

## บทที่ 5 สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองงานเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW และ กระบวนการเชื่อม FCAW สามารถสรุปผลได้ จากการบิดงอเชิงมุมของชิ้นงาน พฤติกรรมความร้อนที่เกิดขึ้นลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อม การหลอมลึกของแนวเชื่อม การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา และการทดสอบสมบัติทางกล ได้ดังนี้

1. การบิดงอเชิงมุม (Distortion) ของงานเชื่อม พบว่า มีการบิดงอเชิงมุมของงานเชื่อมขึ้น ทั้ง 2 กระบวนการที่ต่างกันเล็กน้อย แต่ค่าทางสถิติจะแสดงให้เห็นว่า การบิดงอเชิงมุมของงานเชื่อม ไม่พบค่าความแตกต่างกัน

2. พฤติกรรมความร้อนที่เกิดขึ้น พบว่าทุกพารามิเตอร์ในการทดลองส่งผลทางด้านความร้อน (Heat Input) และการเย็นตัวของแนวเชื่อม โดยกระบวนการเชื่อม FCAW มีความร้อนมากกว่า กระบวนการเชื่อม GMAW และเย็นตัวได้ช้ากว่ากระบวนการเชื่อม GMAW

3. ผลทางกายภาพ พบว่าทั้งสองกระบวนการเชื่อมให้ลักษณะของแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน โดย กระบวนการเชื่อมแบบ GMAW จะให้ขนาดของแนวเชื่อมที่เล็กกว่าและสูงกว่า กระบวนการเชื่อม FCAW ทั้งนี้เกิดจากความร้อน (Heat Input) ที่ไม่เท่ากัน

4. การหลอมลึก พบว่ากระบวนการเชื่อม GMAW จะมีการหลอมลึกที่มากกว่ากระบวนการเชื่อม FCAW เนื่องจากกำมะถัน (Sulfur) ที่ผสมอยู่ในลวดเชื่อมของกระบวนการเชื่อม GMAW มีมากกว่ากระบวนการเชื่อม FCAW

5. การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค สามารถบ่งบอกได้ว่าขนาดเกรน (Grain Size) ของ กระบวนการเชื่อม FCAW จะมีขนาดที่โตกว่าการเชื่อมแบบ GMAW ทั้งนี้มาจากอัตราการเย็นตัวที่ช้ากว่าจึงทำให้มีเวลามากพอที่จะทำให้เกรนมีการขยายตัวมากขึ้น

6. ผลการทดสอบสมบัติทางกลค่าความแข็ง พบว่าค่าความแข็งจากการทดลองงานเชื่อมด้วย กระบวนการเชื่อม GMAW และ FCAW ทั้งสองกระบวนการ มีค่าความแข็งทางสถิติ SPSS แสดงให้เห็นว่าทุกบริเวณของงานเชื่อม บริเวณเนื้อโลหะ (BM),บริเวณกระแทบร้อน (HAZ) และบริเวณแนวเชื่อม(WM) ไม่มีความแตกต่างกัน

7. สมมุติฐานการวิจัย การบิดงอเชิงมุมของเหล็กกล้าคาร์บอนจาก กระบวนการเชื่อม GMAW และ กระบวนการเชื่อม FCAW มีความแตกต่างกัน สรุปได้ว่าไม่เป็นจริงเนื่องจากค่าทางสถิติ t-Value และค่า Sig ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงการบิดงอเชิงมุมของงานเชื่อมไม่พบค่าความแตกต่างกันของการบิดงอเชิงมุมของงานเชื่อม

## 5.2 การอภิปรายผล

1. การบิดงอเชิงมุม (Distortion) พบว่า มีการบิดงอเชิงมุมของงานเชื่อมขึ้นทั้ง 2 กระบวนการ ที่ต่างกันเล็กน้อย แต่จากค่าเฉลี่ยจะพบว่าในกระบวนการเชื่อม GMAW มีการบิดงอที่มากกว่า ในกระบวนการเชื่อม FCAW เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ Marangoni Convection เพราะกำมะถัน (Sulfur) ที่อยู่ในลวดเชื่อมกระบวนการเชื่อม GMAW มีมากกว่าลวดเชื่อมกระบวนการเชื่อม FCAW ทำให้มีค่าแรงตึงผิว (Surface Tension) ที่มากกว่า จึงทำให้ค่าความหนาของรอยเชื่อมจริง (Throat) ของการหลอมลึกมากกว่า ทำให้เกิดการหดตัวของแนวเชื่อม และส่งผลต่อความเค้นตกค้างตามขวางของแนวเชื่อม ทำให้มีแนวโน้มการบิดงอเชิงมุมของงานเชื่อมมากขึ้น ดังนั้นการบิดงอเชิงมุมของงานเชื่อมกระบวนการเชื่อม GMAW จึงมีแนวโน้มที่มากกว่าการบิดงอเชิงมุมของกระบวนการเชื่อมซึ่ง ความเครียดในทิศทางตามยาวของแนวเชื่อมไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ การบิดงอตามยาวและการบิดงอเชิงมุม แต่ pretensioning ทำให้ความเครียดในทิศทางขวางของแนวเชื่อม ทำให้เกิดการบิดงอของงานเชื่อม [18] และความเค้นตกค้าง และการบิดงอในการเชื่อมต่อมุมตัวที่ 1 ว่ามีความเครียดตกค้างแนวขวางแรงดึงสูงเกิดใกล้ฐานแนวเชื่อม และ การกระจายอุณหภูมิทำให้เกิดการบิดงอของแนวเชื่อมเชิงมุมขึ้น [21]

2. การหลอมลึก พบว่า กระบวนการเชื่อมแบบ GMAW จะมีการหลอมลึกที่มากกว่า กระบวนการเชื่อมแบบ FCAW เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ Marangoni Convection เพราะกำมะถัน (sulfur) ที่อยู่ในลวดเชื่อมกระบวนการเชื่อม GMAW มีมากกว่าลวดเชื่อมกระบวนการเชื่อม FCAW ทำให้มีค่าแรงตึงผิว (Surface Tension) ที่มากกว่า จึงทำให้ค่าความหนาของรอยเชื่อมจริง (Throat) ที่ลึกกว่ากระบวนการเชื่อม FCAW และค่าขาของรอยเชื่อม (Leg) ของแนวเชื่อมมีขนาดที่กว้างกว่า กระบวนการเชื่อม GMAW และความเร็วของการเดินแนวเชื่อมจะส่งผลทำให้เกิดการเย็นตัวที่เร็วขึ้น ขนาดของการหลอมลึกมีขนาดที่เล็กลง ส่งผลทำให้ค่าของความหนาของรอยเชื่อมจริงลดลง นอกจากนั้นยังพบว่า อิทธิพลตัวแปรพารามิเตอร์มีผลต่อการหลอมลึกในแนวเชื่อมของกระบวนการเชื่อม GMAW จะเพิ่มขึ้น ด้วยการเพิ่มค่าของกระแสไฟเชื่อม แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเชื่อมและยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมขนาดขอบเกรนของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคจากใหญ่กว่าเป็นขนาดที่เล็กกว่า เมื่อความเร็วในการเชื่อม เพิ่มขึ้น [22]

3. การตรวจวัดความแตกต่างทางกายภาพ การเชื่อมแบบ GMAW จะให้ขนาดของแนวเชื่อมที่เล็กกว่าและนูนกว่า การเชื่อมแบบ FCAW เนื่องจากความร้อนและอัตราการเย็นตัวที่น้อยกว่า เพราะการเชื่อม GMAW มีความร้อนที่น้อยกว่าส่งผลให้เกิดบ่อหลอมละลายที่แคบกว่าทำให้แนวเชื่อมมีขนาดที่เล็กกว่า ในขณะที่การเชื่อมแบบ FCAW มีฟลักซ์ปกคลุมแนวเชื่อมทำให้เกิดความร้อนที่มากกว่าส่งผลให้เกิดบ่อหลอมละลายที่กว้างกว่าทำให้แนวเชื่อมมีขนาดที่กว้างกว่า โดยพฤติกรรมการหยดของน้ำโลหะในกระบวนการเชื่อม GMAW มีความแตกต่างกันจากระดับความเร็วในกระบวนการ

เชื่อม ความเร็วต่ำกว่าค่าการหยดน้ำโลหะจะพบว่าแนวเชื่อมมีขนาดใหญ่ และเมื่อความเร็วมากขึ้น หยดน้ำโลหะจะอยู่นอกบ่อหลอมละลายทำให้แนวเชื่อมเล็กลงรวมถึงการหลอมละลายลดลง [19]

4. การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค พบว่าขนาดเกรน (Grain Size) ของกระบวนการเชื่อม FCAW จะมีขนาดที่โตกว่า กระบวนการเชื่อมแบบ GMAW เนื่องจากกระบวนการเชื่อม FCAW มีอัตราการเย็นตัวที่ช้ากว่า เพราะอัตราการเย็นตัวที่ช้าทำให้เกิดความร้อนที่มากกว่า เกรนมีพลังงานในการโตของเกรน (Grain Growth) ที่มากกว่า จึงส่งผลให้เกรนมีการขยายตัวมากกว่า เพราะการเพิ่มขึ้นของขนาดของเกรนของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค จากที่มีขนาดใหญ่กว่า เปลี่ยนเป็นขนาดที่เล็กกว่า มาจากพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันในกระบวนการเชื่อม (FCAW) [20]

5. การวัดความแข็ง พบว่ากระบวนการเชื่อมแบบ FCAW และกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ความแข็งของเนื้อ โลหะ (BM) จะน้อยกว่าบริเวณ กระบร้อน (HAZ) เล็กน้อยและส่วนบริเวณเนื้อเชื่อม (WM) จะให้ค่าความแข็งมากที่สุด แต่ผลงานวิจัยของ ยงยุทธ ดุลยกุล. พบว่า “ ความแข็งในเนื้อโลหะ (BM) จะสูงกว่าบริเวณเนื้อเชื่อม (WM) เล็กน้อยและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (HAZ) จะให้ค่าความแข็งมากที่สุด ” [3]

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรนำข้อสรุปในงานวิจัยในครั้งนี้ไปปรับปรุงศึกษาเพิ่มเติม โดยการเปลี่ยนวัสดุใน การทดลองและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเชื่อมเพื่อหาความเหมาะสมของงานเชื่อมต่อไป