บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาผลกระทบของปัจจัยจากการเชื่อมเหล็กกล้าผสม เกรด AISI4140 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม Gas Metal Arc Welding ที่ผ่านการชุบ ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล มีขั้นตอน และวิธีในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล จากตำรา เอกสาร วารสาร รวมทั้งงานวิจัยทั้งภายในและต่างประเทศ ที่มีเนื้อหาใกล้เคียงหรือลักษณะการของการวิจัยเดียวกันจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น ห้องสมุดของสถาบันอุดมศึกษา ตลอดจนศึกษาจากประสบการณ์การปฏิบัติงานเกี่ยวกับการเชื่อม และจากการสนทนา สอบถามข้อมูลกับผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เพื่อใช้เป็นแนวทางศึกษาและการดำเนินการวิจัย

3.2 กำหนดปัจจัยการทดลอง

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้มีการกำหนดปัจจัย และตัวแปรในการทดลองที่น่าสนใจสำหรับการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เพื่อนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างอย่างมีเหตุมีผล ภายใต้หลักการทางทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับ สามารถที่จะสร้างองค์ความรู้ใหม่จากงานวิจัยนี้ และสามารถนาไปใช้งานได้จริง การศึกษาผลกระทบของการเชื่อมเหล็กกล้าผสมเกรดAISI 4140 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก GMAW ที่ผ่านการชุบ ครั้งนี้ ได้กำหนด ตัวแปรและ ปัจจัยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. กระแสเชื่อม 3 ระดับ คือ 120 แอมป์ , 140 แอมป์ และ 160 แอมป์
2. ความเร็ว 3 ระดับ คือ 220 ม.ม./นาที, 250 ม.ม./นาที และ 280 ม.ม./นาที

3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ เครื่องมือและวัสดุ ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง กระบวนการเชื่อมเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก (GMAW) ประกอบด้วย

1. เตาอบชุบโลหะ
2. เครื่องเชื่อมมิก (GMAW) รุ่น Transmig 400 ประกอบติดตั้งกับเครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรง
3. เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับด้วยมอเตอร์ TANATA KT-5N
4. ลวดเชื่อมเหล็กกล้าผสม ER 70S-6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 mm.

5. แผ่นทองแดงรองหลังงานเชื่อม
6. เครื่องกัดมิลริ่ง รุ่น KPS F1-250
7. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test)
8. เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness Testing Machine)
9. กล้องมาโครสโคป (Macro structure) รุ่น EZ4D
10. เหล็กกล้าผสม เกรด AISI 4140 ขนาด 70 mm x 100 mm x 6 mm จำนวน 18 แผ่น

รูปที่ 3.1 เตาอบชุบโลหะ

รูปที่ 3.2 เครื่องเชื่อมมิก (GMAW) รุ่น Transmig 400

รูปที่ 3.3 เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับด้วยมอเตอร์ รุ่น TANATA KT-5N

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์รองหลังงานเชื่อมและอุปกรณ์จับยึดในงานเชื่อม

รูปที่ 3.5 กล้องมาโครสโคป (Macro structure) รุ่น EZ4D

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

3.4 การทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีการดำเนินการทดลอง เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมเป็นบรรทัดฐานให้การทดลองมีความเที่ยงตรง น่าเชื่อถือ จึงได้มีปฏิบัติการทดลองเบื้องต้น(Pilot Study) เพื่อหาระดับของความเร็ว และกระแสไฟในการเชื่อม ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษา ทั้งนี้ตัวแปรอื่นๆ เช่น ลวดเชื่อม ระยะอาร์ค มุมของหัวเชื่อม และเทคนิคการเชื่อมกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ค่าระดับของ ตัวแปรกำหนดเป็นค่าเบื้องต้นสำหรับใช้ในการเชื่อมดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพในการเชื่อม (Pilot Study)

ความเร็วในการเชื่อม	กระแสไฟฟ้า Amp.		
mm/min	120 Amp.	140 Amp.	160 Amp.
220	A		B
250			
280	C		D

หลังจากทดลองปฏิบัติการเชื่อมจนกระทั่งได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมและสมพันธ์กันได้รอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่อง จึงทำการปฏิบัติการเชื่อมตามที่ได้ออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในทดสอบจริง (Design of Experimental)

ความเร็วในการเชื่อม	กระแสไฟฟ้า Amp.		
mm/min	120 Amp.	140 Amp.	160 Amp.
220	1	4	7
250	2	5	8
280	3	6	9

3.5 การออกแบบการทดลอง

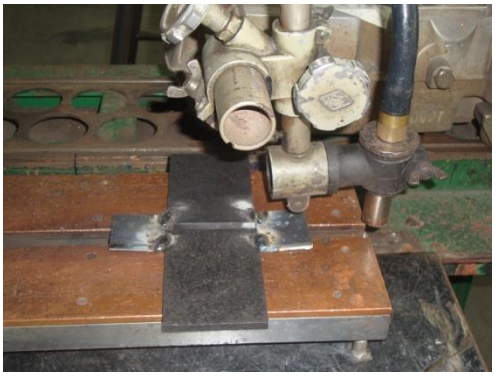
งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental design) เพื่อให้การทดลองมีระเบียบแบบแผนมีระบบการควบคุมสภาพการณ์ ตัวแปร หรืออิทธิพลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสังเกตหรือวัดผล ปราศจากความแปรปรวน และสามารถจดกระทำซ้ำและทดสอบได้ผลอีก หลังจากทำการทดลองเชื่อมเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมเบื้องต้น จนกระทั่งได้ค่าตัวแปรเกี่ยวกับขนาดของกระแสไฟและความเร็วในการเชื่อมที่เหมาะสมและสัมพันธ์กันรอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่มีจุดบกพร่อง ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกล และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม (Weld Metal) และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ได้แก่ ความเร็วเชื่อม กระแสไฟเชื่อม ซึ่งกำหนดการทดลองแต่ละปัจจัยไว้ 3 ระดับ ๆละ 1 ครั้ง ดังตารางการทดลองที่ 3.2

3.5.1 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

การเตรียมชิ้นเชื่อมเพื่อการทดลองการเตรียมเพื่อการทดสอบด้วยแรงดึง และการทดสอบความแข็งได้กำหนดตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers (ASME) 2001 Edition 2 โดยมีขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานทดลอง ดังนี้

1. ตัดเหล็กกล้าผสมด้วยเครื่องเลื่อยกลหล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 70 mm x 100 mm x 6 mm จำนวน 18 แผ่น
2. บากหน้างานด้วยเครื่องมิลลิ่ง มุมเอียง (Bevel angle) 30°
3. นำชิ้นงานจำนวนทั้ง 18 ชิ้น มัดรวมกันโดยใช้ลวดหลังจากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดเข้าในเตาอบโลหะแล้วตั้งค่าให้เวลา 1 ชั่วโมงอุณหภูมิ 1-845 องศาเซลเซียสและให้คงอุณหภูมิ 845 องศาเซลเซียสจำนวน 1 ชั่วโมง นำชิ้นงานทั้งหมดออกจากเตาอบโลหะและชุบด้วยน้ำมันชุบแข็งทันที
4. ตรวจสอบความแข็งของชิ้นงาน โดยชิ้นงานมีความแข็ง 586 HV
5. ตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงาน (Base Metal) โดยโครงสร้างเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์

5. ประกอบรอยต่อชิ้นงานแบบต่อชน (Butt Joint) ก่อนการเชื่อมโดยการเชื่อมยึดบริเวณหัวท้ายของรอยต่อด้วยแผ่นเหล็กขนาด กว้าง 3 mm. ยาว 4 mm. หนา 4.5 mm.



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการเตรียมรอยต่อชนงานแบบต่อชนบากหน้างาน

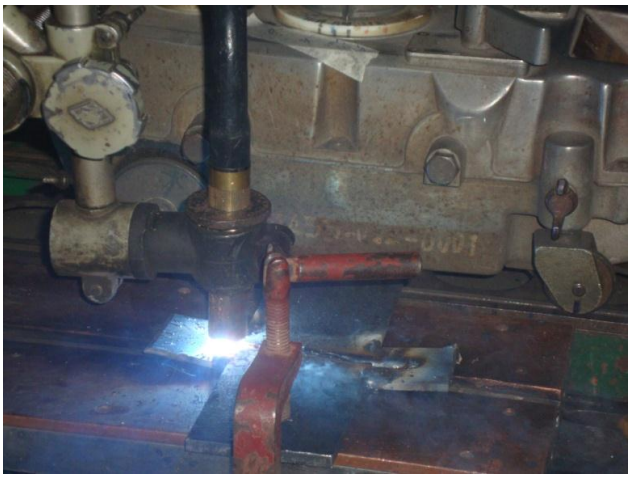
3.6 การดำเนินการทดลอง

1. เตรียมชิ้นงาน และทำความสะอาดบริเวณรอยบาก เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก เช่น คาบน้ำมัน ไขมัน และ สิ่งสกปรก

2. เตรียมเครื่องเชื่อมพร้อมอุปกรณ์ ปรับตัวแปรการเชื่อม (Set up) เช่น กระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม มุมหัวเชื่อม ระยะอาร์ค และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม ที่ 15 ลิตร/ลูกบาศก์ฟุตและระยะอาร์ค

3. วางชิ้นงานเชื่อมในตำแหน่ง 1G (ท่าราบ) บนแผ่นทองแดง พร้อมกับยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดให้แน่น

4. เริ่มต้นเชื่อมชิ้นงาน โดยใช้เทคนิคการเชื่อมแบบเดินหนา (Fore hand) แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.8 แสดงการเชื่อมชิ้นงานด้วยกรรมวิธี GMAW ภายใต้การควบคุมตัวแปรที่กำหนด

5. ปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ

6. ปฏิบัติการเชื่อมโดยเลือกชิ้นงานตามลำดับและเปลี่ยนค่าตัวแปรการเชื่อม (Set up) ใหม่ ดังตารางที่ 3.2 ปฏิบัติการเชื่อมตาม ข้อ 1-6

รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

3.7 การดำเนินการรวบรวมข้อมูล

ลำดับขั้นตอนในการตรวจสอบ และการเก็บข้อมูลจากการทดลอง สามารถลำดับขั้นตอนได้ ดังนี้

3.7.1 การตรวจสอบด้วยสายตา

1. การตรวจสอบก่อนการเชื่อม ทำการตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องเชื่อม การจับยึดของสายดิน (Ground Clamp) มุมของหัวเชื่อม ระยะอาร์ค การจับยึดชิ้นงาน ตลอดจนตำแหน่งการวางชิ้นงานทดลอง การจับยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึด

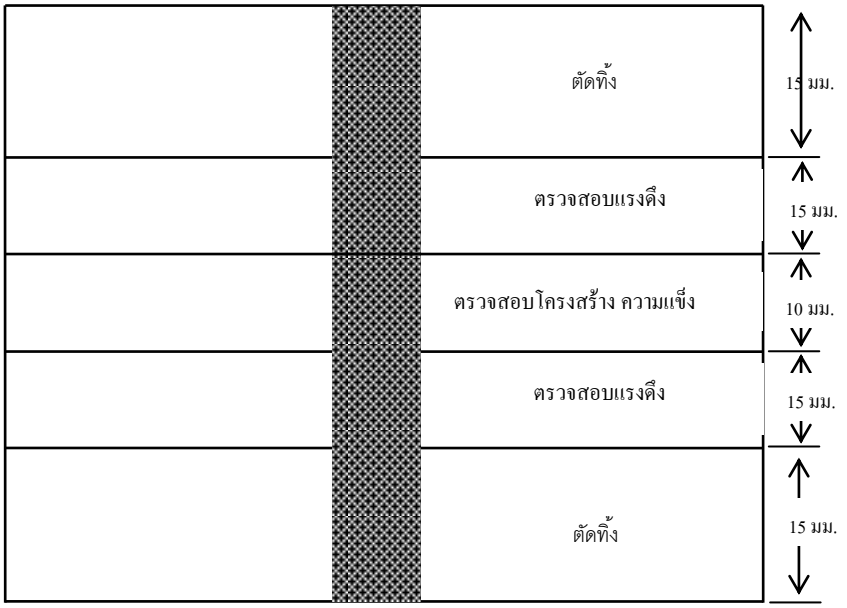
2. การตรวจสอบระหว่างการเชื่อม ทำการตรวจสอบตั้งแต่การเริ่มต้นอาร์ค ระหว่างการอาร์คและสิ้นสุดการอาร์ค โดยสังเกตปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม เช่น เสียงอาร์ค ความรุนแรงของการอาร์ค เขม่า ควัน และสะเก็ดโลหะ (Spatter) การไหลของลวดเชื่อม ฯลฯ

3. การตรวจสอบหลังการเชื่อม ทำการตรวจสอบดูบริเวณรอยเชื่อม ผิวของรอยเชื่อม คาบ เขม่า และสิ่งสกปรกต่าง ๆ บริเวณรอยเชื่อม ตรวจสอบความสูง ความกว้าง ความสมบูรณ์ และจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น ความสม่ำเสมอของรอยเชื่อมตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดรอยเชื่อม

3.7.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยการทดสอบแรงดึง

การเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึง มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1.วางแผน และออกแบบชิ้นงานตัวอย่าง (Specimen) เพื่อใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.10 แสดงการออกแบบรอยตัดบนชิ้นงานทดสอบ

2. ออกแบบชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASME Section IX การเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASME Section IX

3.ตัดชิ้นงานทดสอบ ตามแบบที่กำหนดด้วยเครื่อง Wire Cut แสดงในรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.11 แสดงชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ผ่านการตัดด้วยเครื่อง Wire Cut

4. ทำการทดสอบแรงดึง และ ตามลำดับขั้นตอนจนครบทั้ง 9 ชิ้น

3.7.2.1 ขั้นตอนการทดสอบแรงดึง

1. เตรียมชิ้นทดสอบแรงดึงแนวเชื่อม ด้วยวิธีกล ตามมาตรฐาน ASME Section IX
2. ประกอบหัวจับงานปากแบนและปรับเครื่องทดสอบ

รูปที่ 3.12 แสดงการจับชิ้นงานก่อนทำการทดสอบแรงดึง

3. นำชิ้นงานเข้ายึดกับหัวจับด้านบน แล้วจึงค่อยๆปรับยกหัวจับเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อหัวจับล่างจับปลายชิ้นทดสอบด้านล่าง แสดงรูปที่ 3.15

ก. ใช้แรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อดึงชิ้นทดสอบให้เกิดความเครียดยืดออกและขาดในที่สุด การจับยึดชิ้นทดสอบต้องระมัดระวังให้แรงที่กระทำอยู่ในแนวแกนของชิ้นทดสอบ

ข. บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดสังเกตจากจุดที่ชิ้นทดสอบเริ่มเกิดคอคอด เพราะชิ้นงานทดสอบที่เหนียวจะมีการยืดตัวออกมากแล้วจึงขาด ทำให้ค่าความต้านแรงดึงที่จุดขาดน้อยกว่าค่าความต้านแรงดึงสูงสุด

ค. อ่านและแปลผลที่ได้จากกราฟบันทึกผลการทดสอบแรงดึง

3.7.2.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

ลำดับขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานในการทดสอบความแข็ง มีขั้นตอน ดังนี้

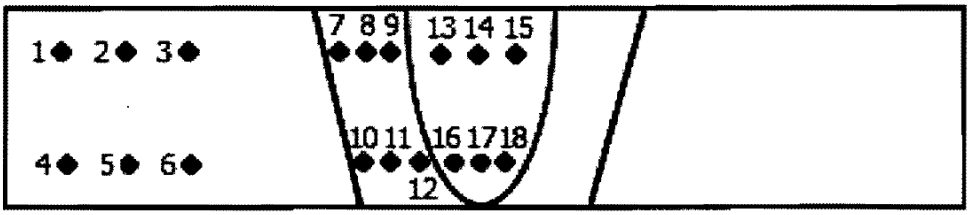
1. นำชิ้นงานทดลองที่เชื่อมเสร็จแล้วมาวางแผนการ ทดสอบความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้าง ตามมาตรฐาน ASME โดยได้วางแผนไว้

2. ตัดซอยชิ้นงานตามที่ได้วางแผนไว้ ด้วยเครื่อง Wire Cut

3. ขัดเงาด้านที่ต้องการทดสอบความแข็งให้เรียบ

5. กำหนดตำแหน่งในการทดสอบความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 3.16

6. ทำการทดสอบความแข็งตามที่ได้วางแผนการทดสอบเอาไว้ แล้วเก็บบันทึกข้อมูลจากการทดสอบ กระทำเช่นนี้จนครบทั้ง 9 ชิ้น



รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งการทดสอบความแข็งบริเวณโลหะงาน บริเวณได้รับผลกระทบร้อน และบริเวณแนวเชื่อม

3.7.2.3 ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบแรงดึงรอยต่อเชื่อม

มาตรฐาน ASME Section IX กำหนดขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบ หรือเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบแรงดึง ไว้ใน QW-153 Acceptance Criteria – Tension Tests ค่าความต้านแรงดึงต่ำสุดของแนวเชื่อมต้องไม่ต่ำกว่า

1. ค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) ต่ำสุดของโลหะงาน (Base Metal) หรือ

2. ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุดของโลหะงานที่มีความแข็งแรงต่ำกว่า กรณีเชื่อมต่อวัสดุชนิดเดียวกันและ วัสดุมีค่าความต้านแรงดึงต่างกัน

3. ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุดของเนื้อเชื่อม (Weld Metal) เมื่อข้อกำหนดให้เนื้อเชื่อม (Weld Metal) มีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะงานเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

4. ถ้าชิ้นทดสอบแตกในส่วนบริเวณเนื้อโลหะงาน (Base Metal) นอกบริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) หรือนอกผิวหน้ารวมระหว่างเนื้อเชื่อมกับงาน (Weld Interface) จะต้องมีค่าความต้านแรงดึง ไม่ต่ำเกินกว่า 5 % ของค่าความเค้นแรงดึงปกติของเนื้อโลหะงาน

3.7.2.5 การบันทึกผลการทดสอบ

ทำการบันทึกผลการทดสอบลงในตารางที่ออกแบบไว้เพื่อใช้บันทึกข้อมูลสำหรับใช้หาสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อมที่ต้องการ รายละเอียดในใบบันทึกผลการทดสอบ (Procedure Qualification Record: PQR) ต้องประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

1. กระแสในการเชื่อม
2. ความเร็วในการเชื่อม
3. คำนวณค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)
3. คำนวณค่าความต้านแรงดึงจุดคราดสูงสุด
4. คำนวณค่าความแข็งบริเวณโลหะงาน บริเวณได้รับผลกระทบร้อน และบริเวณแนวเชื่อมสูงสุด

3.7.3 การตรวจสอบโครงสร้าง มหภาคและจุลภาค

มีลำดับขั้นการดำเนินการดังนี้

1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ (Specimen)
2. การขัดด้วยกระดาษทราย (Grinding) ด้วยเบอร์ 150 – 1,000
3. การขัดมัน (Polishing)
4. การกัดด้วยสารละลาย (Etching)
5. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopy)
6. การถ่ายภาพโครงสร้าง

รูปที่ 3.14 แสดงการขัดชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องขัด

รูปที่ 3.15 แสดงชิ้นงานทดสอบที่ขัดเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 3.16 แสดงการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานทดลองด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.8 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างงานเชื่อมในแต่ละตัวแปร โดยใช้ สถิติ ดังนี้

3.8.1 ค่าเฉลี่ย (Mean) ($\overline{X}$)

การหาค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวโดยใช้สูตร [5]

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X}{N}$$

เมื่อ $\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

$\sum_{i=1}^{n} X$ = ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

n = จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

3.8.2 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard error of mean)

เป็นการวัดค่าการกระจายของข้อมูล (Measure Variability) ที่เบี่ยงเบนออกจากค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยใช้สูตร [5]

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x - \bar{x}\right)^2}{n-1}}$$

เมื่อ S = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x = ข้อมูลแต่ละจำนวน

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

n = จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

3.8.3 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน [5]

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแปรปรวน มีดังนี้

1. กำหนดสมมุติฐานเพื่อการทดสอบ
2. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α)
3. คำนวณหาค่า F
4. เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้
5. สรุปผล และแปรความหมาย