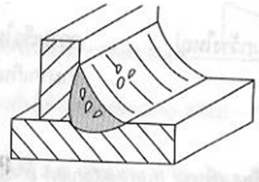
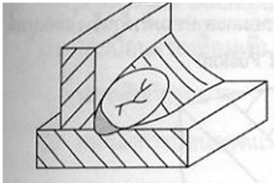
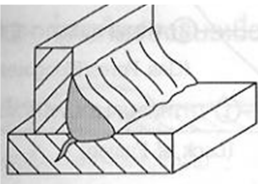
รูปที่ 2.16 ทำเชื่อมมาตรฐาน (<http://www.oknation.net>)

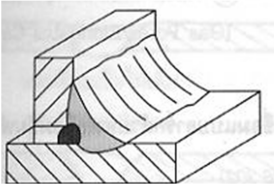
2.7 ข้อบกพร่องในชิ้นงานเชื่อม

การเชื่อมในงานก่อสร้างในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่ใช้การเชื่อมไฟฟ้าด้วยมือ ซึ่งคุณภาพของรอยเชื่อม ขึ้นอยู่กับความชำนาญและเชี่ยวชาญของช่างเป็นอย่างมาก ดังนั้นคุณภาพของรอยเชื่อมจึงขึ้นอยู่กับฝีมือของช่างเชื่อม โดยจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยมือ เกิดจากตัวแปรการเชื่อมที่ไม่ถูกต้อง แสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งจุดบกพร่องเหล่านี้ย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแนวเชื่อม

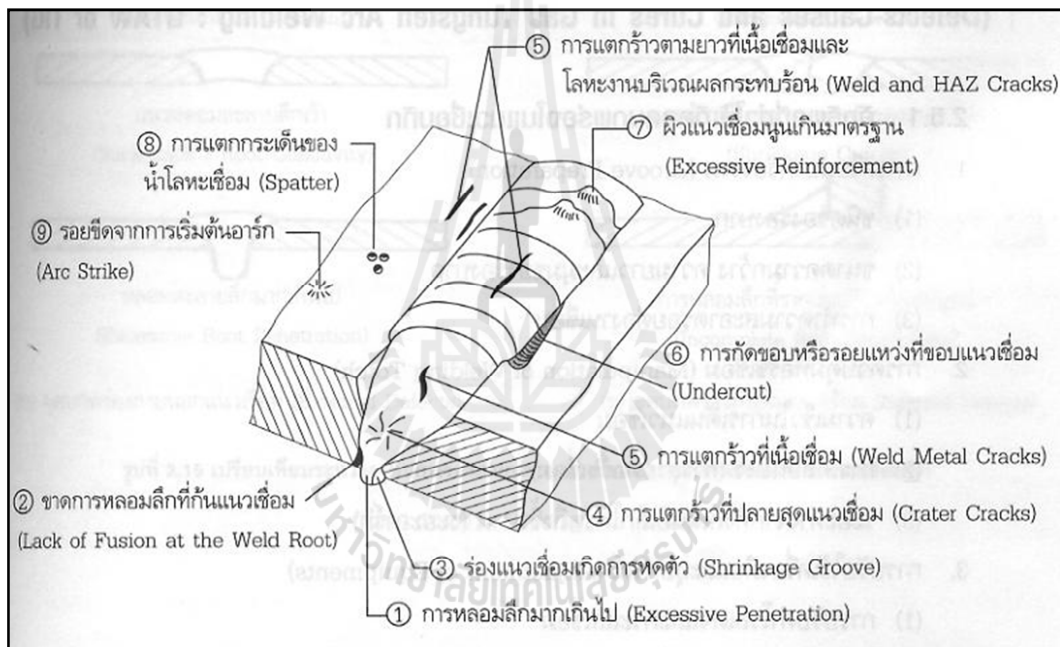
ตารางที่ 2.2 ลักษณะจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมแบบไฟฟ้าด้วยมือ

ที่มา : ชูชาติ ด้วยสงค์. การทดสอบงานเชื่อม แบบทำลายสภาพ. กรุงเทพฯ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.

แนวเชื่อม	จุดบกพร่องของแนวเชื่อม
	รอยกัดขอบ (Undercut) สาเหตุ 1. กระแสไฟเชื่อมสูงเกินไป 2. เอียงมุมลวดเชื่อมมาก 3. ระยะอาร์กห่างมากเกินไป
	สแลกฝังใน (Slag Inclusion) สาเหตุ 1. ใช้กระแสเชื่อมต่ำ 2. ความเร็วในการเชื่อมสูง 3. สแลกตกค้างจากการเชื่อมซ้อนแนว
	โพรงอากาศ (Gas Pore) สาเหตุ 1. ผิวงานสกปรก/สนิมจากการกัดกร่อน/ไขมัน/สีเคลือบ 2. ระยะอาร์กห่าง 3. ลวดหุ้มฟลักซ์มีความชื้นสูง
	แอ่งหลอมละลายปลายสุดแตกร้าว (Crater Cracks) สาเหตุ 1. ขก ลวดเชื่อมออกเร็วเกินไป 2. กระแสไฟเชื่อมสูงมากโอกาสเกิดมาก 3. แนวเชื่อมหดตัว
	รอยแตกในแนวเชื่อม (Cracks in the Weld Interface Region) สาเหตุ 1. วัสดุงานมีความสามารถรับแรงเชื่อมต่ำ 2. แนวเชื่อมเย็นตัวเร็วเกินไป

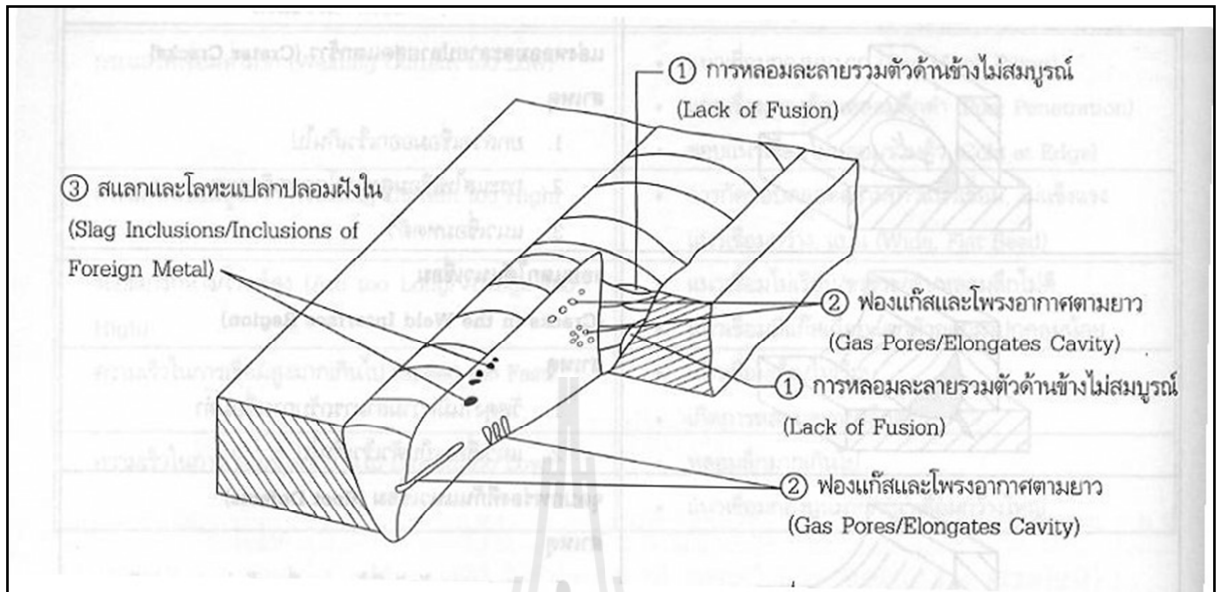
แนวเชื่อม	จุดบกพร่องของแนวเชื่อม
	จุดบกพร่องที่ก้นแนวเชื่อม (Root Defects) สาเหตุ 1. สลักกรวมตัวที่ก้นแนวเชื่อมถ้าร่องรอยต่อมีช่องว่างมากเกินไป 2. ใช้เทคนิคเริ่มต้นอาร์กผิด

1. จุดบกพร่องที่เกิดภายนอกแนวเชื่อมรอยต่อชนจากกระบวนการเชื่อมแบบอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (External Defects of a V Type Butt Weld form Shielded Metal Arc Welding)



รูปที่ 2.17 แสดงจุดบกพร่องภายนอกแนวเชื่อมรอยต่อชน จากกระบวนการเชื่อมแบบอาร์กไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (เชิดเชลง ชิตลสนกิจและขงยุทธ เสริมสุริอณวัฒน์, 2524)

2. จุดบกพร่องที่เกิดภายในแนวเชื่อมรอยต่อชนจากกระบวนการเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Internal Defects of a V Type Butt Weld form Shielded Metal Arc Welding)



รูปที่ 2.18 แสดงจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อมรอยต่อชน จากกระบวนการเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (เจ็ดเชลง ชิตลสนกิจและชงยุทธ เสริมสุธิ์อนุวัฒน์, 2524)

2.8 การตรวจสอบงานเชื่อม

เนื่องจากรอยเชื่อมต่อของชิ้นส่วนของโครงสร้างเหล็กมีความสำคัญต่อความแข็งแรง ความทนทาน และความมีเสถียรภาพของโครงสร้างมาก และในประเทศไทย ยังไม่มีหน่วยงานของรัฐหรือสมาคมมาควบคุมคุณภาพและสอบเทียบฝีมือของช่างเชื่อมที่ได้รับการรับรองทางกฎหมายดังเช่นในต่างประเทศ เช่น ในสหรัฐอเมริกาโดย American Welding Society เป็นต้น มีเพียงหน่วยงานบางหน่วยงานเช่น กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงมหาดไทย เป็นต้น เท่านั้น ที่ทำการจัดอบรมและพัฒนาฝีมือช่างเชื่อมอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้ ช่างเชื่อมที่ผ่านการอบรมดังกล่าวก็ยังคงมีจำนวนที่จำกัด ทำให้คุณภาพของช่างเชื่อมแตกต่างกันไปตามพื้นที่ต่างๆ ของประเทศค่อนข้างสูงมาก

การทดสอบคุณภาพของช่างเชื่อม โดยกรมพัฒนาฝีมือแรงงาน นั้นมีการทดสอบและการตรวจสอบงานเชื่อมตามข้อกำหนดของการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานการตรวจสอบคุณภาพโดยทั่วไปของงานเชื่อม มีจุดประสงค์เพื่อประเมินฝีมือของช่างเชื่อมว่ามีความรู้ ความสามารถในการปฏิบัติงานเชื่อมได้อย่างมีคุณภาพหรือไม่ ซึ่งระดับความรู้ความสามารถของช่างเชื่อม จะมีขอบเขตการรับรองภายใต้ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการทดสอบ

การทดสอบฝีมือช่างเชื่อมไฟฟ้าขั้นต้น ตามมาตรฐานฝีมือแรงงาน ช่างเชื่อมจะต้องแสดงให้เห็นถึงความรู้ ความสามารถในการปฏิบัติงาน การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ถูกต้อง กฎเกณฑ์ความปลอดภัยในการทำงาน การประหยัด และการควบคุมเวลา ซึ่งผู้ที่ผ่านการทดสอบมาตรฐานฝีมือระดับต้น (Basic Level) นี้จะต้องเป็นผู้ที่มีฝีมือปฏิบัติงานประจำ โดยใช้ทัศนคติการตัดสินใจน้อยไม่ต้องยึดข้อกำหนดมากนัก เพราะจะมีผู้ควบคุมคอยแนะนำอาจเรียกว่า “ลูกมือ หรือ ผู้ช่วยช่าง” โดยวิธีการทดสอบและการตรวจสอบ ตามข้อกำหนดของการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงาน สาขาช่างเชื่อมไฟฟ้า ชั้น 1 (ขั้นต้น) จะระบุวิธีการตรวจไว้ 3 วิธี คือ การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) การทดสอบและการตรวจสอบด้วยการตีหักรอยเชื่อมฟิลเลต (Fillet Weld Fracture)

จุดบกพร่องย่อมเป็นปกติในงานเชื่อมซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของงานเชื่อม แต่จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ “Discontinuities” ซึ่งหมายถึงจุดบกพร่องที่มีขนาดยอมรับ (Accepted) สามารถใช้งานได้ และคำว่า “Defects” ซึ่งหมายถึง จุดบกพร่องที่เกินมาตรฐานการยอมรับ (Non-Passed) ที่ต้องมีการแก้ไขหรือให้ทำใหม่ โดยจุดบกพร่องในงานเชื่อมจะมีหลายชนิด ซึ่งตามมาตรฐานของ ISO 6520 ได้แบ่งชนิดของจุดบกพร่องออกเป็น 6 กลุ่ม คือ รอยแตก (Cracks) โพรงอากาศ (Porosity or Gas Pore) สารฝังใน (Solid Inclusion) ขาดการหลอมลึกด้านข้างรอยบากหรือระหว่างชั้นเชื่อมและการหลอมลึกด้านข้าง (Lack Fusion and Penetration) รูปร่างไม่สมบูรณ์ (Imperfect Shapes) และจุดบกพร่องอื่น ในการทดสอบรอยเชื่อมได้กำหนดขอบเขตการยอมรับการทดสอบ ดังนี้

2.9 ลำดับและขั้นตอนในการตรวจสอบงานเชื่อม

การตรวจสอบงานเชื่อมมีลำดับขั้นตอนที่สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน (มณูญ เลิศวิจิตรพันธุ์ และ วันชัย โกมลหิรัญ, 2521) ดังต่อไปนี้

2.9.1 การตรวจสอบก่อนการเชื่อม

ในการตรวจสอบก่อนปฏิบัติการเชื่อมประกอบด้วยหลักการสำคัญ ดังนี้

- สร้างความคุ้นเคยกับลักษณะงานและข้อกำหนดต่าง ๆ ด้วยการตรวจสอบเกี่ยวกับแบบงาน ข้อกำหนด กระบวนการ และคุณสมบัติของช่างเชื่อม
- ตรวจสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับวัสดุเชื่อมประสาน และกำหนดวัสดุชิ้นงานให้ถูกต้องตามข้อกำหนด
- ตรวจสอบการเตรียมรอยต่อชิ้นงานเชื่อม ให้ตรงกับแบบงาน พร้อมทั้งสภาพพื้นผิวงานที่เหมาะสม
- ตรวจสอบขนาดของแต่ละชิ้นงานให้ถูกต้อง เพราะมีผลกระทบถึงขนาดของชิ้นงานสำเร็จ

- ตรวจสอบขนาดในการประกอบชิ้นงานให้ถูกต้อง โดยเน้นที่การเว้นช่องว่างของรอยต่องานเชื่อม
- การตรวจสอบข้อกำหนดในการประกอบชิ้นงาน ได้แก่ แผ่นรองหลังแนวเชื่อม ฟลักซ์
- ขั้นสุดท้ายคือ ความเรียบร้อย สะอาด และสภาพการเชื่อมจุดเพื่อประกอบชิ้นงานให้เป็นไปตามที่เงื่อนไขกำหนด รวมทั้งวัสดุ ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมจุด
- ในกรณีที่มีการให้ความร้อนอุ่นงานก่อนเชื่อม จะต้องมีการรักษาระดับอุณหภูมิ และระยะเวลาให้คงที่ตามที่เงื่อนไขกำหนด

นอกจากนี้ ควรตรวจสอบคุณสมบัติในการประสานและรวมตัวกันระหว่างเนื้อโลหะชิ้นงานกับเนื้อโลหะเชื่อม รวมทั้งความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

2.9.2 การตรวจสอบระหว่างปฏิบัติการเชื่อม

จุดมุ่งหมายของการตรวจสอบระหว่างปฏิบัติงานเชื่อม เพื่อให้การปฏิบัติงานเชื่อมดำเนินการเป็นไปตามที่เงื่อนไขกำหนด ดังนี้

- ตรวจสอบกระบวนการและกรรมวิธีการเชื่อมตามเงื่อนไขที่กำหนด
- วัสดุเชื่อม และโลหะเชื่อม โดยตรวจสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติการเก็บรักษาสภาพของวัสดุลวดเชื่อมตามระดับความสำคัญของงาน นอกจากนี้ ยังต้องบันทึกข้อมูล เกี่ยวกับอุณหภูมิ และระยะเวลาในการอบกำจัดความชื้นวัสดุเชื่อมด้วย
- ผู้ตรวจสอบงานเชื่อมต้องสำรวจความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์การเชื่อม ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์จับยึดต่าง ๆ ด้วย
- การตรวจสอบเกี่ยวกับสภาพการเชื่อม ได้แก่ กระแสไฟเชื่อม แรงเคลื่อนไฟฟ้า ความเร็วการเชื่อม เทคนิคการเดินแนวเชื่อม ลำดับขั้นตอนการเชื่อม และสภาพการต่อขั้วไฟฟ้าเพื่อการเชื่อม
- ตรวจสอบความคงที่ของระดับอุณหภูมิอุ่นของชิ้นงานเชื่อม และระยะเวลาต้องเป็นไปตามที่เงื่อนไขกำหนด เพื่อให้ปริมาณความร้อนในชิ้นงานเชื่อมอ้อมตัวตลอดปริมาตรของชิ้นงาน ไม่ใช่เป็นเพียงปริมาณความร้อนได้ระดับเฉพาะผิวหน้าชิ้นงานเท่านั้น
- ผู้ปฏิบัติงานเชื่อมต้องผ่านการรับรองคุณวุฒิระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งต้องกำหนดให้เหมาะสมกับระดับความสำคัญของงาน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามมาตรฐานกำหนด สำหรับในกรณีที่ผ่านการรับรองคุณวุฒิมาแล้ว ต้องพิจารณาอายุของใบรับรองคุณวุฒิด้วย
- ผู้ตรวจสอบงานเชื่อม ต้องติดตามการเชื่อมจากผู้ปฏิบัติงานเชื่อมอย่างใกล้ชิด ในกรณีที่ไม่มีมั่นใจในผลการเชื่อม หรือการปฏิบัติงานเชื่อมในตำแหน่งวิกฤต ต้องปรึกษาผู้ควบคุมการเชื่อม เพื่อทำการตรวจสอบ และรับรองคุณวุฒิของผู้ปฏิบัติงานเชื่อมใหม่ เพื่อให้ผลงานเชื่อมสมบูรณ์ตามเงื่อนไขกำหนด

- ผู้ตรวจสอบงานเชื่อมต้องกำหนดระดับอุณหภูมิระหว่างปฏิบัติการเชื่อมให้คงที่ และในกรณีที่ปรากฏลักษณะบกพร่องระหว่างงานเชื่อม ต้องได้รับการกำจัดลักษณะบกพร่องที่ตรวจพบออกเสียก่อน และก่อนที่จะเริ่มต้นปฏิบัติงานเชื่อมใหม่ ต้องรักษาอุณหภูมิระหว่างการเชื่อมให้เข้าสู่ระดับเดิม
- ตรวจสอบสภาพการทำความสะอาดงานเชื่อม ได้แก่ การเคาะ การเจียรระไน การตัดเซาะ ให้ถูกต้องตามที่มาตรฐานกำหนด

ในกรณีที่งานเชื่อมมีระดับความวิกฤตสูง เช่น งานถึงความดัน ในการซ่อมหรือแก้ไขต้องอาศัยเหตุผลและข้อยืนยันจากเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ผู้ตรวจสอบงานต้องสามารถยืนยันด้วยเอกสาร และข้อกำหนดว่าทำไมต้องมีการแก้ไขขอบเขตของงาน และมีวิธีการซ่อมหรือแก้ไข ซึ่งต้องบันทึกไว้ในแบบฟอร์มรายงานผล หรือสมุดบันทึกการตรวจสอบ
2. ในกรณีที่มีการอบเพื่อคลายความเครียด ผู้ตรวจสอบต้องกำหนดวิธีการอย่างเหมาะสม
3. ขั้นตอนสุดท้ายของการตรวจสอบการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน เนื่องจากความกดดันหรือความร้อนจากงานเชื่อม โดยต้องบันทึกผลไว้เป็นหลักฐาน

2.9.3 การตรวจสอบภายหลังการเชื่อม

การตรวจสอบเกี่ยวกับความผิดพลาดภายหลังการเชื่อม โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้นถูกต้องตามแบบงาน และข้อกำหนดซึ่งได้รับการคำนวณและออกแบบโดยเน้นที่จุดสำคัญคือ บริเวณงานเชื่อม ซึ่งมีจุดที่ควรพิจารณาหลักดังต่อไปนี้

- ได้แก่ส่วนนูนเสริมแรง ความยาวแนวเชื่อม และความยาวฐานแนวเชื่อม โดยการใช้เกจวัดงานเชื่อม ซึ่งมีให้เลือกใช้งานอยู่หลายรูปแบบตามความเหมาะสมกับลักษณะงานต่าง ๆ กัน
- ตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องของงานเชื่อมที่เกิดขึ้นทั้งบนผิวหน้า และภายในเนื้อโลหะเชื่อม โดยใช้วิธีการตรวจสอบต่าง ๆ ได้แก่ รอยแยกชั้นที่ขอบเขตชิ้นงานแผ่นแบน รอยตะเข็บและรอยเกยในโลหะชิ้นงาน นอกจากนี้ลักษณะที่ควรพิจารณาคือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน
- ลักษณะแนวซิมลิกด้านหลัง หมายถึงคุณภาพของการหลอมละลายของแนวซิมลิก เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพงานเชื่อม โดยเฉพาะงานเชื่อมต่อชน ต่อมุม และต่อฉาก
- ลักษณะบิดเบี้ยวของงาน เนื่องจากลักษณะบิดเบี้ยวของงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่า ผลิตภัณฑ์นั้นต้องได้รับการแก้ไข หรือปฏิเสธการใช้งาน เมื่อลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นเกินระดับการยอมรับตามมาตรฐานกำหนด ในที่นี้รวมทั้ง

ลักษณะข้อบกพร่องทางกล ได้แก่ ลักษณะการจับยึด หรือผลกระทบจากกระบวนการความร้อน

2.10 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมต่อ

ตามมาตรฐานของ SAME Section IX กำหนดขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบ หรือเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบแรงดึง ไว้ใน QW-153 Acceptance Criteria Tests ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดของแนวเชื่อมต้องไม่ต่ำกว่า

1. ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดของโลหะงาน (Base Metal) หรือ
2. ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดของโลหะที่มีความแข็งแรงต่ำกว่า กรณีเชื่อมต่อวัสดุต่างชนิดกันและวัสดุมีค่าความต้านทานแรงดึงต่างกัน หรือ
3. ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุดของเนื้อเชื่อม (Weld Metal) เมื่อกำหนดให้เนื้อเชื่อมมีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะงานเมื่อใช้งานต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง
4. ถ้าชิ้นทดสอบแตกในส่วนบริเวณเนื้อโลหะงานนอกบริเวณเนื้อเชื่อม หรือนอกผิวหน้าเชื่อมระหว่างเนื้อเชื่อมกับชิ้นงาน จะต้องมียุทธศาสตร์ความต้านทานแรงดึงไม่ต่ำกว่า 5% ของค่าความต้านทานแรงดึงปกติของเนื้อโลหะงาน
5. ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดของความหนาเต็มชิ้นทดสอบที่รวมความหนาเคลือบผิวอลูมิเนียมแล้ว สำหรับวัสดุ Alclad Materials (P-No.21 ถึง P-No-23) หนา 0.499 นิ้ว (12.5 มม.) และหนาน้อยกว่า วัสดุ Alclad Material ที่มีความหนา 1/2 นิ้ว (13 มม.) และมากกว่า ให้กำหนดค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดทั้งความหนาเต็มของชิ้นทดสอบ ที่รวมความหนาที่เคลือบผิวอลูมิเนียม และความหนาของโลหะที่ใช้เป็นแกนใน

2.11 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบการดัดองงานเชื่อม

งานเชื่อมต่อชน

ตามมาตรฐาน AWS D1.1 (AWS D1.1/D1.1 M2:2006, pp.124, 229) กำหนดให้การตรวจสอบผิวหน้าและด้านหลอมละลายลึกของแนวเชื่อมด้วยสายตา รูปร่างแนวเชื่อมต้องมีรูปร่างเหมือนกันตลอดแนว และสำหรับงานหนาน้อยกว่า 1 นิ้ว ต้องไม่พบจุดบกพร่องชนิดพอกเกย รอยแตกร้าว และไม่พบการกัดขอบของแนวเชื่อมที่ลึกเกินกว่า 1/32 นิ้ว (1 มม.) ยกเว้นในระยะความยาวรวม 2 นิ้ว ของทุกช่วงความยาวแนวเชื่อม 12 นิ้ว (300 มม.) ยอมให้เกิด Undercut ลึกได้ 1/16 นิ้ว (2 มม.) แต่สำหรับแนวเชื่อมที่มีความหนาเท่ากับหรือมากกว่า 1 นิ้ว ความลึกของการกัดขอบแนวเชื่อม (Undercut) ต้องไม่เกิด 1/16 นิ้ว (2 มม.) ในทุกของความยาวแนวเชื่อม ส่วนกรณีรอยต่อเชื่อมโครงสร้างที่สำคัญและแนวเชื่อมตัดขวางกับแนวแรงที่เกิดความเค้นดึง ความลึกของการกัดขอบแนวเชื่อมต้องไม่เกิน 0.01 นิ้ว (0.25

มม.) และกรณีรอยเชื่อมโครงสร้างอื่น ความลึกของการกัดของแนวเชื่อมต้องลึกไม่เกิน $1/32$ นิ้ว (1 มม.) และต้องปรากฏมีการหลอมละลายที่สมบูรณ์ระหว่างชั้นเชื่อมและระหว่างเนื้อเชื่อมโลหะกับชิ้นงาน ส่วนขอบเขตการยอมรับการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวกำหนดไว้ดังนี้

1. ก่อนการทดสอบด้วยสายตา ต้องตรวจสอบด้วยสายตาต้องไม่พบจุดบกพร่องใด ๆ ที่ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่ว่าทิศทางใดก็ตาม มีขนาดโตกว่า $3/8$ นิ้ว (10 มม.)
2. ผลรวมของจุดบกพร่องใด ๆ ที่มีขนาดโตกว่า $1/32$ นิ้ว (1 มม.) แต่ไม่เกิน $1/8$ นิ้ว เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกิน $3/8$ นิ้ว (10 มม.)
3. ผลการทดสอบรอยแตกที่เกิดขึ้นที่มุมขึ้นทดสอบต้องต้องมีขนาดสูงสุดไม่เกิน $1/4$ นิ้ว (6 มม.) ยกเว้นรอยแตกตามมุม เนื่องจากสแลกฝังใน หรือเกิดจากจุดบกพร่องอื่นใดที่มองเห็น และรอยแตกปริด้านนอกหลังจากทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวต้องมีขนาดสูงสุดไม่เกิน $1/8$ นิ้ว (3 มม.)
4. ชิ้นทดสอบหลังการตัดถ้ามีรอยแตกปริแตกตามมุมยาวเกินกว่า $1/4$ นิ้ว (6 มม.) แม้ไม่พบสแลกฝังในหรือพบจุดบกพร่องอื่นใด จะต้องยกเลิกและตัดชิ้นทดสอบใหม่จากงานเชื่อมชิ้นเดิมมาใช้ทดสอบแทน

งานเชื่อมต่อฉาก

1. ชิ้นงานทดสอบต้องถูกกดหักจนแบนราบทับตัวมันเอง
2. แนวเชื่อมฟิลเลต ถ้าแตกหัก ผิวรอยแตกจะต้องแสดงให้เห็นรากแนวเชื่อมของรอยต่อเชื่อมมีการหลอมละลายอย่างสมบูรณ์ ถ้าพบจุดบกพร่องชนิดสารฝังในใด ๆ และฟองอากาศ ขนาดใหญ่สุดที่ปรากฏต้องไม่เกิน $3/32$ นิ้ว (2.5 มม.)
3. ต้องไม่ปรากฏรอยแตกร้าวภายในเนื้อเชื่อมหรือบริเวณผลกระทบความร้อน และไม่พบโพรงอากาศแบบตัวหนอน (Pipe Porosity หรือ Worm Hole)
4. ผลรวมของจุดบกพร่องชนิดสารฝังในใด ๆ และรูพรุนของฟองอากาศขนาดโตสุดต้องไม่เกิน $3/8$ นิ้ว (10 มม.) ต่อช่วงความยาวชิ้นทดสอบ 6 นิ้ว (150 มม.)

2.12 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบการตีหัก

การทดสอบงานเชื่อมต่อชน

1. เมื่อตรวจสอบด้วยสายตาแล้วต้องปรากฏว่า ผิวรอยแตกหักจะต้องมีการหลอมละลายลึกตลอดด้านล่างของรอยต่อและมีการหลอมละลายรอยต่อระหว่างเนื้อเชื่อมกับเนื้อโลหะชิ้นงานที่สมบูรณ์
2. ขนาดใหญ่สุดของฟองอากาศหรือโพรงอากาศ จะต้องมีความใหญ่สุดไม่เกิน $1/16$ นิ้ว (1.6 มม.) และผลรวมของฟองอากาศที่พบทั้งหมดรวมกันแล้วต้องมีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 2 % ของพื้นที่หน้าตัดรอยหักของชิ้นงาน

3. ขนาดของสแลกและสารฝังใน จะมีขนาดเล็ก ไม่เกิน $1/32$ นิ้ว (0.8 มม.) และความยาว (Length) ไม่เกิน $1/8$ นิ้ว (3 มม.) หรือสแลกฝังในมีขนาดความยาวไม่เกินครึ่งหนึ่งของความหนาผนังท่อ แล้วแต่ค่าไหนต่ำกว่าก็ถือว่าเป็นเกณฑ์
4. บริเวณที่ถัดจากแนวที่เกิดสแลกฝังใน จะต้องมีความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมถัดออกมาไม่น้อยกว่า $1/2$ นิ้ว (13 มม.)

การทดสอบงานเชื่อมต่อฟิลเลต

1. รอยพิพาทแนวเชื่อมของชิ้นทดสอบจะต้องมีการหลอมละลายลึก และการหลอมละลายเข้าด้วยกันอย่างสมบูรณ์
2. ฟองอากาศหรือโพรงอากาศให้พิจารณาดังนี้
 - a. ฟองอากาศใหญ่สุดไม่เกิน $1/16$ นิ้ว (1.6 มม.)
 - b. ฟองอากาศทั้งหมดรวมกันต้องไม่เกินพื้นที่ 2 % ของรอยหักของชิ้นทดสอบ
3. สแลกฝังในต้องมีขนาดเล็กไม่เกิน $1/32$ นิ้ว (0.8 มม.) และความยาวไม่เกิน $1/8$ นิ้ว (3 มม.) หรือ สแลกฝังในมีขนาดความยาวไม่เกินครึ่งหนึ่งของความหนาผนังท่อแล้วแต่ค่าไหนต่ำกว่าก็ถือว่าเป็นเกณฑ์
4. บริเวณที่ถัดจากแนวที่เกิดสแลกฝังในจะต้องมีความสมบูรณ์แนวเชื่อมถัดออกมาไม่น้อยกว่า $1/2$ นิ้ว (13 มม.)

2.13 อันตรายที่เกิดจากการเชื่อมไฟฟ้าและวิธีป้องกัน

2.13.1 อันตรายที่เกิดจากการเชื่อมไฟฟ้า

การปฏิบัติงานเชื่อม จะมีความร้อนเกิดขึ้น อาจมีการกระเด็นของน้ำโลหะจากประกายอาร์กเชื่อม มีควันแก๊ส และอากาศเสีย ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติการเชื่อมได้ ซึ่งจากการประเมินอันตรายจากงานเชื่อม พบว่า มีอยู่ด้วยกัน 5 ประการ (ข้อมูลจากสถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน) คือ

1. แสงจ้าและรังสี งานเชื่อมทำให้เกิดแสงสว่างในปริมาณที่สูงมากพร้อมกับปล่อยรังสีอัลตราไวโอเลตออกมา ซึ่งเป็นอันตรายโดยตรงต่อนัยน์ตา โดยจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการมองเห็นได้ ทั้งแบบเฉียบพลัน และก่อให้เกิดโรคร้ายกับตา เช่น ต้อกระจกได้ในระยะยาว
2. ประกายไฟหรือสะเก็ดไฟที่เกิดขึ้นมาขณะทำการเชื่อม มีความร้อนสูงมาก สามารถทำให้เสื้อผ้าและผิวหนังไหม้ได้ ถ้าทำงานในที่อับ อีกทั้งบริเวณมีไอสารไวไฟแพร่กระจายอยู่จะทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรง
3. ไฟฟ้าลัดวงจร ในการเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้า หากสายไฟเกิดชำรุดจะทำให้เกิดกัลลวจรเป็นอันตรายร้ายแรงต่อผู้ปฏิบัติงานได้

4. สารเคมีในรูปของฟุ้ง (Fume) เป็นควันหรือไอสารที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างความร้อนกับสารเคมีที่อยู่ในหลอดเชื่อม เป็นมลพิษมีอันตรายต่อระบบหายใจทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง ระดับอันตรายจากฟุ้งจะมากหรือน้อยขึ้นกับตัวแปรต่อไปนี้

- วิธีการเชื่อม การเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าก่อให้เกิดฟุ้งในระดับอันตรายสูงสุด รองลงมาเป็นการเชื่อมด้วยก๊าซ การบัดกรี และการตัดด้วยก๊าซตามลำดับ

- ชนิดของโลหะที่ต้องการเชื่อม การเชื่อมจะทำให้โลหะหลอมเหลวซึ่งเป็นจุดกำเนิดฟุ้งของโลหะ โดยถ้าโลหะนั้นมีส่วนประกอบเป็นสารอันตราย เช่น แคดเมียม โครบอลต์ นิกเกิล ก็จะมีความเป็นพิษสูงกว่าโลหะที่มีเหล็กแมงกานีสเป็นองค์ประกอบ

- พื้นที่ผิวโลหะที่ต้องการเชื่อม การเชื่อมโลหะที่มีผิวเคลือบด้วยสีจะทำให้เกิดฟุ้งของโลหะที่ผสม อยู่ในสีนั้น เช่น ตะกั่วในสีเทา

- ชนิดของหลอดเชื่อม ชนิดของหลอดเชื่อมจะเป็นตัวชี้ว่าจะมีฟุ้งหรือก๊าซอันตรายชนิดใดในปริมาณเท่าใด ซึ่งเกิดขึ้นขณะทำงานเชื่อม ฉะนั้นควรสอบถาม ผู้ผลิต หรือผู้จำหน่าย ถึงรายละเอียดในส่วนนี้ก่อนซื้อ

- ก๊าซที่ใช้ในการเชื่อม ก๊าซที่ใช้ในการเชื่อมโดยทั่วไปจะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน อาร์กอน อะเซทิลีน ซึ่งไม่มีพิษภัยใด ๆ แต่ถ้าหากเป็นการเชื่อมในที่ อับอากาศ อาจก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ เพราะก๊าซเหล่านี้จะเข้าแทนที่ออกซิเจนทำให้เกิดสภาวะขาดอากาศหายใจ โดยเฉพาะถ้าเชื่อมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในที่อับอากาศ จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอน มอนอกไซด์ อันเป็นพิษต่อระบบหายใจอย่างร้ายแรง เมื่อร่างกายได้รับไอสารเคมีหรือฟุ้งของโลหะรวมไปถึงไอก๊าซต่าง ๆ ที่เป็นพิษ จะทำให้มีอาการหนาวสั่นคลื่นไส้ อาเจียน ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ คอแห้ง ปวดศีรษะ โดยอาการเหล่านี้ จะเกิดขึ้นหลังรับสารไปแล้วประมาณ 3 - 6 ชั่วโมง แต่จะดีขึ้นภายใน 24 - 36 ชั่วโมง และหากสัมผัสไอสารซ้ำอีก ก็จะมีอาการในวงจรเช่นเดิม

4. ความเมื่อยล้า งานเชื่อมมักจะอยู่ในอิริยาบถเดียวเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดความเมื่อยล้า ยิ่งถ้า อยู่ในท่าทางที่ไม่ถูกต้อง เช่น นั่งยอง ๆ กับพื้น หรือ ก้มหลัง จะส่งผลเสียในระบบการเคลื่อนไหวในระยะยาวได้

2.13.2 การป้องกันอันตรายจากการเชื่อม

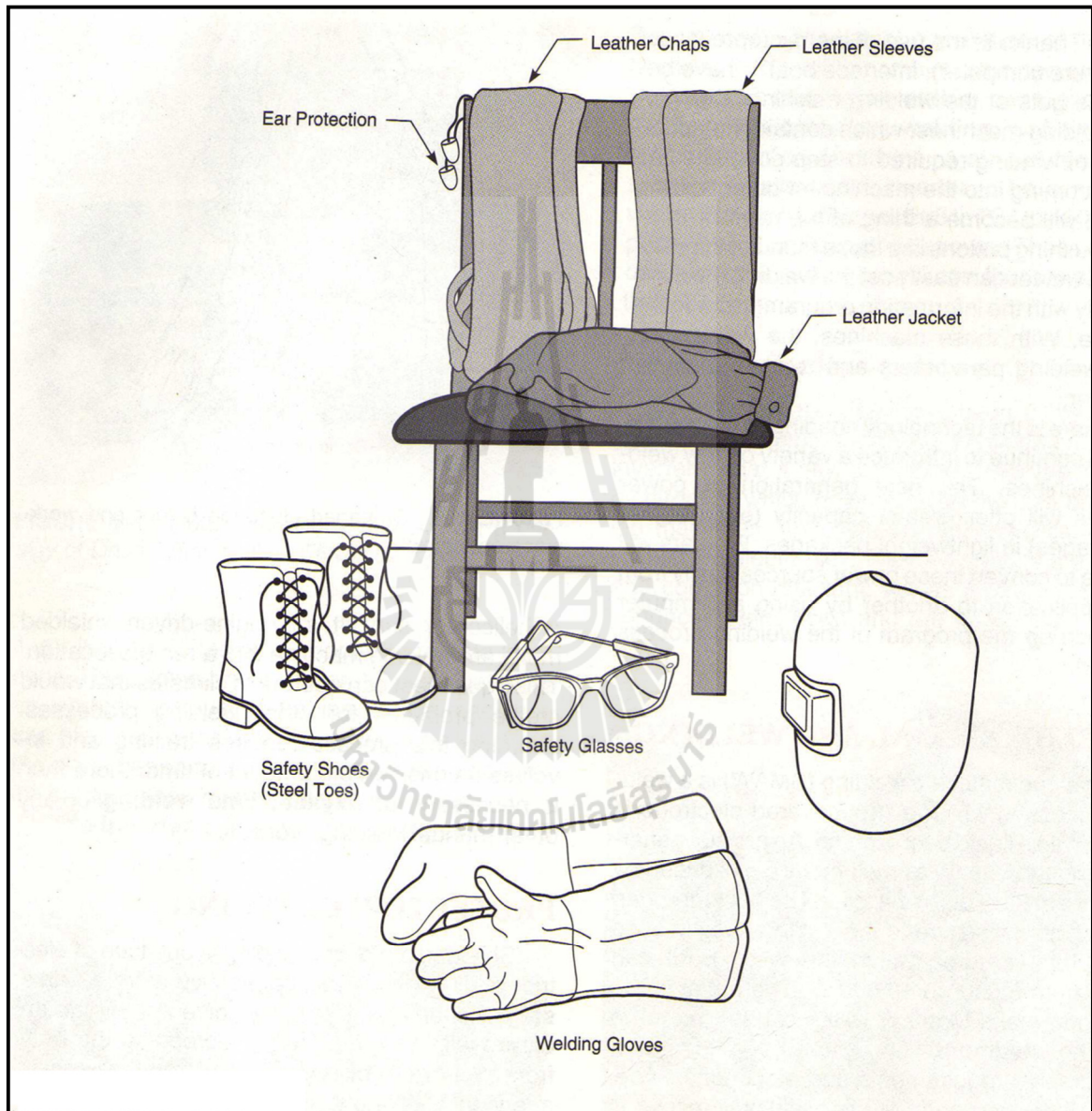
1. สำหรับการป้องกันอันตรายในการปฏิบัติการเชื่อม ในเบื้องต้น ผู้ปฏิบัติการเชื่อมต้องสวมเครื่องแต่งกายเพื่อป้องกันความร้อน และการกระเด็นของน้ำโลหะ ได้แก่ เสื้อแขนยาว กางเกงขาวยาว แวนนิรภัย หรือหน้ากากเชื่อม ถุงมือหนัง รองเท้าหนัง ดังแสดงในรูปที่ 2.19

2. ตรวจสอบความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์เชื่อมทุกครั้งก่อนการปฏิบัติงาน โดยสิ่งที่ต้องดูแลเป็นพิเศษ คือ ชุดสายไฟและขั้วไฟฟ้า

3. จัดสภาพงานเพื่อจัดความเมื่อยล้า เช่น ยกระดับงานที่จะเชื่อมให้สูงขึ้นเพื่อที่จะไม่ต้องก้มหลังหรือนั่งยอง ๆ

4. แยกหรือกั้นจุดทำงานเชื่อมออกจากงานอื่น โดยเฉพาะงานที่มีการใช้สารล้าंगไขมัน เช่น เมทิลคลอโรฟอร์ม ไม่ควรอยู่รวมในห้องเดียวกับงานเชื่อม เพราะอาจทำให้เกิดก๊าซฟอสจีน ที่มีอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพ

5. จัดทำระบบระบายอากาศทั่วไปในโรงงานและติดตั้งระบบระบายเฉพาะที่ (Local Ventilation) ณ จุดที่ทำการเชื่อม



รูปที่ 2.19 เครื่องแต่งกายเพื่อป้องกันอันตรายจากการเชื่อม (Mile Gellerman, 1994)

บทที่ 3

วัสดุและวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เหล็กแผ่น
2. ลวดเชื่อม
3. เครื่องกลึงโลหะ
4. เครื่องตัดโลหะ
5. เครื่อง CNC
6. เครื่องทดสอบแรงดึง
7. เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสง
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

3.2.1 การค้นคว้าและศึกษางานที่เกี่ยวข้อง การค้นคว้าและศึกษา วารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องการเชื่อมไฟฟ้าด้วยมือ

3.2.2 สํารวจโครงการก่อสร้างที่มีการดำเนินงานในเขตจังหวัดนครราชสีมา โดยคัดเลือกเข้าร่วมโครงการวิจัยการทดสอบฝีมือของช่างเชื่อม อย่างน้อยจำนวน 15 แห่ง โดยการทดสอบช่างเชื่อมที่ปฏิบัติงานจริงในโครงการก่อสร้าง

3.2.3 การออกแบบและจัดทำข้อกำหนดสำหรับการทดสอบ และประเมินฝีมือช่างเชื่อม

3.2.4 กำหนดขนาดชิ้นงานสำหรับการทดสอบฝีมือช่างเชื่อม

3.2.5 ดำเนินการทดสอบฝีมือของช่างเชื่อมในงานด้านวิศวกรรมโยธา ในเขตจังหวัดนครราชสีมา ตามข้อกำหนดมาตรฐานกระบวนการเชื่อมของช่างเชื่อมตามที่ได้กำหนดไว้

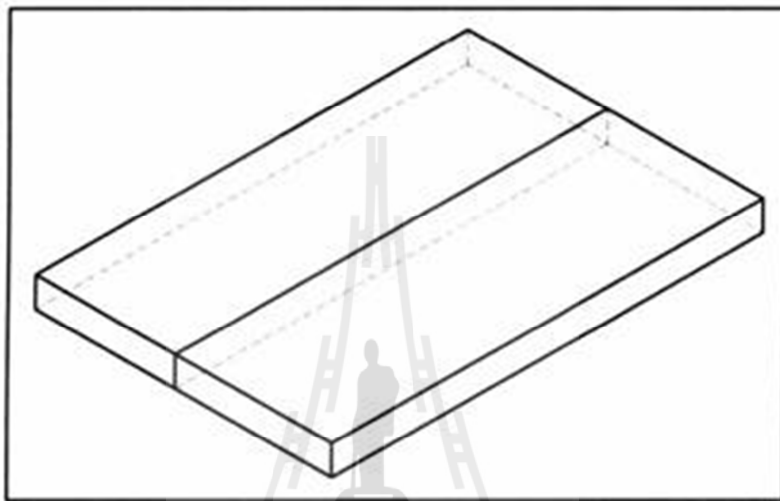
3.2.6 การประเมินมาตรฐานการเชื่อม โดยมีการวิเคราะห์จากความพร้อมของอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับการเชื่อมและอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยของช่างเชื่อม พร้อมทั้งทดสอบคุณภาพของงานเชื่อม

3.2.7 การสรุปและวิเคราะห์ผล

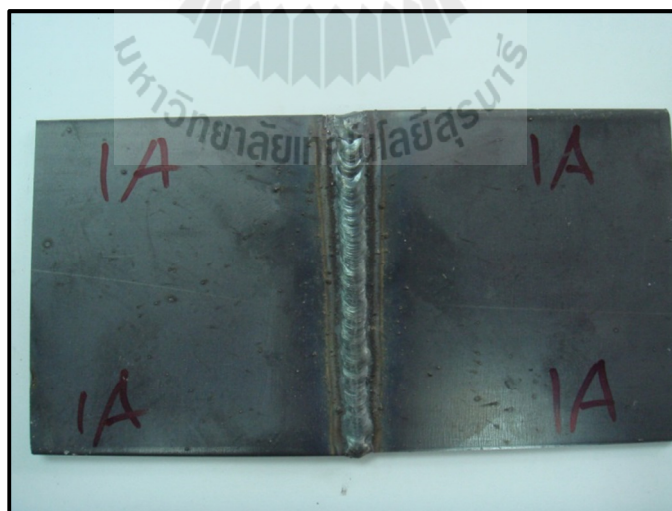
3.2.7 การเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

3.3 การทดสอบช่างเชื่อมที่ปฏิบัติงานจริงในโครงการก่อสร้าง

ทดสอบฝีมือช่างเชื่อม ด้วยการเชื่อมประสานเหล็กสองแผ่น ที่มีความหนา 0.25 มิลลิเมตร ขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร โดยใช้รอยต่อในงานเชื่อมชนิด รอยต่อชน (Butt Joint) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างชิ้นงานเชื่อมในรูปที่ 3.2 และทำการเชื่อมในตำแหน่ง ทำราบการเชื่อม ทำราบ (Flat Position Welding) การเชื่อมทำขนานนอน (Horizontal Position Welding) และการเชื่อมทำเหนือศีรษะ (Overhead Position Welding) ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 รอยต่อเชื่อมชนิด รอยต่อชน(Butt Joint)



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานเชื่อม



รูปที่ 3.3 การทดสอบช่างเชื่อมในตำแหน่งท่าราบ



รูปที่ 3.4 การทดสอบช่างเชื่อมในตำแหน่งทำขนานนอน (Horizontal Position Welding)



รูปที่ 3.5 การทดสอบช่างเชื่อมในตำแหน่งทำเหนือศีรษะ (Overhead Position Welding)

3.4 การประเมินช่างเชื่อม

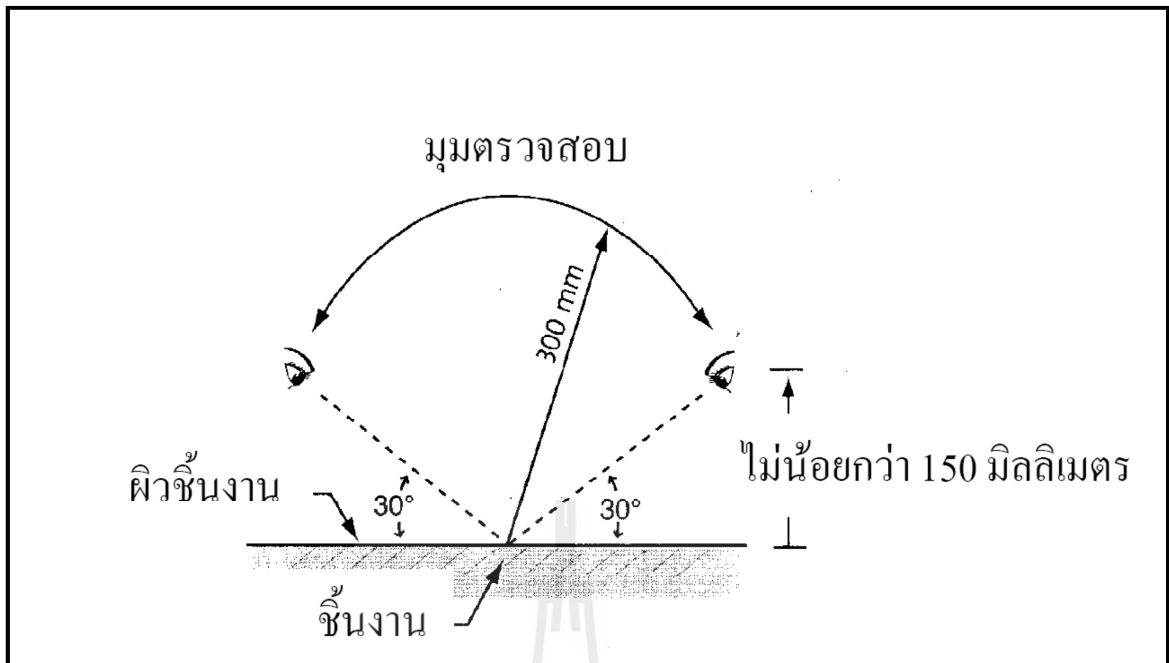
การประเมินช่างเชื่อมจะพิจารณา 3 องค์ประกอบหลัก คือ การแต่งกายของช่างเชื่อม การตรวจสอบชิ้นงานเชื่อมด้วยสายตา การตรวจสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.4.1 การแต่งกายและอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากการเชื่อม ชุดแต่งกายของช่างเชื่อมประกอบไปด้วย ค่ายถุงมือหนัง รองเท้าต้องมีคุณสมบัติการเป็นฉนวน มีสภาพมั่นคง เสื้อหนัง ปกอกแขน หน้ากากเชื่อม เข็มกันไฟ

3.4.2 การตรวจสอบชิ้นงานเชื่อมด้วยสายตา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบหาร่องรอยที่ผิวหน้า และด้านหลังของรอยเชื่อมที่อยู่ในบริเวณรอยเชื่อม และบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง และตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของรอยเชื่อม ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบดังนี้

1. ทำความสะอาดรอยเชื่อมและบริเวณใกล้เคียงอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร โดยบริเวณที่ทำ การตรวจสอบจะต้องแห้ง ปราศจากสิ่งสกปรก จารบี น้ำมัน คราบสเกล สลักเชื่อม เม็ดโลหะกระเด็น สี หรือสิ่งอื่น ๆ ที่ไม่พึงประสงค์ ที่อาจปกปิดรอยบกพร่องได้

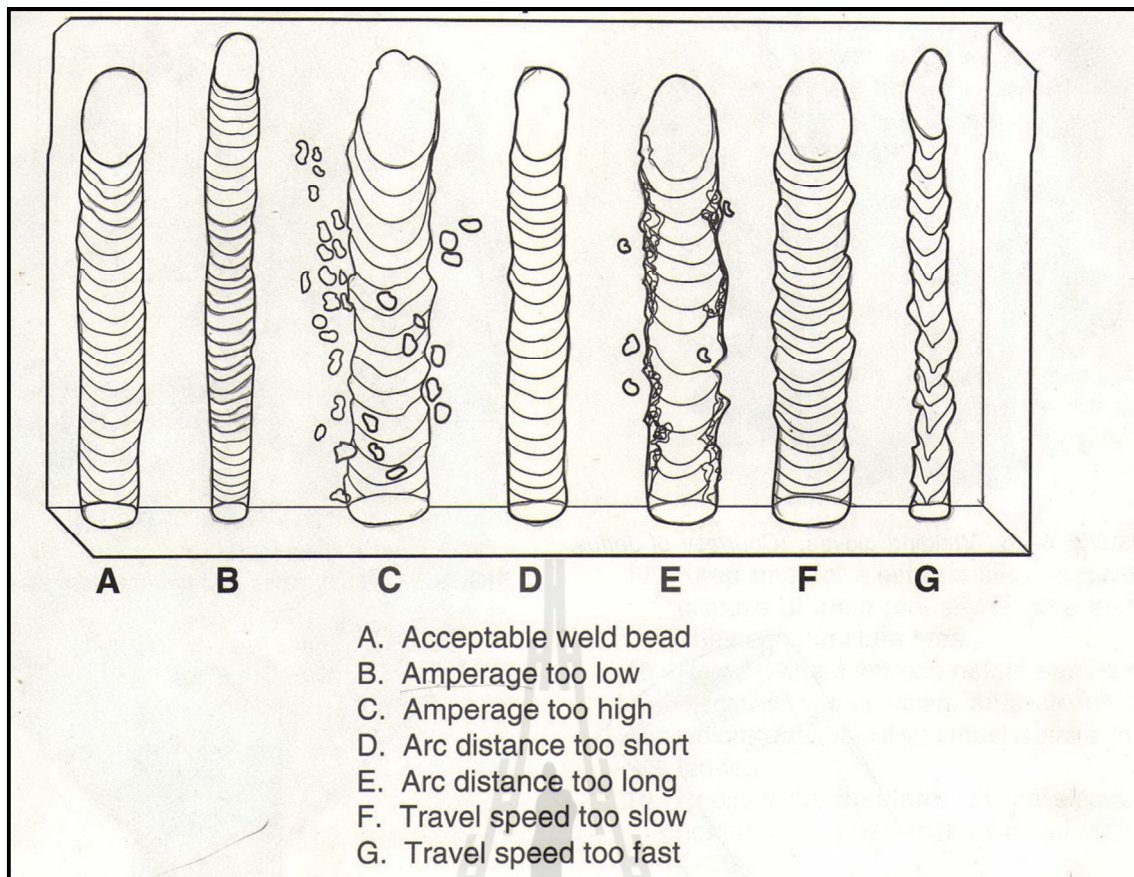
2. ตรวจสอบด้วยสายตาห่างจากผิวชิ้นงาน ไม่เกิน 300 มิลลิเมตร และมุมมองไม่น้อยกว่า 30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยอาจจะใช้แว่นขยาย ช่วยในการตรวจสอบ



รูปที่ 3.6 ระยะห่างและมุมตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจ (BSEN970:1997)

3. ตรวจสอบด้วยสายตาภายในบริเวณที่มีแสงสว่าง
4. ระบุลักษณะของแนวเชื่อม โดยจำแนกเป็น A) แนวเชื่อมดี B) ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ C) ใช้กระแสไฟฟ้าสูง D) ระยะอาร์กสั้น E) ระยะอาร์กยาว F) เชื่อมช้า และ G) เชื่อมเร็ว ดังแสดงลักษณะของแนวเชื่อมในรูปที่ 3.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.7 จำแนกลักษณะของรอยเชื่อม (Mike Gellerman, 1994)

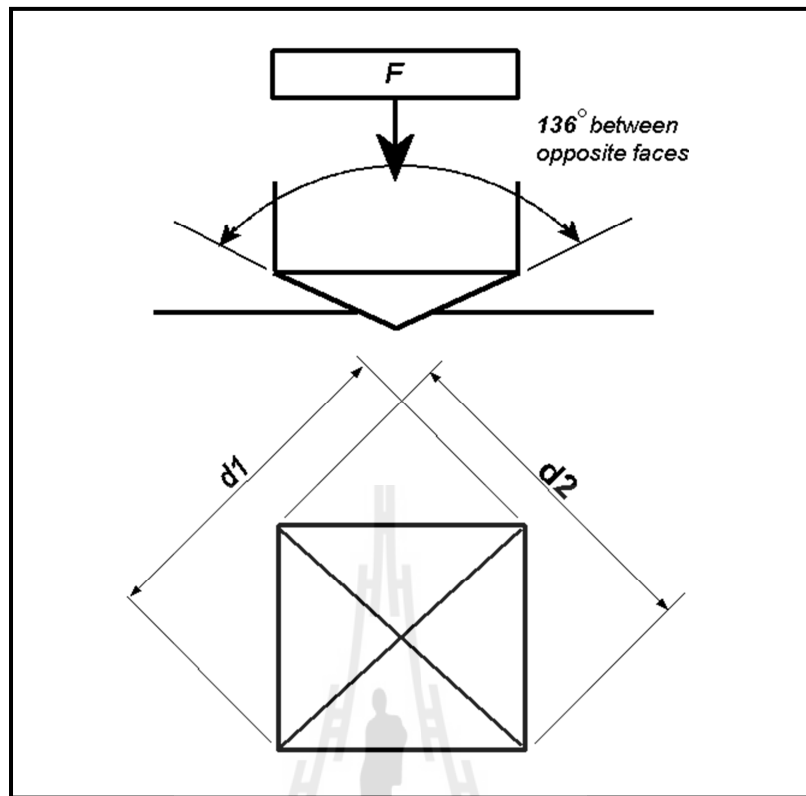
3.5 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล

การตรวจสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเชื่อม ด้วยการทดสอบความแข็ง ทดสอบแรงดึง และตรวจสอบพื้นผิวการแตกหักภายหลังจากการทดสอบแรงดึง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบสมบัติความแข็งสามารถทำได้ง่ายกว่าการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ และเป็นวิธีควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรม สำหรับการวิจัยนี้ทดสอบความแข็งของชิ้นงานเชื่อม ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบความแข็งที่มาตรฐานและรอยกดจะมีขนาดเล็ก เหมาะสำหรับการใช้วัดความแข็งของวัสดุหรือโลหะที่มีขนาดเล็ก และมีความความหนาไม่มากนัก นอกจากนี้ หัวกดเป็นเพชรมีความแข็งสูงมาก สามารถใช้วัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมาก (ประมาณ 5 HV) จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ (ประมาณ 1500 HV) โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด

การทดสอบความแข็งวิกเกอร์นี้ ใช้หัวกดทดสอบทำด้วยเพชรรูปประมิตฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสมุมที่ยอด 136 องศา (Diamond pyramid with a square base and an angle of 136) ซึ่งจะคำนวณความแข็งจากขนาดรอยกดที่เกิดขึ้น ตามสมการที่ 3.1-3.3



รูปที่ 3.8 ลักษณะหัวกดของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์
(สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย – ญี่ปุ่น (<http://www.tpa.or.th>))

$$HV = \frac{P}{\text{Area}} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad 3.1$$

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad 3.2$$

$$HV = \frac{1.854P}{d^2} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad 3.3$$

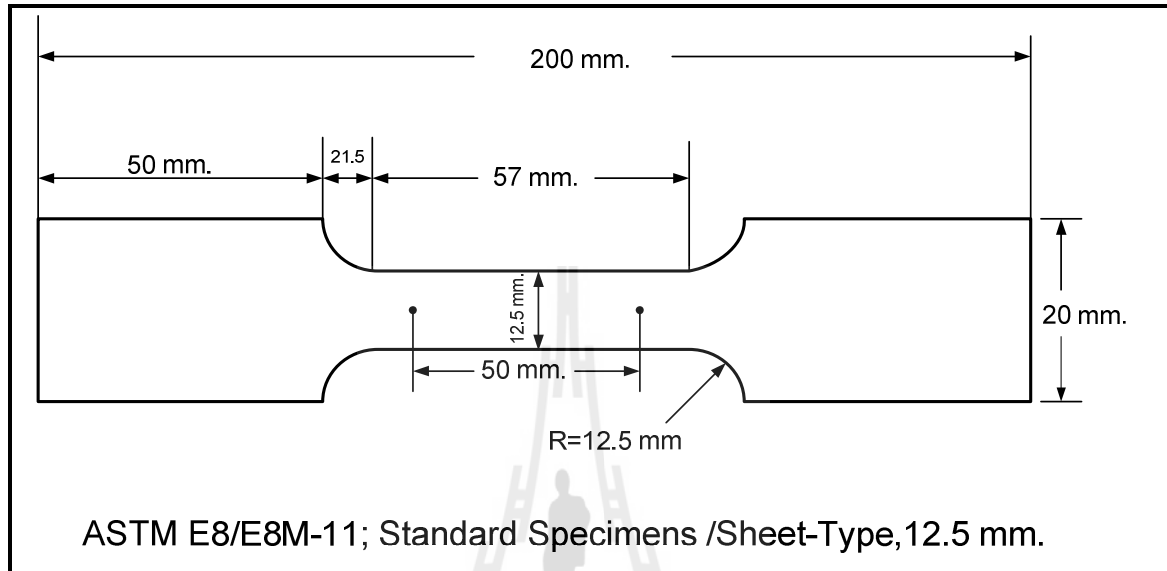
โดยที่ HV หมายถึง ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์

P หมายถึง แรงที่ใช้กด

d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความยาวของเส้นทแยงมุม $d = \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)$

3.5.2 การทดสอบแรงดึง

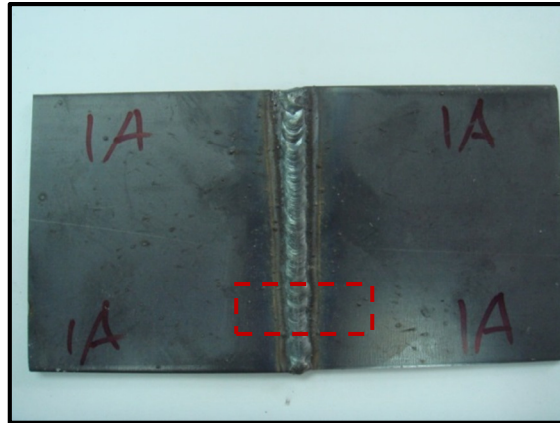
การตรวจสอบสมบัติแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ขนาด 100 กิโลนิวตัน และใช้ขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-11 แสดงดังรูปที่ 3.9 โดยใช้ความเร็วในการดึงทดสอบ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.9 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

3.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

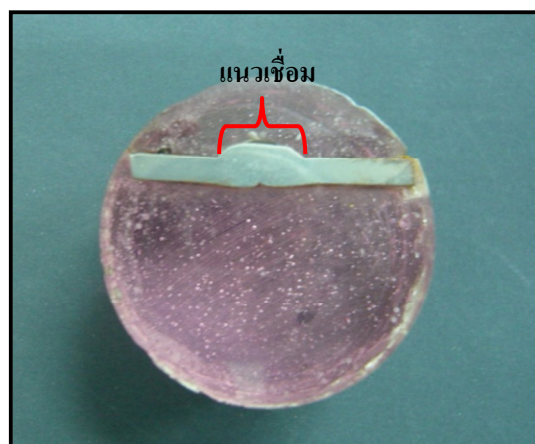
การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงยี่ห้อ Carl Zeiss โดยตัดชิ้นงานเชื่อมส่วนหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในมุมมองด้านบน (Top View) และตามภาคตัดขวาง (Cross Section) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ ส่วนขั้นตอนการการเตรียมผิวชิ้นงาน เริ่มจากการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100 180 400 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินาอ็อกไซด์ 9 ไมโครเมตร 3 ไมโครเมตร และ 1 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ด้วยกำลังขยาย 5 เท่า 10 เท่า 20 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ส่วนของชิ้นงานเชื่อมที่นำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในมุมมองด้านบน (Top View)



รูปที่ 3.12 ชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตามภาคตัดขวาง (Cross Section)

3.7 การถ่ายภาพพื้นผิวการแตกหักเนื่องจากการทดสอบแรงดึง

การถ่ายภาพพื้นผิวการแตกหักจากการทดสอบแรงดึง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6010LV ซึ่งใช้ความต่างศักย์ 200 กิโล โวลต์ และถ่ายภาพที่กำลังขยาย 20 เท่า 10 เท่า 100 เท่า และ 500 เท่า บนพื้นผิวการแตกหักของชิ้นงาน

3.8 การวัดขนาดของรอยเชื่อม

การวัดขนาดความกว้างของรอยเชื่อมโดยใช้เวอร์เนียร์ และทำการวัดความสูงของรอยเชื่อมด้วย เครื่องมือวัดรอยเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ก และ ข ตามลำดับ โดยทำการวัด ความกว้าง และความสูง จำนวน 5 ตำแหน่ง และนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.13 การวัดขนาดรอยเชื่อม

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ลักษณะงานเชื่อมด้านวิศวกรรมโยธา

การเชื่อมเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการก่อสร้างอาคาร เพื่อใช้ในการประกอบเหล็กโครงสร้างให้ติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.3 การเชื่อมเป็นวิธีการที่สำคัญสำหรับงานสร้าง ซึ่งปัจจุบันถ้าไม่มีวิธีการเชื่อมแล้ว อาจทำงานได้ไม่สะดวกหรือทำไม่ได้ สำหรับการเชื่อมในงานก่อสร้างโดยส่วนใหญ่ จะใช้การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) ซึ่งเป็นวิธีการเชื่อมแบบดั้งเดิม และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งเป็นวิธีการเชื่อมที่ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการหลอมละลาย โดยจะต้องรักษาระยะระหว่างลวดเชื่อม และชิ้นงานให้พอเหมาะ เพื่อให้เกิดการอาร์กที่สมบูรณ์ ในขณะที่เชื่อมเนื้อลวดจะถูกหลอมละลายลงไปเติมแนวเชื่อม เพื่อเกิดการประสานกันของเนื้อโลหะส่วนฟลักซ์ที่หุ้มอยู่ด้านนอกของลวด จะทำหน้าที่เป็นควันปกคลุมแนวเชื่อมไม่ให้มีอากาศจากภายนอกเข้าไป ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งของการเชื่อม คือการใช้ลวดเชื่อม ที่ตรงกับชนิดของชิ้นงานที่จะเชื่อมเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่แข็งแรงสมบูรณ์

ลักษณะงานเชื่อมด้านวิศวกรรมโยธารวมขนาดกลางและขนาดเล็กในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา โดยส่วนใหญ่จะเป็นงาน โครงสร้างหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และงานต่อเติมอาคารในส่วนของกันสาด ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.1 ลักษณะงานเชื่อมโครงหลังคา



รูปที่ 4.2 ลักษณะรอยต่อชิ้นงานเชื่อมเหล็กโครงสร้าง



รูปที่ 4.3 การเชื่อมต่อเหล็กหน้างาน



รูปที่ 4.4 งานโครงสร้างหลังคา



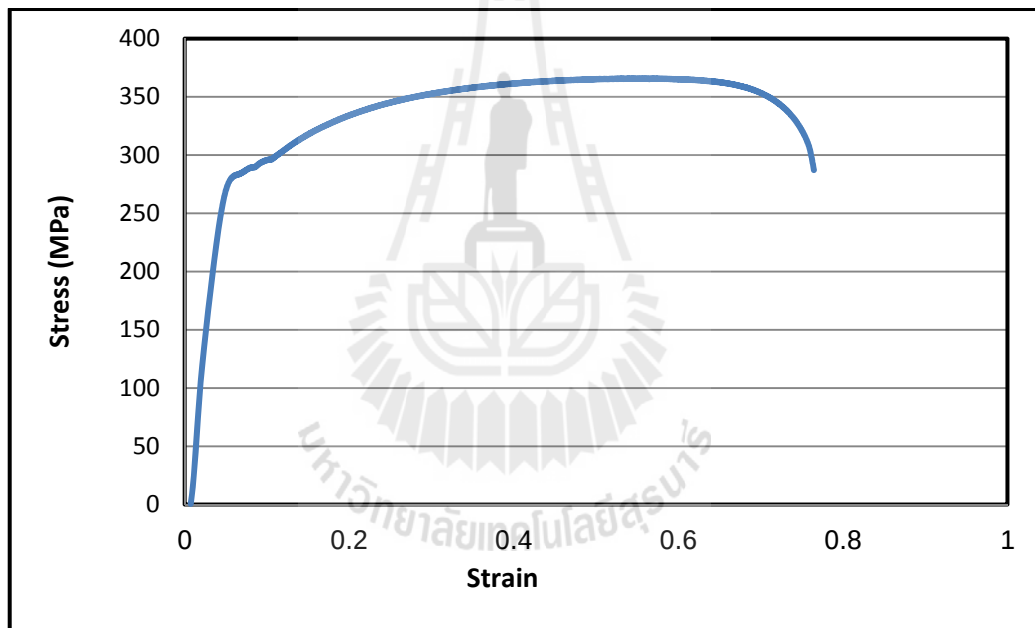
รูปที่ 4.4 งานต่อเติมอาคารเพื่อทำกันสาด

4.2 สมบัติของเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ

เหล็กที่ใช้ทดสอบการเชื่อมในการวิจัยนี้ เป็นเหล็กคาร์บอนต่ำ มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากการตรวจสอบสมบัติเชิงกล พบว่ามีค่าความแข็งเฉลี่ย 116 HV และมีความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Stress; UTS) เฉลี่ย 366 เมกะปาสคาล โดยมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปภายใต้แรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กที่ใช้ทดสอบการเชื่อม

Low Alloy Steel									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Other	Fe
0.0523	0.0072	0.22	0.0088	0.0145	0.0344	0.0019	0.0172	0.1437	99.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กคาร์บอนต่ำที่ใช้ในการวิจัย

4.3 การสำรวจลักษณะการแต่งกายของช่างเชื่อมขณะปฏิบัติงาน

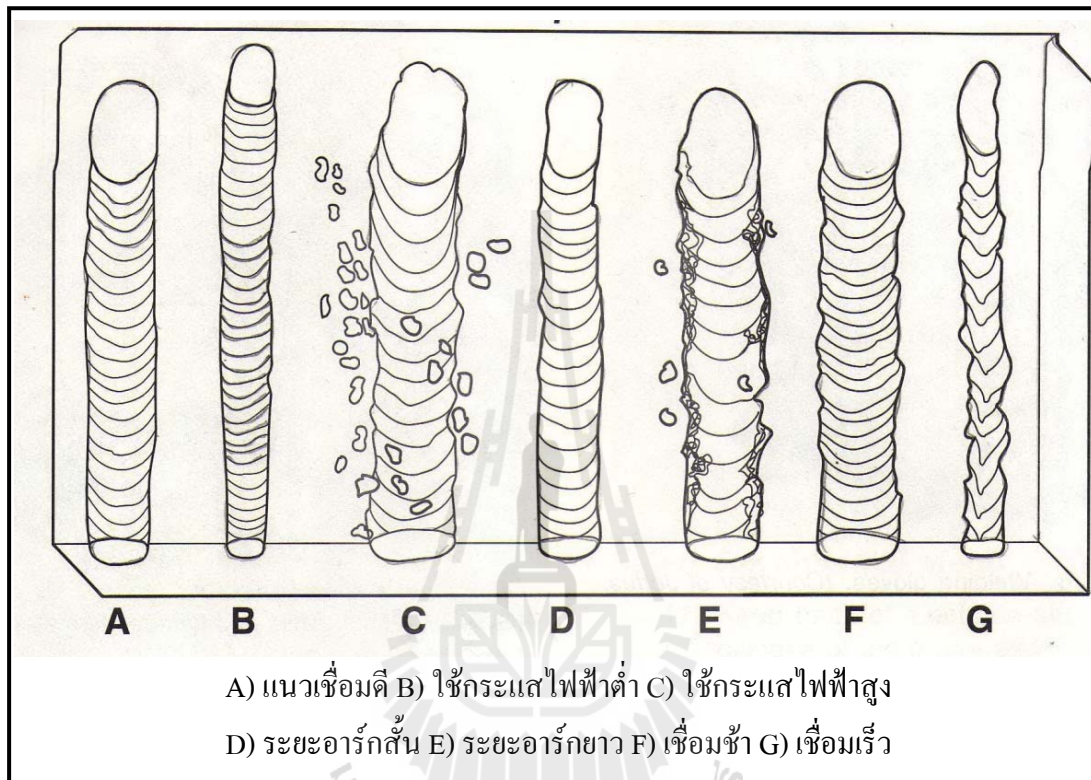
ลักษณะการแต่งกาย และการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของช่างเชื่อม ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จำนวนของช่างเชื่อม จำแนกตามลักษณะการแต่งกาย และการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากการเชื่อม

ลำดับที่	ลักษณะการแต่งกายของช่างเชื่อม และการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากการเชื่อม	เครื่องแต่งกายที่ควรมีสำหรับป้องกันอันตรายจากการเชื่อม	จำนวนช่างเชื่อมที่สวมเครื่องแต่งกาย (คน)
1	การสวมกางเกง		
1.1	กางเกงยีนขาวหรือผ้าหนา ๆ	เหมาะสม	12
1.2	กางเกงขาว (ไม่ใช่ผ้ายีน)	พอใช้	5
1.3	กางเกงขาสั้น	ไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง	2
2	การสวมเสื้อ		
2.1	สวมเสื้อแขนยาวและมีเอี๊ยมหนัง	เหมาะสม	0
2.2	เสื้อแขนยาว	พอใช้	11
2.3	เสื้อแขนสั้น	ไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง	8
3	การสวมอุปกรณ์ป้องกันดวงตา		
3.1	แว่นนิรภัย	เหมาะสม	0
3.2	หน้ากากเชื่อม	เหมาะสม	6
3.3	แว่นกันแดด	ไม่เหมาะสม	12
3.4	ไม่สวมอุปกรณ์ป้องกันดวงตา	ไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง	1
4	การสวมถุงมือ		
4.1	ถุงมือหนัง	เหมาะสม	9
4.2	ถุงมือผ้า	ไม่เหมาะสม	1
4.3	ไม่สวมถุงมือ	ไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง	9
5	การสวมรองเท้า		
5.1	รองเท้าหนัง	เหมาะสม	3
5.2	รองเท้าผ้าใบ	พอใช้	10
5.3	ไม่สวมรองเท้าหุ้มส้น	ไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง	6
หมายเหตุ จำนวนช่างเชื่อมที่ สวมกางเกงขาว เสื้อแขนยาว สวมรองเท้าหุ้มส้น และใช้หน้ากากขณะเชื่อม			4

4.4 การประเมินงานเชื่อมด้วยสายตา

การประเมินรอยเชื่อมด้วยสายตา โดยการระบุลักษณะของแนวเชื่อมตามปัญหาที่พบในแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งจำแนกลักษณะของแนวเชื่อม ดังนี้ A) แนวเชื่อมดี B) ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ C) ใช้กระแสไฟฟ้าสูง D) ระยะอาร์กสั้น E) ระยะอาร์กยาว F) เชื่อมช้า และ G) เชื่อมเร็ว ซึ่งได้สรุปผลการระบุลักษณะของแนวเชื่อมในตารางที่ 4.2

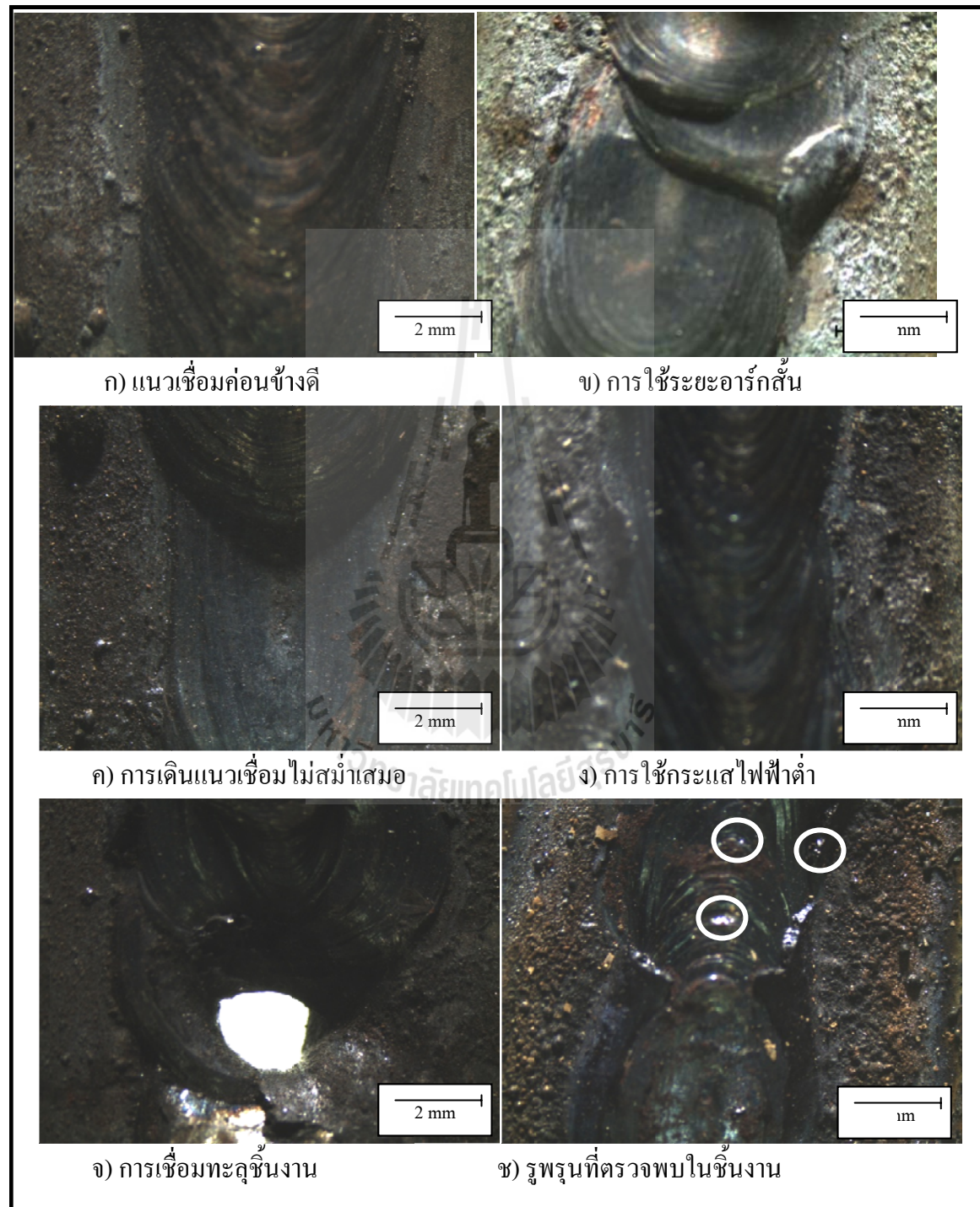


รูปที่ 4.6 จำแนกรอยเชื่อมตามลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อม

ตารางที่ 4.3 จำนวนชิ้นงานเชื่อมจำแนกตามลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อม

ตำแหน่งท่าเชื่อม	จำนวนชิ้นงานเชื่อมจำแนกตามลักษณะชิ้นงานเชื่อม							รวมจำนวนชิ้นงาน
	แนวเชื่อมดี	กระแสไฟฟ้าต่ำ	กระแสไฟฟ้าสูง	ระยะอาร์กสั้น	ระยะอาร์กยาว	เชื่อมช้า	เชื่อมเร็ว	
ท่าราบ	1	9	1	1	0	2	5	19
ท่าขนานนอน	0	2	0	6	3	1	7	19
ท่าเหนือศีรษะ	0	1	0	2	2	0	14	19
รวมจำนวนชิ้นงาน	1	12	1	9	5	3	26	57

จากผลการประเมินรอยเชื่อมด้วยสายตา ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า ชิ้นงานเชื่อมเกือบทั้งหมด ไม่ผ่านการตรวจสอบด้วยสายตา โดยมีแนวเชื่อมที่มีลักษณะค่อนข้างดี เพียง 1 ตัวอย่าง ในการทดสอบการเชื่อมในท่าราบ จากตัวอย่างทั้งหมด 57 ชิ้น โดยตัวอย่างลักษณะของแนวเชื่อมที่เชื่อมโดยช่างเชื่อมในจังหวัดนครราชสีมา แสดงในรูปที่ 4.7



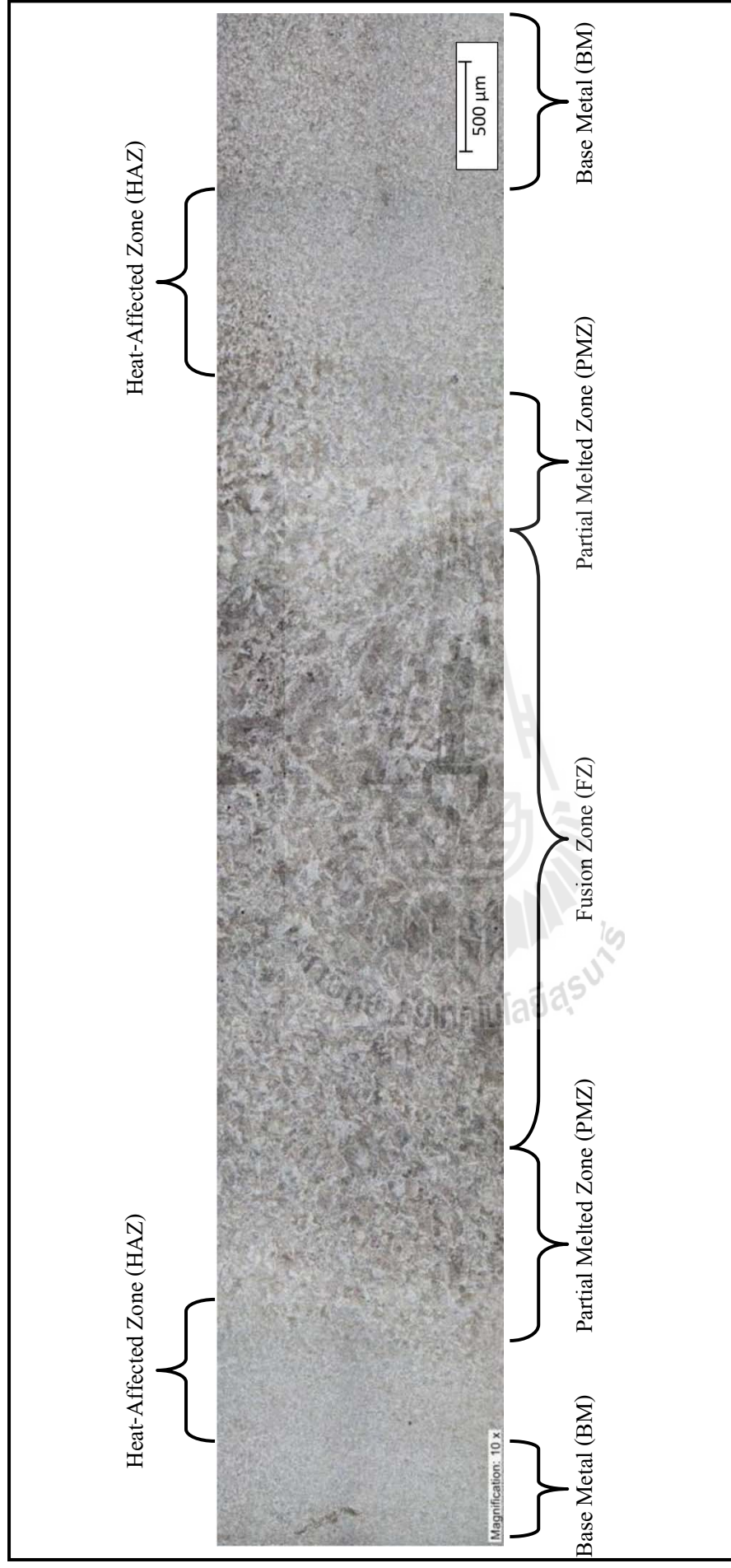
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างแนวเชื่อมลักษณะต่าง ๆ

4.5 โครงสร้างทางจุลภาค

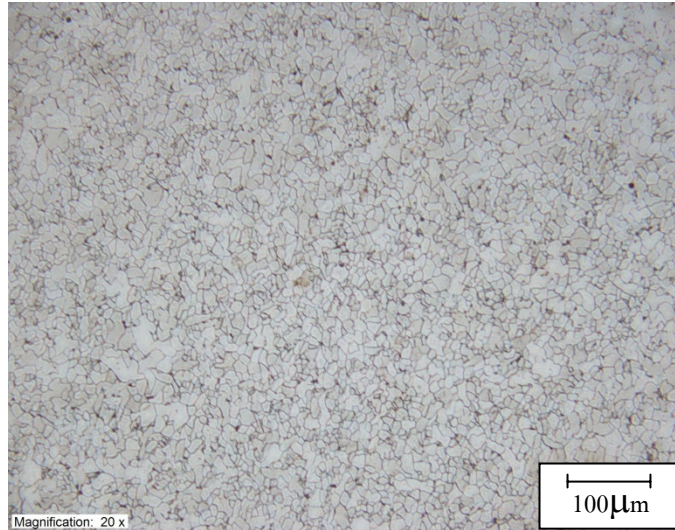
โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.8-4.13 โดยรูปที่ 4.8-4.9 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคในมุมมองด้านบนของชิ้นงาน (Top View) และส่วนขยายของภาพ ส่วนรูปที่ 4.10-7.13 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่ถ่ายตามภาคตัดขวาง (Cross Section) ของชิ้นงาน และส่วนขยายของภาพ จากการตรวจสอบภาพถ่ายของรอยเชื่อมชิ้นงานซึ่งเป็นเหล็กผสมคาร์บอน ($C=0.0523\%$) โครงสร้างจุลภาคของประกอบด้วยสี่ส่วน คือ ส่วนที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone; FZ) ส่วนที่เกิดการหลอมละลายบางส่วน (Partial Melted Zone; PMZ) ส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat-Affected Zone; HAZ) และโลหะ (Base Metal; BM)

จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค จะพบเกรน 2 ลักษณะด้วยกันคือ เกรนที่มีลักษณะค่อนข้างกลม (Globular Grain) และเกรนที่มีรูปร่างเข็มแหลม (Acicular Grain) สำหรับเกรนของเหล็ก (Base Metal; BM) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ก) และ 4.11 ก) จะมีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีขนาดเล็กละเอียด ซึ่งจากการคำนวณหา ASTM Grain Size Number และขนาดของเกรน ตามมาตรฐาน ASTM Standard E112 พบว่าเกรนของเหล็กในส่วน Base Metal มี Grain Size Number 9.76 มีขนาดเกรนเฉลี่ย 11.96 ไมโครเมตร สำหรับลักษณะของเกรนของรอยเชื่อมบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ข) และ 4.11 ข) จะมีรูปร่างของเกรนค่อนข้างกลมเช่นเดียวกันกับ Base Metal แต่เกรนจะมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งมี Grain Size Number 8.32 มีขนาดเกรนเฉลี่ย 17.92 ไมโครเมตร

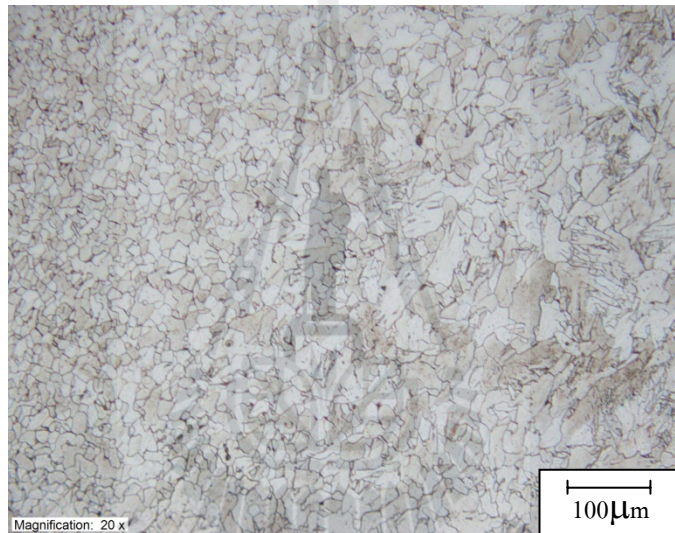
ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ค), 4.12 และ 4.13 จะมีรูปร่างเป็นเข็มแหลม (Acicular Grain) สำหรับลักษณะโครงสร้างจุลภาคของส่วนที่เกิดการหลอมละลายบางส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ค) และ 4.13 จะพบเกรนที่รูปร่างทั้งที่เป็น Globular Grain และ Acicular Grain อยู่ร่วมกัน สำหรับรูปร่างของเกรนที่แตกต่างกันของรอยเชื่อมจะทำให้สมบัติทางกลแต่ละตำแหน่งในชิ้นงานเชื่อมมีความแตกต่างกัน



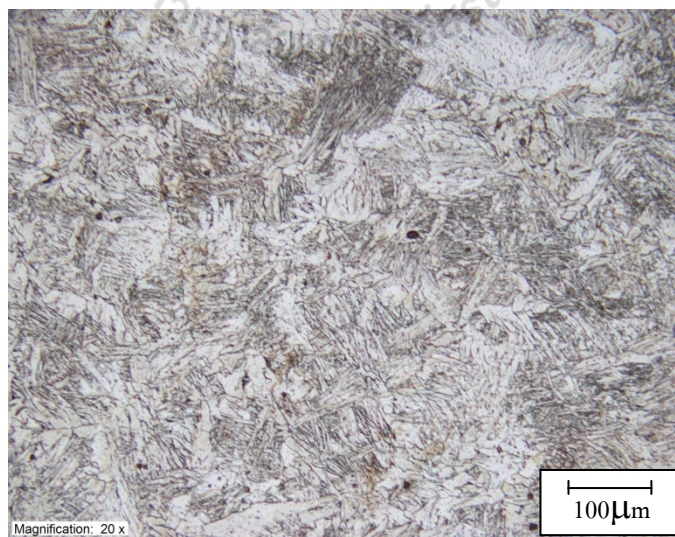
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม ภาพถ่ายมุมมองด้านบน (Top View)



ก) ขยายภาพที่ 4.8 ส่วนพื้นโลหะ (Base Metal)

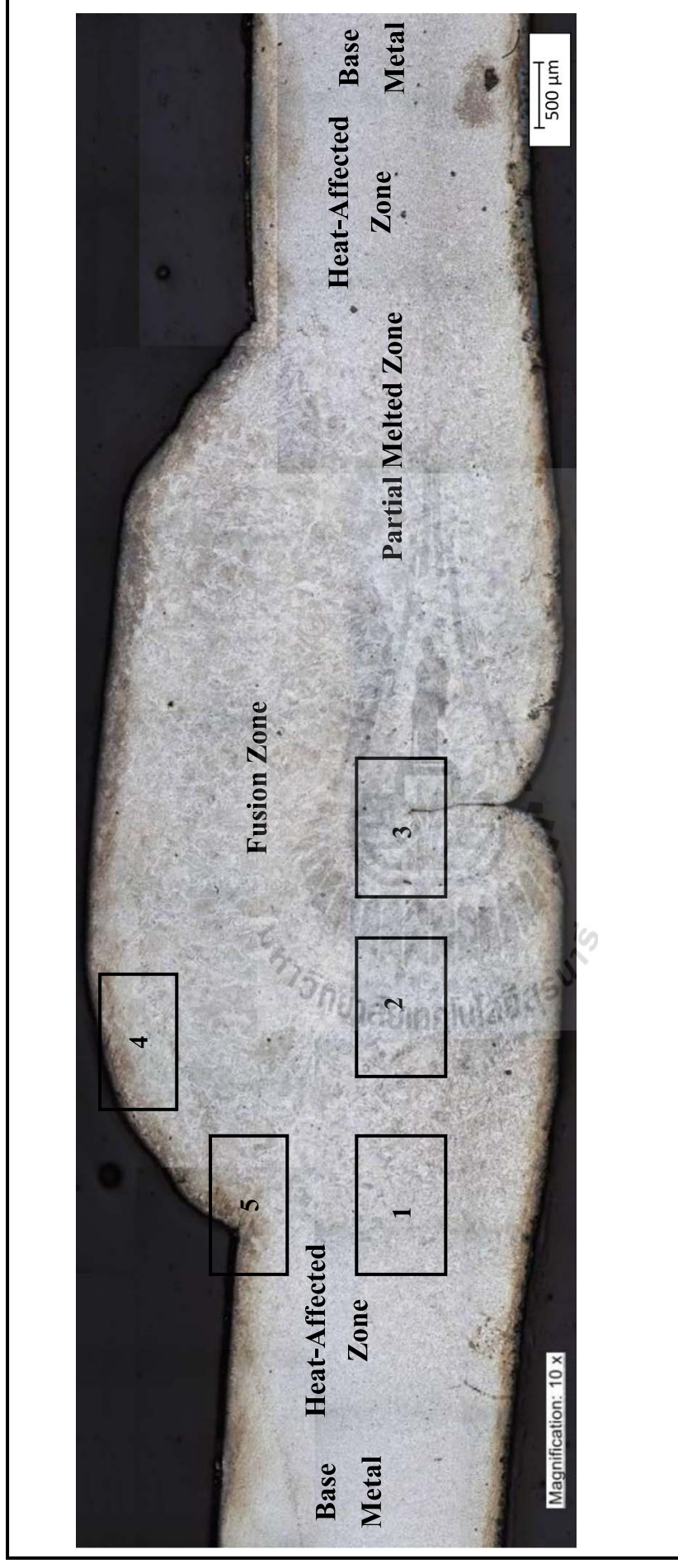


ข) ขยายภาพที่ 4.8 ส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat-Affected Zone)

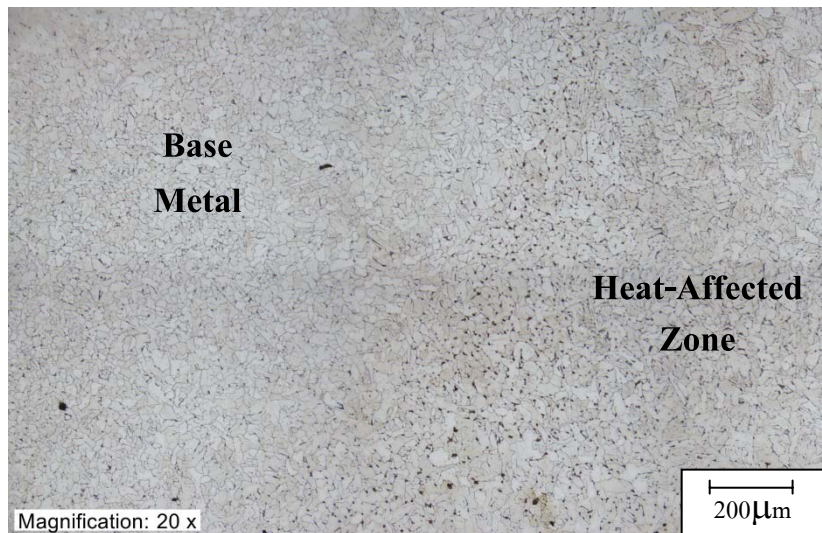


ค) ขยายภาพที่ 4.8 ส่วนที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone)

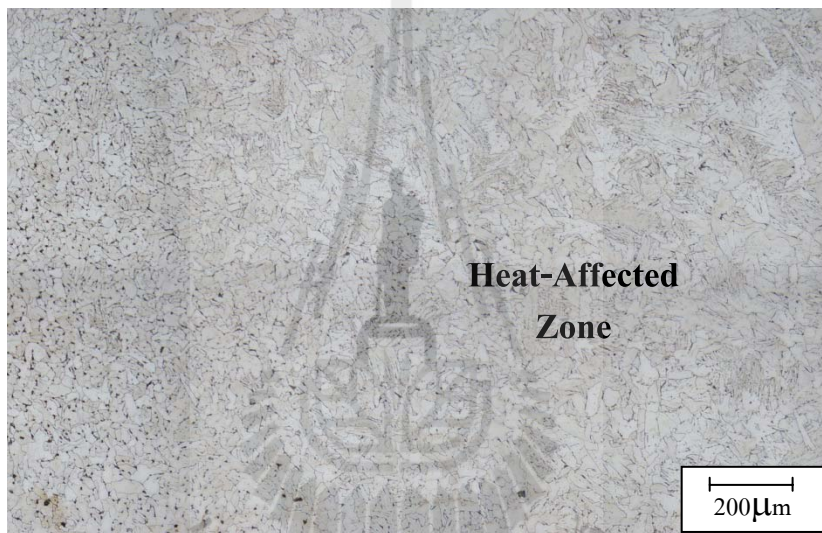
รูปที่ 4.9 ส่วนขยายภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ภาพถ่ายตามยาว



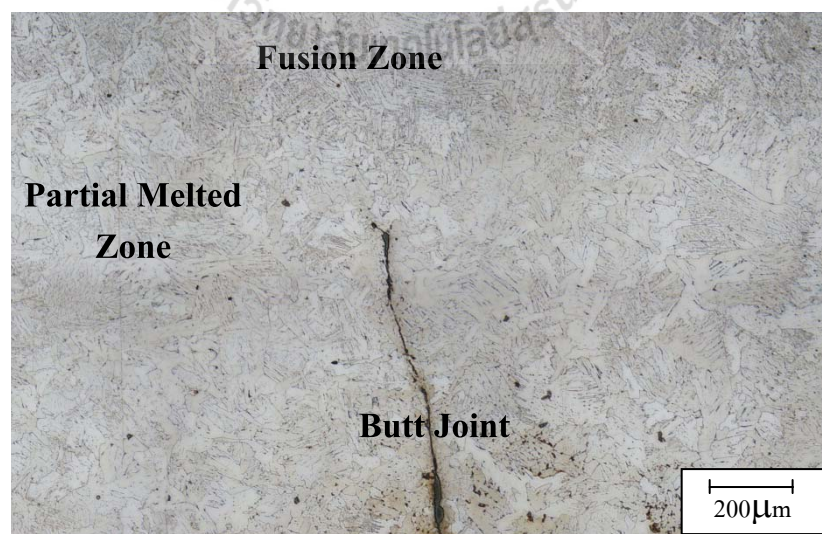
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม ภาพถ่ายภาคตัดขวาง (Cross section)



ก) ขยายภาพที่ 4.10 ส่วนที่ 1



ข) ขยายภาพที่ 4.10 ส่วนที่ 2

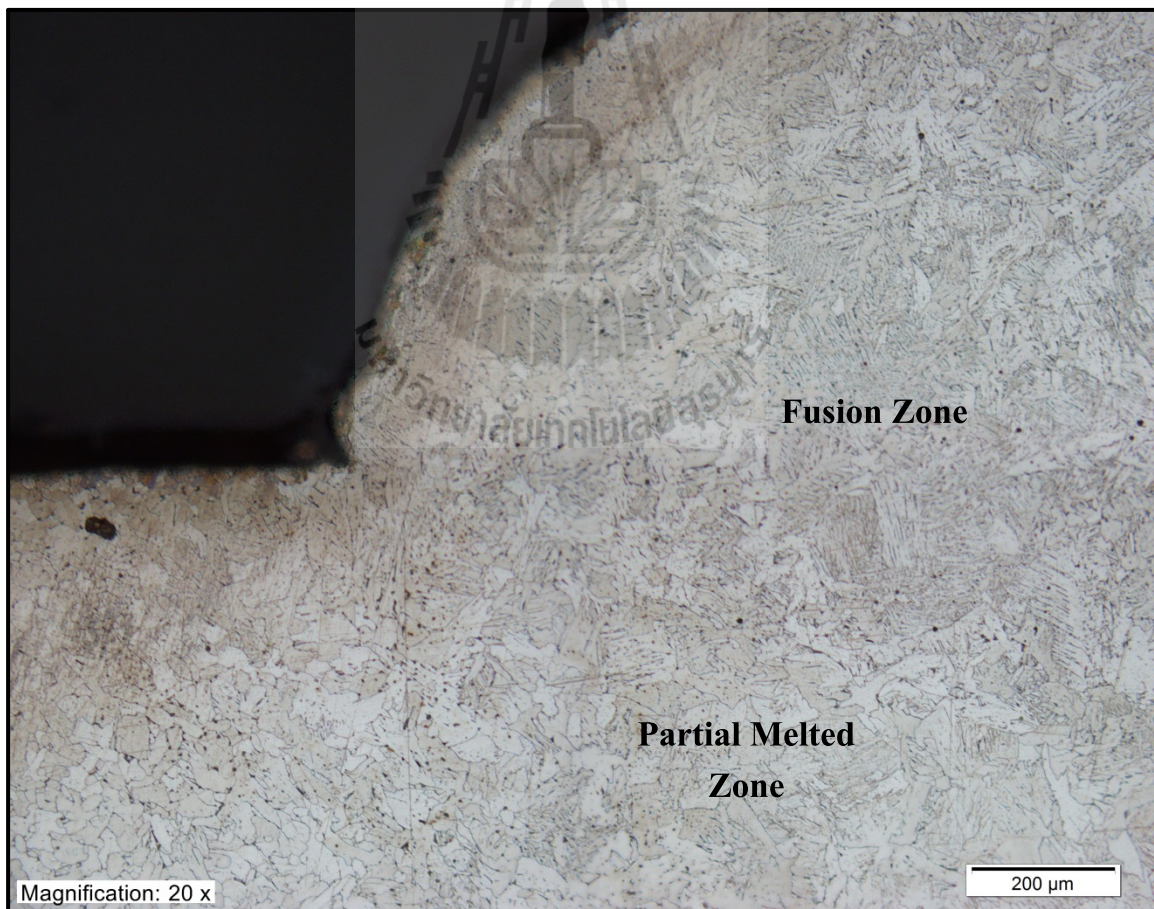


ค) ขยายภาพที่ 4.10 ส่วนที่ 3

รูปที่ 4.11 ส่วนขยายภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ถ่ายตามภาคตัดขวาง



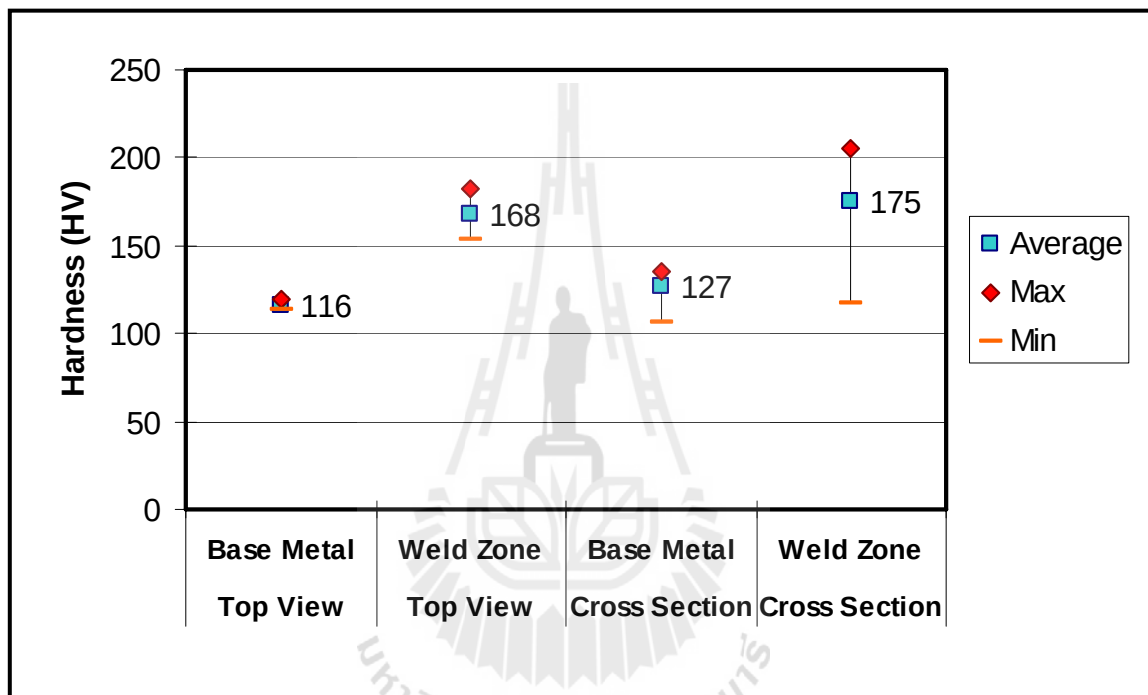
รูปที่ 4.12 ขยายภาพที่ 4.10 ส่วนที่ 4



รูปที่ 4.13 ขยายภาพที่ 4.10 ส่วนที่ 5

4.6 ผลการทดสอบความแข็ง

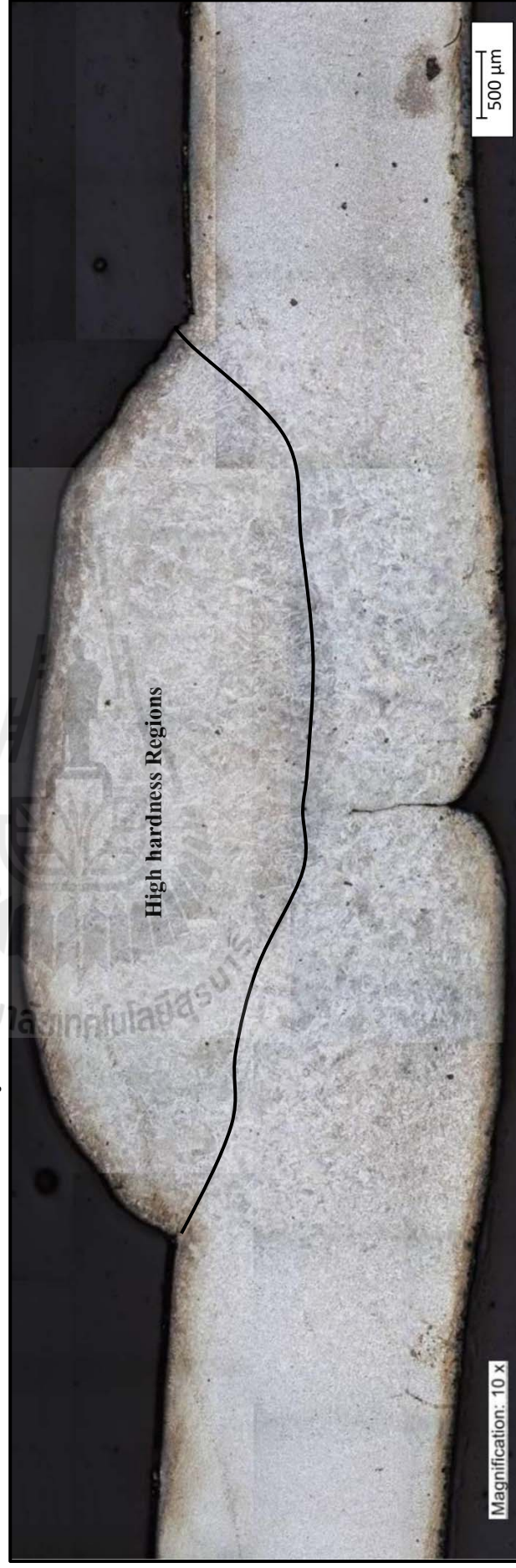
การทดสอบสมบัติความแข็งของชิ้นงานเชื่อม ด้วยการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ โดยทดสอบความแข็งตามตำแหน่งของชิ้นงานเชื่อม จากด้านบนของแนวเชื่อม และภาคตัดขวางของแนวเชื่อม แสดงผลการทดสอบความแข็งในรูปที่ 4.14 ซึ่งจากการตรวจสอบสมบัติความแข็งพบว่ามีความแตกต่างตามตำแหน่ง โดย บริเวณ Fusion Zone หรือส่วนที่เกิดการหลอมละลาย จะมีความแข็งสูงกว่า Base Metal และ Heat Affected Zone ทั้งนี้ได้แสดงบริเวณที่มีความแข็งสูงในชิ้นงานเชื่อม ในรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานเชื่อม



รูปที่ 4.15 ความแข็งที่ต่างตามตำแหน่งในชิ้นงานเชื่อม (Top View)

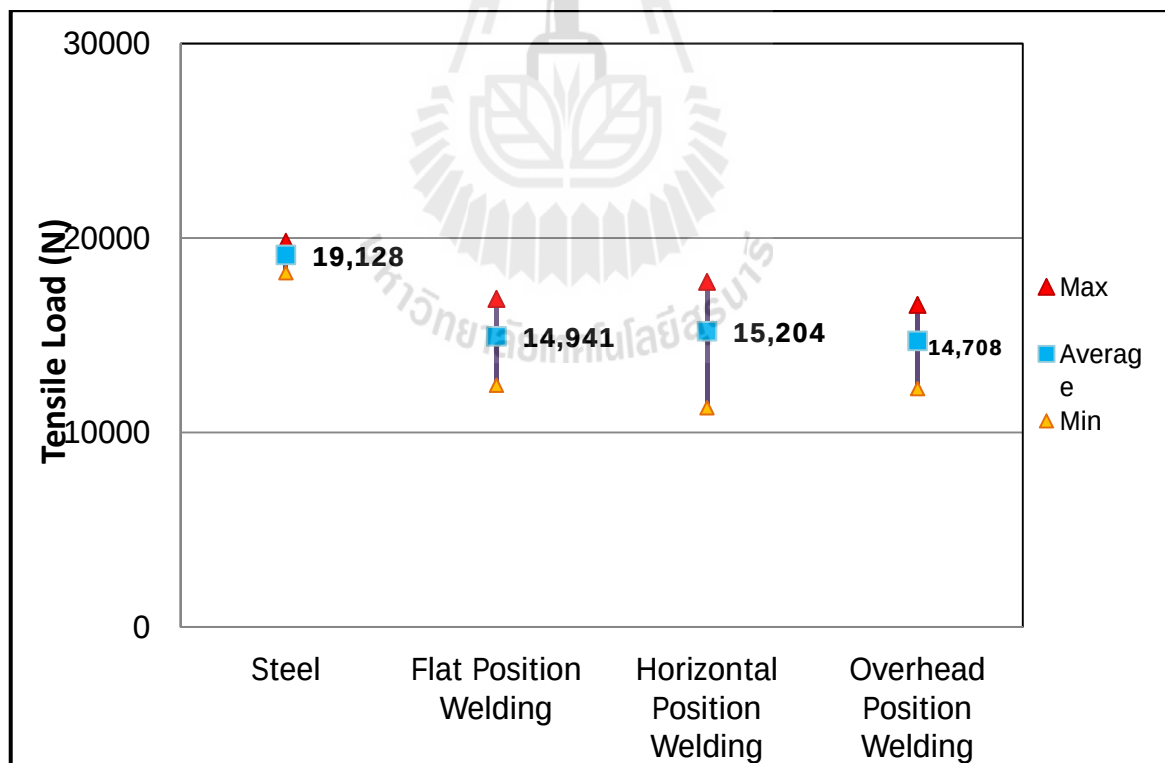


รูปที่ 4.16 ความแข็งที่ต่างตามตำแหน่งในชิ้นงานเชื่อม (Cross Section)

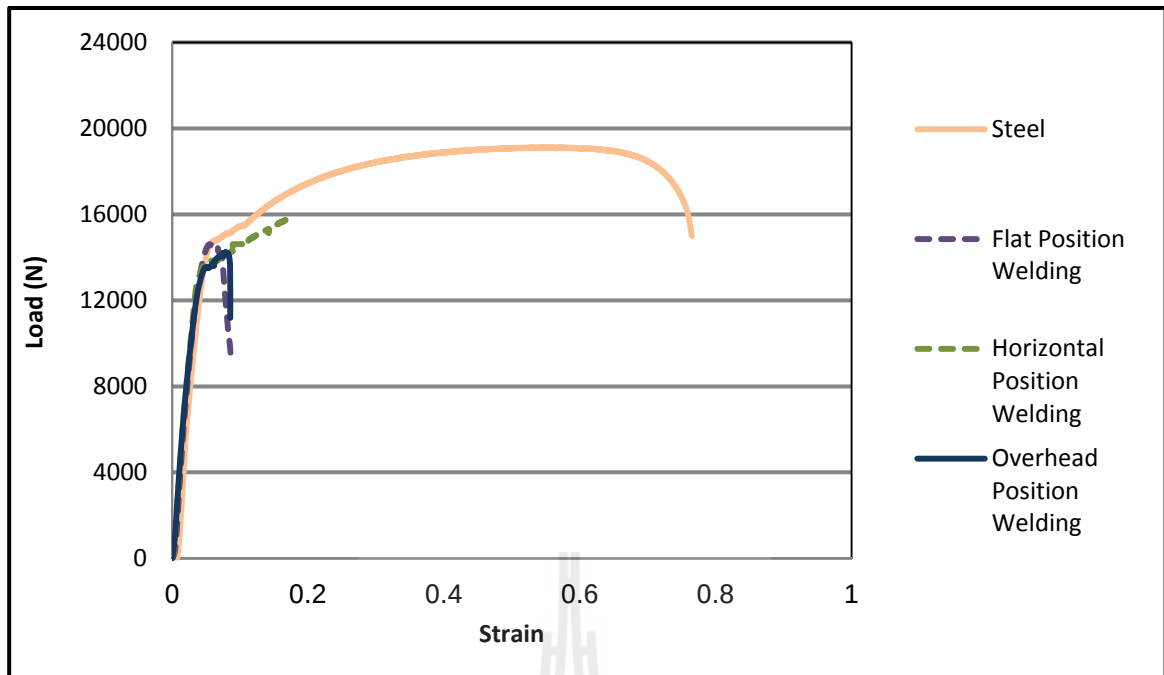
4.7 ผลการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเชื่อม จะนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงสูงสุดสุดของเหล็กที่ใช้ทดสอบงานเชื่อม ซึ่งมีขนาดกว้าง 20 มิลลิเมตรหนา 2.6 มิลลิเมตร ที่มีค่าแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย 19,128 นิวตัน หรือ มีค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Stress; UTS) 366 เมกาปาสคาล พบว่า ชิ้นงานเชื่อมมีค่าแรงดึงสูงสุดต่ำกว่าเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.17 โดยพบว่าชิ้นงานในท่าขนาน มีค่าแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย แตกต่างจากน้อยที่สุด คือ มีค่าแรงดึง 15,204 นิวตัน และชิ้นงานเชื่อมในท่าเหนือศีรษะมีค่าแรงดึงสูงสุดแตกต่างจากชิ้นงานเหล็กมากที่สุดคือ 14,708 นิวตัน สำหรับผลการประเมินเพื่อยอมรับชิ้นงาน พบว่า ค่าแรงดึงของชิ้นงานเชื่อม ต่ำกว่าเหล็ก ร้อยละ 9.27-41.01 ซึ่งค่าดังกล่าว มีความแตกต่างเกินกว่าที่เกณฑ์กำหนดไว้คือ ต้องต่ำกว่าค่าแรงดึงของเหล็กไม่เกินร้อยละ 5

นอกจากนี้ การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปภายใต้แรงดึงของชิ้นงานเชื่อม จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 4.18 พบว่าชิ้นงานเชื่อมเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) น้อยกว่าชิ้นงานเหล็ก ซึ่งจะสังเกตได้จากการตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานเชื่อมภายหลังจากการทดสอบแรงดึง ของเหล็ก และชิ้นงานเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 ค่าแรงดึงสูงสุดของแผ่นเหล็ก และชิ้นงานเชื่อมในท่าราบ ท่าขนานนอน และท่าเหนือศีรษะ



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงกับความเครียดของเหล็กและชิ้นงานเชื่อม

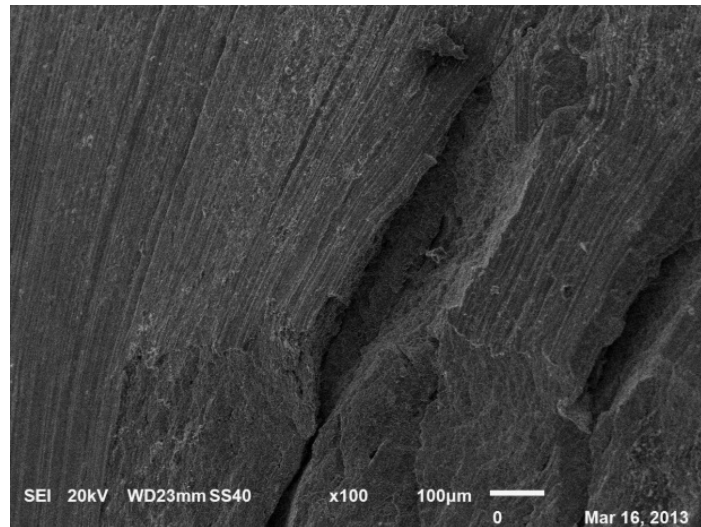


รูปที่ 4.19 ลักษณะของชิ้นงานเหล็กภายหลังการทดสอบแรงดึง

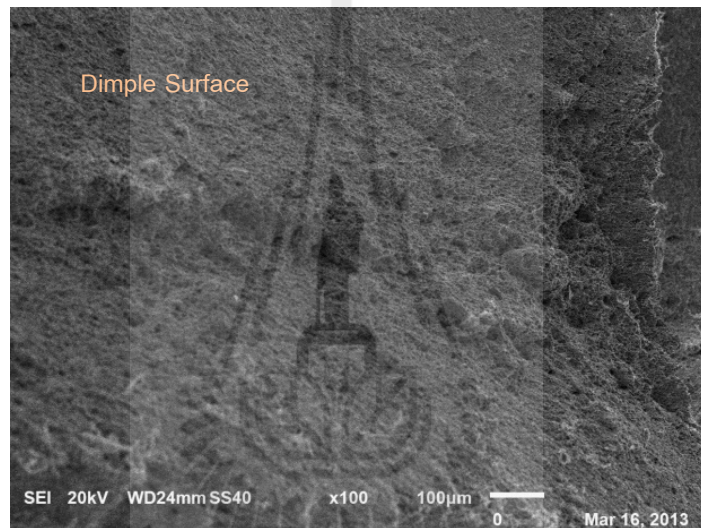


รูปที่ 4.20 ลักษณะชิ้นงานเชื่อมภายหลังการทดสอบแรงดึง

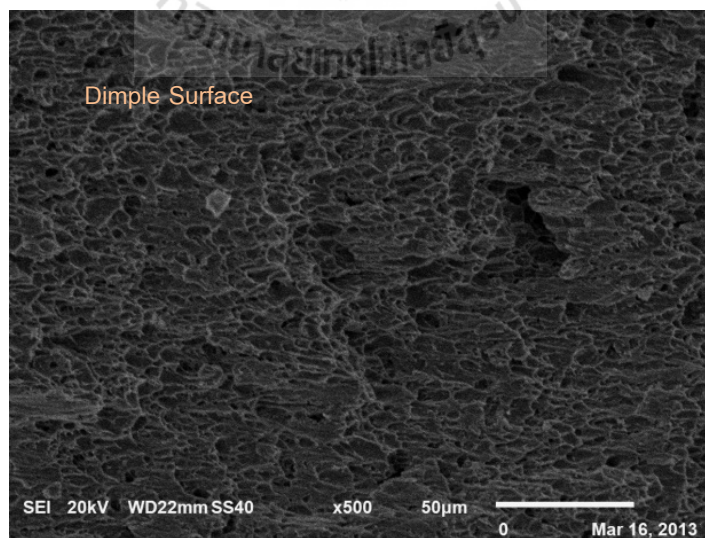
จากรูปที่ 4.19 พบว่า การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานเหล็กก่อนแตกหัก มีคอคอด (Necking) เกิดขึ้น แล้วจึงแตกหักเป็นรูปร่างคล้ายถ้วย หรือกรวย ซึ่งเป็นลักษณะของการแตกหักแบบเหนียว (กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ และคณะ, 2553) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (Plastic Deformation) ก่อนการแตกหัก ลักษณะดังกล่าว เป็นการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) ส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.20 พบว่าการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมทุกชิ้นเกิดที่บริเวณรอยเชื่อม พื้นผิวการแตกหักมีความเรียบ และตั้งฉากกับแนวแรง และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างก่อนการแตกหัก น้อยมาก จนไม่สังเกตเห็นลักษณะของการเกิดคอคอด หรือการเปลี่ยนรูปร่างถาวรก่อนการแตกหัก ซึ่งเป็นลักษณะของการแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture) นอกจากนี้ การตรวจสอบพื้นที่ผิวการแตกหักของชิ้นงานหล่อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของชิ้นงานเหล็ก และชิ้นงานเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.21-4.22 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะการแตกหักของเหล็ก และชิ้นงานเชื่อม โดยพบว่า เหล็กที่ไม่ได้ทำการเชื่อม มีพฤติกรรมการแตกหักแบบเหนียวเป็นหลัก โดยสังเกตเห็น ช่องว่างที่มีพื้นผิวกลมมนแบบดิมเบิล (Dimple Surface) กระจายอยู่ทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ข-ค แต่ลักษณะพื้นผิวการแตกหักของชิ้นงานเชื่อมเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.22 โดยมีพื้นผิวการแตกหักโดยส่วนใหญ่เป็นแผ่นระนาบ หรือคลิเวจ (Cleavage) และมีพื้นผิวแบบดิมเบิลบ้างบางส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ก-ค) ซึ่งลักษณะดังกล่าว เป็นการแตกหักของวัสดุที่มีความเปราะสูง และจะเกิดขึ้นในวัสดุที่มีความแข็งสูงแต่มีความเหนียวต่ำ ซึ่งจากผลการทดสอบความแข็ง ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในข้อที่ 4.6 พบว่า บริเวณรอยเชื่อมเป็นส่วนที่มีความแข็งสูง และมีรูปร่างของเกรนเป็นเข็มแหลม (Acicular Grain) ปัจจัยดังกล่าวทำให้บริเวณรอยเชื่อมชิ้นงาน เป็นส่วนที่มีความเปราะ และเป็นจุดอ่อนสำคัญที่ทำให้เกิดการแตกหักภายใต้การทดสอบแรงดึง



ก) ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า

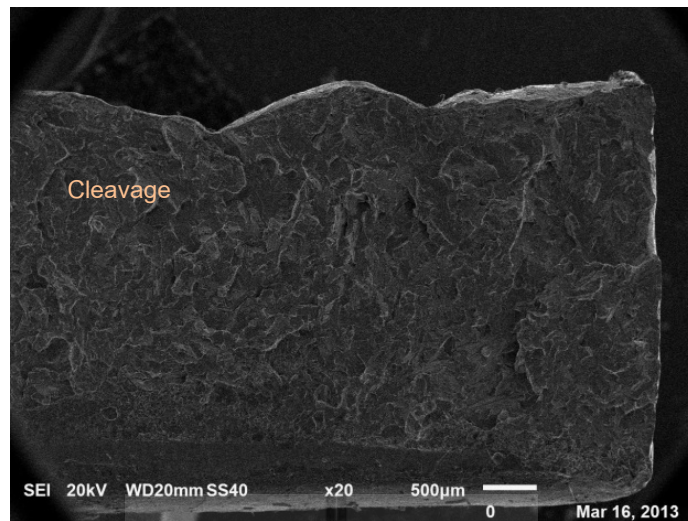


ข) ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า

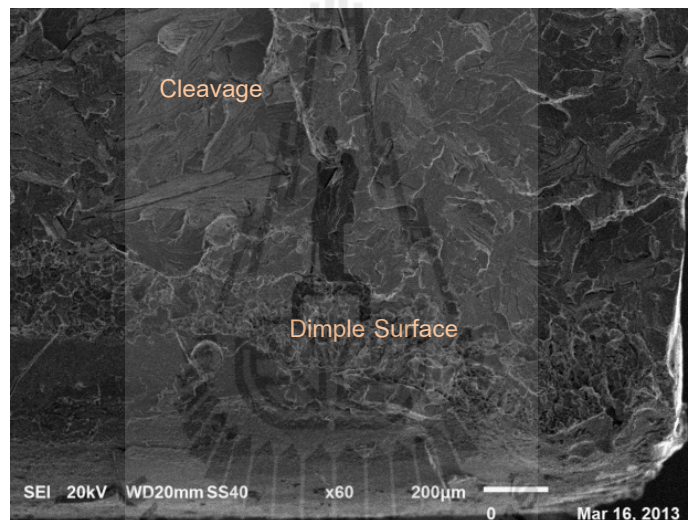


ค) ภาพถ่ายกำลังขยาย 500 เท่า

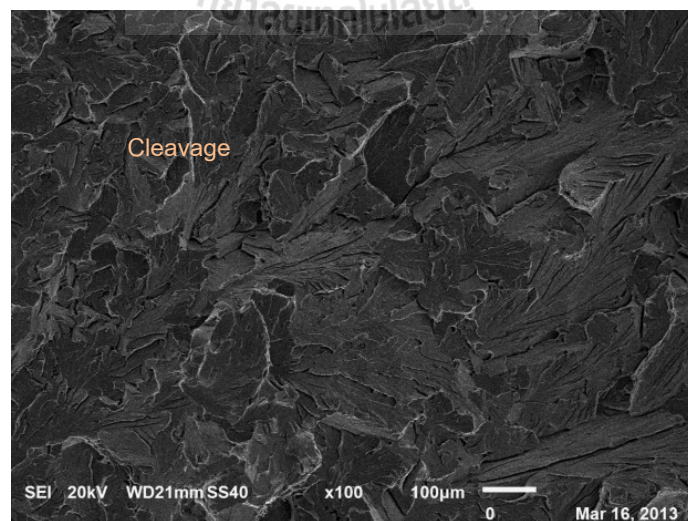
รูปที่ 4.21 พื้นผิวการแตกหักจากการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเหล็ก



ก) ภาพถ่ายกำลังขยาย 20 เท่า



ก) ภาพถ่ายกำลังขยาย 60 เท่า



ก) ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 4.22 พื้นผิวการแตกหักจากการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเชื่อม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินคุณภาพฝีมือช่างเชื่อมในอุตสาหกรรมก่อสร้างขนาดกลางและขนาดเล็ก และการวิเคราะห์มาตรฐานฝีมือของช่างเชื่อมของงานด้านวิศวกรรมโยธากายในจังหวัดนครราชสีมา ด้วยการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม ของชิ้นงานที่เชื่อมโดยช่างที่ปฏิบัติงานในไลน์ก่อสร้างขนาดกลาง และขนาดเล็ก เขตจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 19 แห่ง สังกัดความเหมาะสมของลักษณะการแต่งกายของช่างเชื่อม และทำการประเมินคุณภาพชิ้นงานเชื่อมด้วยการตรวจสอบด้วยสายตา และทดสอบแรงดึง สามารถสรุปผลการวิจัย ดังนี้

จากการสังเกตการณ์แต่งกายของช่างเชื่อมที่ทำการเชื่อมในสถานที่ก่อสร้างในเขตจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 19 คน พบว่า ช่างเชื่อมร้อยละ 78.95 แต่งการไม่เหมาะสมกับการปฏิบัติการเชื่อม โดยช่างเชื่อม ร้อยละ 63.16 จะสวมแว่นตากันแดด แทนการใช้หน้ากากเชื่อมหรือแว่นนิรภัย ไม่สวมอุปกรณ์ป้องกันดวงตา ร้อยละ 5.26 ไม่สวมถุงมือ ร้อยละ 47.36 ไม่สวมรองเท้านิรภัย ร้อยละ 31.58 และไม่สวมกางเกงขาวยาวร้อยละ 10.52

ผลการตรวจสอบด้วยสายตา พบว่า มีชิ้นงานเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ร้อยละ 1.78 ส่วนชิ้นงานเชื่อม ร้อยละ 21.43 มีการใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ ร้อยละ 1.78 ใช้กระแสไฟฟ้าสูง ร้อยละ 16.07 มีการใช้ระยะการอาร์กสั้น ร้อยละ 8.92 มีการใช้ระยะการอาร์กยาว ร้อยละ 1.78 ลักษณะของรอยเชื่อมที่มีการเดินลวดเชื่อมซ้ำ และร้อยละ 48.21 มีลักษณะของการเดินแนวเชื่อมเร็ว

และจากผลทดสอบแรงดึง พบว่า ชิ้นงานเชื่อมมีค่าแรงดึงสูงสุดของชิ้นงาน ต่ำกว่าค่าแรงดึงของเหล็ก ร้อยละ 9.27-41.01 ซึ่งค่าดังกล่าว มีความแตกต่างกันกว่าที่เกณฑ์กำหนดไว้คือ ค่าแรงดึงสูงสุดต้องไม่ต่ำกว่าค่าแรงดึงของเหล็กเกินร้อยละ 5 นอกจากนี้ชิ้นงานเชื่อมทุกชิ้นเกิดการแตกหักบริเวณรอยเชื่อม แสดงให้เห็นว่างานเชื่อมสามารถรับแรงดึงได้ต่ำกว่า ชิ้นงานเหล็กที่ใช้ทดสอบ ดังนั้น จากผลการทดสอบแรงดึงดังกล่าว ชิ้นงานเชื่อมไม่ผ่านเกณฑ์ที่จะสามารถยอมรับการใช้งาน

จากผลการวิจัย เป็นข้อบ่งชี้ว่า ช่างเชื่อมในอุตสาหกรรมก่อสร้างขนาดกลางและขนาดเล็ก ในจังหวัดนครราชสีมา เป็นช่างเชื่อมที่ต้องได้รับการส่งเสริมพัฒนา ทักษะ ความรู้ความสามารถ เพื่อเป็นแรงงานฝีมือ ตามเกณฑ์มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ

บรรณานุกรม

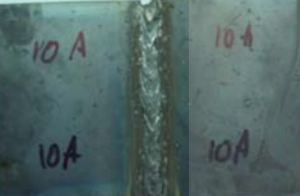
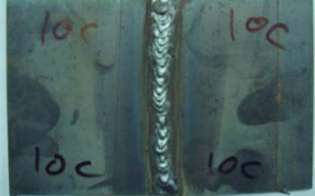
- 1) ชันดิพล วัชรานาถ, มนูญ เลิศวิจิตรพันธุ์ และวันชัย โกมลหิรัญ, (2535), การตรวจสอบงานเชื่อม, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ
- 2) เชิดเชลง ชิตลสนกิจและยงยุทธ เสริมสุธีอนุวัฒน์. วิศวกรรมการเชื่อม. สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ. ศูนย์ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ. 2524
- 3) นระ คมนามูล, (2547), วัสดุและการทดสอบแบบไม่ทำลายในงานวิศวกรรมโยธา, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, เซเวน พรินต์ติ้ง กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพฯ.
- 4) วิษุทธ จันทะรี. กระบวนการเชื่อม. คณะวิชาเทคโนโลยีการผลิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2549
- 5) เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย, (2550), การทดสอบแรงดึง, สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- 6) Sindo Kou, (2002), Welding Metallurgy, Wiley-Interscience publication, United States of America
- 7) Mike Gellerman, (1994), Welding fundamentals, Delmar Publishers, United States of America
- 8) พุทธิ ชาติตะ, (2538), การทดสอบแบบไม่ทำลาย, ครั้งที่ 3, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), ที.พี.พรินท์ จำกัด, กรุงเทพฯ
- 9) Larry Jeffus, (2011), Metal Fabrication Technology for Agriculture, DELMAR GENGAGE Learning, United States of America
- 10) Dmitri Kopeliovich., <http://www.substech.com>
- 11) มานพ ตันตระบัณฑิตย์, (2539), วัสดุช่างอุตสาหกรรม, ครั้งที่ 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), ดวงกมลจำกัด, กรุงเทพฯ

ภาคผนวก ก ภาพถ่ายชิ้นงานเชื่อม



ตารางที่ ก-1 ภาพถ่ายชิ้นงานเชื่อม

ลำดับที่	ตำแหน่งท่าราบ	ตำแหน่งท่าขนานนอน	ตำแหน่งท่าเหนือศีรษะ
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

ลำดับที่	ตำแหน่งท่าราบ	ตำแหน่งท่าขนานนอน	ตำแหน่งท่าเหนือศีรษะ
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

ลำดับที่	ตำแหน่งท่าราบ	ตำแหน่งท่าขนานนอน	ตำแหน่งท่าเหนือศีรษะ
15			
16			
17			
18			
19			

ภาคผนวก ข ผลการวัดขนาดรอยเชื่อม



ตารางที่ ข-1 ความกว้างของแนวเชื่อม

ชิ้นงาน หมายเลข	ท่าเชื่อม	ความกว้าง (มม.)			
		วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ความกว้างเฉลี่ย
1	ท่าราบ	6.15	7.90	7.30	7.12
	ท่าขนานนอน	7.60	6.90	6.70	7.07
	ท่าเหนือศีรษะ	5.90	5.40	5.62	5.64
2	ท่าราบ	6.10	7.10	7.20	6.80
	ท่าขนานนอน	7.00	5.60	5.95	6.18
	ท่าเหนือศีรษะ	4.40	4.46	4.38	4.41
3	ท่าราบ	4.95	6.10	5.45	5.50
	ท่าขนานนอน	6.80	7.90	6.96	7.22
	ท่าเหนือศีรษะ	4.40	4.05	4.08	4.18
4	ท่าราบ	4.66	5.30	5.50	5.15
	ท่าขนานนอน	7.10	6.60	5.25	6.32
	ท่าเหนือศีรษะ	5.10	6.70	7.20	6.33
5	ท่าราบ	11.80	10.10	9.00	10.30
	ท่าขนานนอน	10.20	4.60	5.20	6.67
	ท่าเหนือศีรษะ	7.45	7.32	7.40	7.39
6	ท่าราบ	10.20	9.80	8.60	9.53
	ท่าขนานนอน	8.40	4.60	4.80	5.93
	ท่าเหนือศีรษะ	6.80	7.20	7.80	7.27
7	ท่าราบ	9.60	8.80	6.80	8.40
	ท่าขนานนอน	8.80	8.20	5.90	7.63
	ท่าเหนือศีรษะ	7.80	6.40	5.82	6.67
8	ท่าราบ	8.40	9.20	7.60	8.40
	ท่าขนานนอน	5.80	6.24	7.40	6.48
	ท่าเหนือศีรษะ	6.62	5.20	8.80	6.87
9	ท่าราบ	8.20	7.80	7.20	7.73
	ท่าขนานนอน	8.30	8.76	8.24	8.43
	ท่าเหนือศีรษะ	9.20	10.12	9.88	9.73
10	ท่าราบ	8.90	7.15	8.95	8.33
	ท่าขนานนอน	8.15	6.85	6.70	7.23
	ท่าเหนือศีรษะ	9.60	7.40	6.80	7.93

ชิ้นงาน หมายเลข	ท่าเชื่อม	ความกว้าง (มม.)			
		วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ความกว้างเฉลี่ย
11	ท่าราบ	5.80	6.60	5.60	6.00
	ท่าขนานนอน	6.80	7.20	5.40	6.47
	ท่าเหนือศีรษะ	7.40	5.95	7.56	6.97
12	ท่าราบ	7.20	5.90	6.35	6.48
	ท่าขนานนอน	9.20	6.40	4.45	6.68
	ท่าเหนือศีรษะ	8.00	6.80	5.90	6.90
13	ท่าราบ	7.90	6.80	7.20	7.30
	ท่าขนานนอน	8.30	5.10	5.35	6.25
	ท่าเหนือศีรษะ	7.10	6.12	7.30	6.84
14	ท่าราบ	7.50	6.80	6.70	7.00
	ท่าขนานนอน	9.60	6.65	6.60	7.62
	ท่าเหนือศีรษะ	5.90	7.25	6.80	6.65
15	ท่าราบ	4.80	6.92	9.78	7.17
	ท่าขนานนอน	9.20	8.80	8.90	8.97
	ท่าเหนือศีรษะ	5.00	5.20	6.35	5.52
16	ท่าราบ	7.00	6.80	7.10	6.97
	ท่าขนานนอน	8.60	10.40	7.50	8.83
	ท่าเหนือศีรษะ	5.90	5.86	5.30	5.69
17	ท่าราบ	7.60	6.70	6.10	6.80
	ท่าขนานนอน	9.10	11.10	8.30	9.50
	ท่าเหนือศีรษะ	6.60	6.85	6.30	6.58
18	ท่าราบ	7.80	7.60	8.26	7.89
	ท่าขนานนอน	10.20	9.80	8.60	9.53
	ท่าเหนือศีรษะ	6.20	5.80	5.40	5.80
19	ท่าราบ	8.90	9.20	8.60	8.90
	ท่าขนานนอน	9.80	8.60	7.80	8.73
	ท่าเหนือศีรษะ	7.20	5.90	6.80	6.63

ตารางที่ ข-2 ความสูงของแนวเชื่อม

ชิ้นงานหมายเลข	ท่าเชื่อม	ความสูง (มม.)			
		วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ความสูงเฉลี่ย
1	ท่าราบ	1.2	1.0	0.8	1.0
	ท่าขนานนอน	2.3	1.2	1.5	1.7
	ท่าเหนือศีรษะ	1.3	2.5	1.8	1.9
2	ท่าราบ	2.0	2.0	2.0	2.0
	ท่าขนานนอน	3.0	2.0	2.0	2.3
	ท่าเหนือศีรษะ	2.5	2.3	1.9	2.2
3	ท่าราบ	1.0	1.2	1.8	1.3
	ท่าขนานนอน	1.6	1.8	2.1	1.8
	ท่าเหนือศีรษะ	1.0	1.3	1.1	1.1
4	ท่าราบ	1.5	2.0	1.8	1.8
	ท่าขนานนอน	1.1	1.1	1.0	1.1
	ท่าเหนือศีรษะ	2.0	1.6	1.5	1.7
5	ท่าราบ	2.0	2.0	1.8	1.9
	ท่าขนานนอน	1.2	1.8	0.8	1.3
	ท่าเหนือศีรษะ	2.0	2.6	2.4	2.3
6	ท่าราบ	1.8	2.0	2.0	1.9
	ท่าขนานนอน	2.0	1.2	1.4	1.5
	ท่าเหนือศีรษะ	1.2	1.0	0.8	1.0
7	ท่าราบ	1.3	1.5	2.0	1.6
	ท่าขนานนอน	1.2	0.8	2.4	1.5
	ท่าเหนือศีรษะ	1.3	0.8	2.0	1.4
8	ท่าราบ	1.2	1.0	1.0	1.1
	ท่าขนานนอน	1.2	1.3	1.0	1.2
	ท่าเหนือศีรษะ	1.0	2.0	1.5	1.5
9	ท่าราบ	1.3	1.2	1.5	1.3
	ท่าขนานนอน	1.2	1.5	2.2	1.6
	ท่าเหนือศีรษะ	1.3	1.8	1.6	1.6
10	ท่าราบ	1.0	1.0	1.0	1.0
	ท่าขนานนอน	1.2	1.5	1.0	1.2
	ท่าเหนือศีรษะ	1.0	1.2	1.5	1.2
11	ท่าราบ	2.5	1.8	1.8	2.0

ชิ้นงานหมายเลข	ท่าเชื่อม	ความสูง (มม.)			
		วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ความสูงเฉลี่ย
	ทำขนานนอน	1.6	1.9	2.1	1.9
	ทำเหนือศีรษะ	0.8	2.0	1.2	1.3
12	ทำราบ	0.6	1.0	0.5	0.7
	ทำขนานนอน	0.6	2.0	1.3	1.3
	ทำเหนือศีรษะ	0.5	0.9	1.0	0.8
13	ทำราบ	0.5	0.8	0.9	0.7
	ทำขนานนอน	0.8	1.2	2.0	1.3
	ทำเหนือศีรษะ	1.0	0.5	0.5	0.7
14	ทำราบ	0.2	1.0	1.2	0.8
	ทำขนานนอน	0.2	0.8	0.3	0.4
	ทำเหนือศีรษะ	1.0	0.5	0.5	0.7
15	ทำราบ	1.3	2.0	1.8	1.7
	ทำขนานนอน	3.0	1.5	3.5	2.7
	ทำเหนือศีรษะ	4.1	1.6	1.5	2.4
16	ทำราบ	2.0	2.0	2.0	2.0
	ทำขนานนอน	3.3	3.0	2.7	3.0
	ทำเหนือศีรษะ	2.00	1.80	2.20	2.00
17	ทำราบ	1.8	2.0	1.7	1.8
	ทำขนานนอน	2.0	1.6	1.3	1.6
	ทำเหนือศีรษะ	1.1	1.8	2.0	1.6
18	ทำราบ	1.2	1.6	1.3	1.4
	ทำขนานนอน	1.1	1.5	1.8	1.5
	ทำเหนือศีรษะ	1.3	1.6	2	1.6
19	ทำราบ	1.2	1	2	1.4
	ทำขนานนอน	1.4	2.1	3	2.2
	ทำเหนือศีรษะ	1	1.5	1.8	1.4

ภาคผนวก ค ผลการทดสอบแรงดึง



ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบแรงดึง

ชิ้นงานหมายเลข	ค่าแรงดึงสูงสุด (kN)		
	เชื่อมทำราบ	เชื่อมทำขนานนอน	เชื่อมทำเหนือศีรษะ
1	14,505	15,840	14,242
2	13,886	17,742	14,413
3	16,214	11,266	12,249
4	13,855	14,015	16,556
5	14,623	17,691	15,734
6	16,414	16,081	13,043
7	13,542	15,683	14,062
8	15,257	14,438	14,699
9	14,768	14,986	15,762
10	12,426	15,420	15,036
11	16,372	14,841	16,125
12	15,463	15,307	14,521
13	15,896	14,356	15,672
14	15,672	16,072	14,906
15	16,865	15,889	14,205
16	15,852	14,536	15,206
17	14,962	13,078	14,053
18	13,232	15,654	13,952
19	13,562	15,982	15,012
ค่าเฉลี่ย	14,914	15,204	14,708

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ ผ.ศ. ศาสตราจารย์ สุขประเสริฐ ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประวัติการศึกษา วุฒิการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต เมื่อ พ.ศ. 2520 วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระดับมหาบัณฑิตเมื่อปี พ.ศ. 2523 M.Eng (Transportation) จาก Asian Institute of Technology (AIT) ,Thailand สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ Non-Destructive Examination Technology for Quality Control and Maintenance ,Workshop in Oil and Gas Processing Technology,H2S Safety และ Dispensing Pump design ประสบการณ์ที่เกี่ยวกับงานวิจัย เช่น เป็นหัวหน้าโครงการวิจัยโครงการศึกษาการจัดทำแผนแม่บทด้านจราจรและขนส่งภูมิภาคจังหวัดนครราชสีมาได้รับทุนจาก สำนักงานคณะกรรมการจัดระบบจราจรทางบก (สจร.) เมื่อปี พ.ศ. 2539 โครงการศึกษาการจัดทำแผนแม่บทด้านการจราจรและขนส่งเมืองภูมิภาคจังหวัดปราจีนบุรี ได้รับทุนจาก สำนักงานคณะกรรมการจัดระบบจราจรทางบก (สจร.) เมื่อปี พ.ศ. 2541 โครงการจัดทำแผนสร้างทางจักรยานและแผนรณรงค์การใช้จักรยานแบบครบวงจรเทศบาลเมืองนครอุบลราชธานี ได้ทุนจากสำนักงานนโยบายและพลังงาน (สนพ.) เมื่อปี พ.ศ.2546 โครงการศึกษาและพัฒนามาตรฐานการออกแบบทางจักรยาน เมื่อปี พ.ศ.2548 โครงการศึกษาระบบการขนส่งในการผลิตและส่งออกของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เมื่อปี พ.ศ.2550 การประเมินเบื้องต้นในการใช้ระบบรางไฟฟ้าขนาดเบาสำหรับเมืองนครราชสีมา เมื่อปี 2551 การศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งสถานีขนส่งสินค้าทางบกจังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี 2552 การศึกษาห่วงโซ่อุปทานในกระบวนการผลิตและส่งออกสินค้าการเกษตร เมื่อปี 2553 และอีกหลายงานวิจัย หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ที่สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 0-4422-4421 โทรสาร 0-4422-4220 E-mail: sart@sut.ac.th