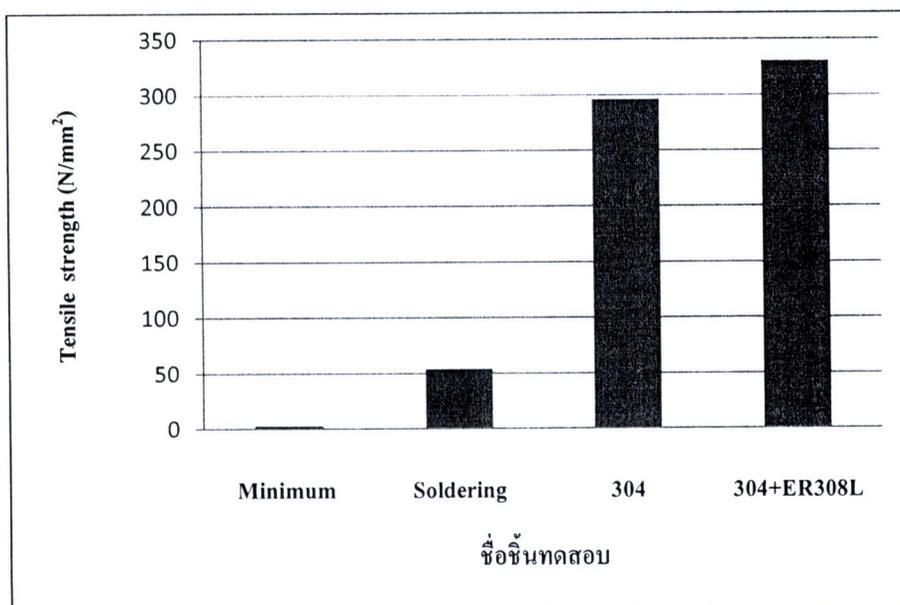


4. ข้อวิจารณ์

4.1. การทดสอบสมบัติของรอยต่อที่ขึ้นกับกระบวนการการต่อโลหะ

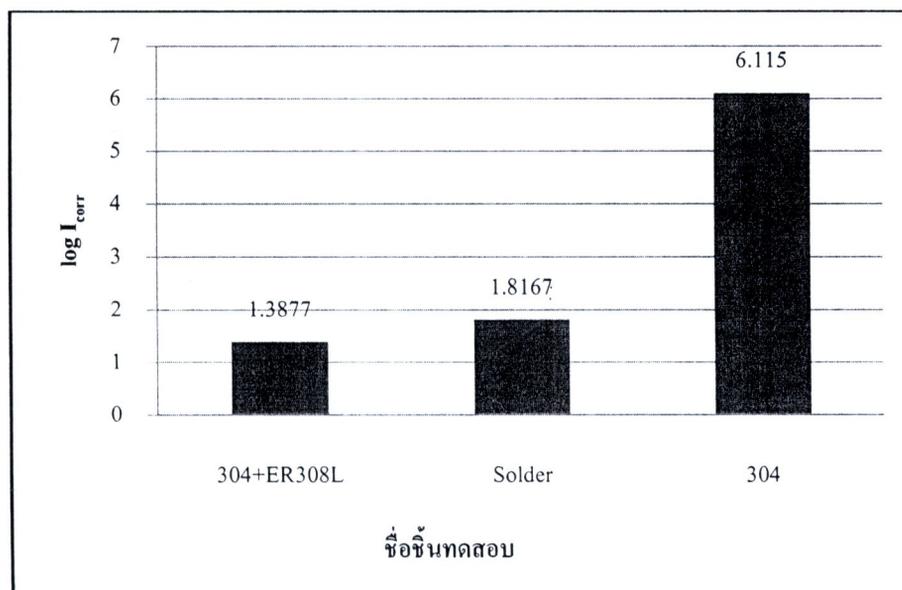
ภาวะแรงดันที่รอยต่อ โดยกระทำจากแรงดันน้ำสถิต ที่ได้จากน้ำในภาชนะบรรจุที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.85 เมตร สูง 0.8 เมตรที่คำนวณจากสูตรที่ (2) ได้ผลเป็นแรงดันที่กระทำกับรอยต่อที่เรียกว่า Minimum Tensile Strength (N/mm^2) เปรียบเทียบกับผลของความเค้นแรงดึงของชิ้นทดสอบ ในรูปที่ 19 ค่าความเค้นแรงดึงของตัวอย่างชิ้นทดสอบมีค่ามากกว่าความเค้นแรงดึงที่เกิดจากภาวะไหลของน้ำ ชิ้นทดสอบ 304+ER308L มีค่าด้านทานแรงดึงสูงสุดเป็นผลมาจากการเติมโลหะป้อนเติมในแนวเชื่อมทำในแนวเชื่อมมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นทำให้เกิดรอยขาดที่บริเวณกระทบร้อนเป็นส่วนของโลหะฐาน และชิ้นทดสอบ 304 เป็นชิ้นงานที่เชื่อมแบบ Autogenous การหลอมละลายทำให้พื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อมบางส่วนมีขนาดเล็กกว่าโลหะฐานทำให้เกิดการเสียหายที่โลหะเชื่อมและชิ้นทดสอบ Soldering แสดงการต้านทานแรงดึงต่ำสุด เนื่องจากความแข็งแรงของรอยต่อที่ได้มาจากการเข้าตะเข็บและส่วนหนึ่งจากโลหะบัดกรี โดยโลหะบัดกรีความแข็งแรงน้อยกว่าแนวเชื่อมรวมทั้งเนื่องจากรอยต่อไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันจึงให้ความแข็งแรงที่ต่ำกว่า แต่เมื่อเปรียบกับค่าแรงดันน้ำสถิตที่เกิดในภาชนะ รอยต่อทั้งสามประเภทมีความแข็งแรงพอที่จะรับภาวะไหลจากแรงดันน้ำได้



รูป 19 กราฟการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึง

4.2. การทดสอบความสามารถในการทำงานได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องใช้เหล็กกล้าไร้สนิม:
 ภาชนะหุงต้มที่รอยต่อประสาน (มอก.2440-2552)

ผลการทดสอบการอัตราการกัดกร่อนของรอยประสานบนรอยต่อของเหล็กกล้าไร้สนิม ด้วยเทคนิควิธีโพเทนซิออสไตโนมิกโพลาริเซชัน ในตารางที่ 5 นำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยของค่า I_{corr} ได้ผลแสดงในรูปที่ 20



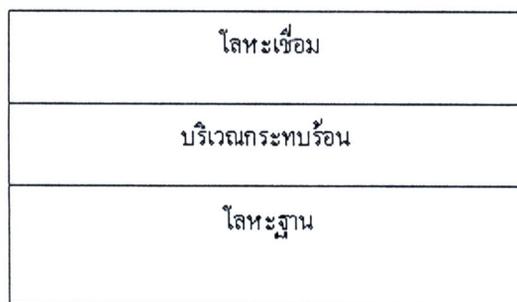
รูป 20 กราฟการเปรียบเทียบ I_{corr} ของกลุ่มชิ้นทดสอบ

จากรูปที่ 20 ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าของ I_{corr} สามารถเรียงลำดับของอัตราการกัดกร่อนได้ผลคือชิ้นทดสอบ TIG Autogenous มีอัตราการกัดกร่อนมากที่สุดซึ่งเป็นการเชื่อมแบบ Autogeneous การเชื่อมประเภทนี้มักพบในการเชื่อม เลเซอร์ (Laser Welding) รวมถึงการเชื่อมทิก สำหรับโลหะบาง ๆ และรองลงมาเป็นชิ้นงาน Solder แสดงอัตราการกัดกร่อนใกล้เคียงกับชิ้นทดสอบ 304+308L ซึ่งเป็นชิ้นทดสอบที่เชื่อมทิกที่โลหะเชื่อมมีการปรุงส่วนผสมด้วยโลหะป้อนเติม ER 308L เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะเชื่อม ส่งผลให้มีอัตราการกัดกร่อนต่ำสุด ในส่วนการไม่เท่ากันของค่า E_{corr} ในกราฟโพลาริเซชันของแต่ละการทดสอบซึ่งอาจเป็นผลมาจากการชิ้นงานเองเนื่องจากการเตรียมผิวชิ้นทดสอบที่ส่งผลต่อคุณภาพผิว ทำให้การเริ่มต้นของจุดการเกิดการกัดกร่อนที่ต่างกัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าของ E_{corr} ในตารางที่ 5 ผลของการทดลองพบอิทธิพลทางความร้อนของทั้งสองกระบวนการที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติทางโลหะวิทยาของวัสดุ ทำให้คุณสมบัติทางด้านการกัดกร่อนแตกต่างกัน ซึ่งกระบวนการเชื่อมทิกเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีการให้ความร้อนที่สูงทำให้โครงสร้างของโลหะฐาน (Base Metal) เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคหรือที่เรียกว่าบริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone, HAZ) จึงทำให้เหล็กสูญเสียคุณสมบัติการต้านทานการกัดกร่อนไปได้ในลักษณะของการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน (Intergranular Corrosion) หรือที่เรียกว่า Weld Decay นั่นเอง แต่ในขณะที่กระบวนการบัดกรีอ่อนโลหะฐานได้รับอุณหภูมิ

ที่น้อย ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคทำให้การต้านทานการกัดกร่อนในส่วนของโลหะฐานจะยังคงเดิมซึ่งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเป็นการกัดกร่อนของโลหะบักกรี

4.3. การสืบค้นการกัดกร่อนโลหะเชื่อมระดับจุลภาค

จากผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องใช้เหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อพิจารณาเฉพาะกลุ่มชั้นทดสอบที่เชื่อมทิก (ชั้นทดสอบ TIG Autogenous และ TIG308L) พบว่าชั้นทดสอบ TIG Autogenous มีอัตราการกัดกร่อนที่สูงกว่าชั้นทดสอบ TIG308L มาก เมื่อพิจารณาความแตกต่าง โครงสร้างของชั้นทดสอบสามารถแบ่งพื้นที่ของความแตกต่างของลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็น 3 ส่วนคือ โลหะเชื่อม (Weld Metal), บริเวณกระทบร้อน (HAZ), โลหะฐาน (Base Metal) ดังรูปที่ 21 การเชื่อมชั้นทดสอบที่มีโลหะป้อนเติม ER 308L ทำให้ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมเปลี่ยนแปลงไปจากโลหะเชื่อมของชั้นทดสอบ TIG Autogenous ส่งผลให้การกัดกร่อนในลักษณะที่แตกต่างกัน



รูป 21 บริเวณต่างๆที่เกิดบนชิ้นงานเชื่อม

ผลของความแตกต่างของโครงสร้างจุลภาคที่มีความแตกต่างกันบนชิ้นงาน บริเวณรอยต่อที่ได้จากการเชื่อม มีการกัดกร่อนที่แตกต่างกันส่งผลให้มีอัตราการกัดกร่อนแตกต่างกัน ในส่วนของโลหะฐานมีการต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่าบริเวณโลหะเชื่อม บริเวณกระทบร้อน เนื่องจากเป็นบริเวณที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดหลังการเชื่อม จึงมีความสมบูรณ์ของพาสซีฟฟิล์ม (Passive Film) ที่ยังคงทำหน้าที่ช่วยต้านทานการกัดกร่อนของโลหะฐาน [10]

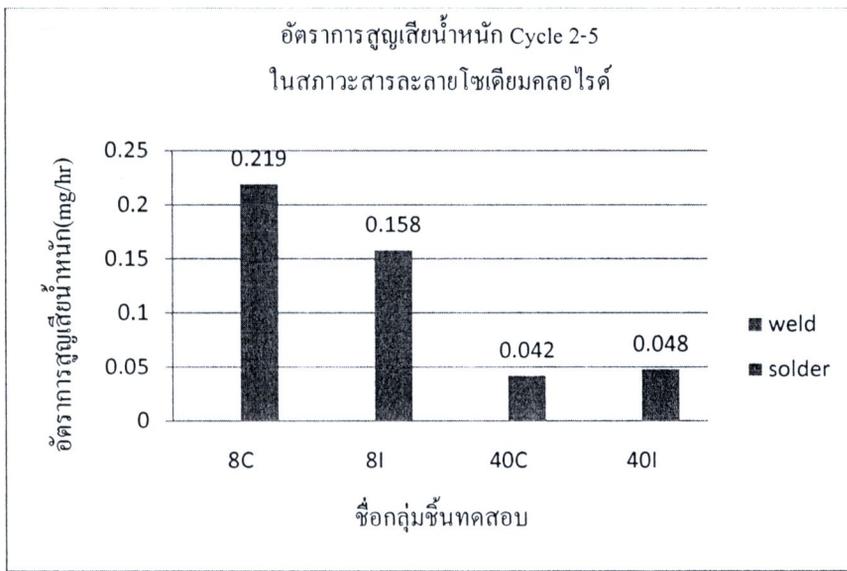
เมื่อพิจารณาการกัดกร่อนของบริเวณกระทบร้อน(HAZ) บริเวณนี้ได้รับผลจากความร้อนที่สูงจากการเชื่อมจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคเกิดโครงสร้างที่ไม่พึงประสงค์ของ โครเมียมที่รวมตัวกับคาร์บอนเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) ที่มักจะเกิดกับเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการเชื่อม ซึ่งโครงสร้างลักษณะนี้มีความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน (Intergranular Corrosion) และการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting Corrosion) [8, 10] การกัดกร่อนลักษณะนี้มีลักษณะการกัดกร่อนแบบเฉพาะจุด (Localize Corrosion) ที่เกิดกับโครเมียมคาร์ไบด์หรือบริเวณรอบข้าง จะแสดงอัตราการกัดกร่อนและผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อน (Corrosion Product) ที่ต่ำ เพราะบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนจะมีลักษณะเป็นร่อง หลุม หรือ โพลง ที่มีทิศทางกินลึกเข้าสู่เนื้อโลหะอย่างรวดเร็ว ทำให้การกัดกร่อนแบบเฉพาะที่เป็นการกัดกร่อนที่มีความรุนแรงทำให้ภาชนะมีการเสียหายได้อย่างรวดเร็ว ต่างจากการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นทั้งผิวหน้า (Uniforms Corrosion) ที่ให้ปริมาณการกัดกร่อนที่สูงแต่ถือเป็นการกัดกร่อนที่ไม่รุนแรง เนื่องจากสามารถคาดการณ์และออกแบบเพื่อไว้ได้เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ของบริเวณกระทบร้อนของชิ้นงานเชื่อม

นอกจากนี้ชิ้นงานเชื่อมทั้ง 2 กรณีผ่านการเชื่อมจากค่าพลังงานความร้อนเข้า (Heat Input) ที่ไม่แตกต่างกัน ทำให้ผลของพื้นที่ของบริเวณกระทันมีขนาดไม่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อทำการทดสอบหาอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานแล้วสามารถระบุถึงความแตกต่างโลหะเชื่อมเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความแตกต่างส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างจุลภาค ทั้งนี้สามารถตรวจสอบการกัดกร่อนของโลหะเชื่อมเพิ่มเติมได้โดยการจำลองเชื่อมในแม่พิมพ์ทองแดง เพื่อหาความแตกต่างของโครงสร้างจุลภาคและอัตราการกัดกร่อนตามส่วนผสมทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไป

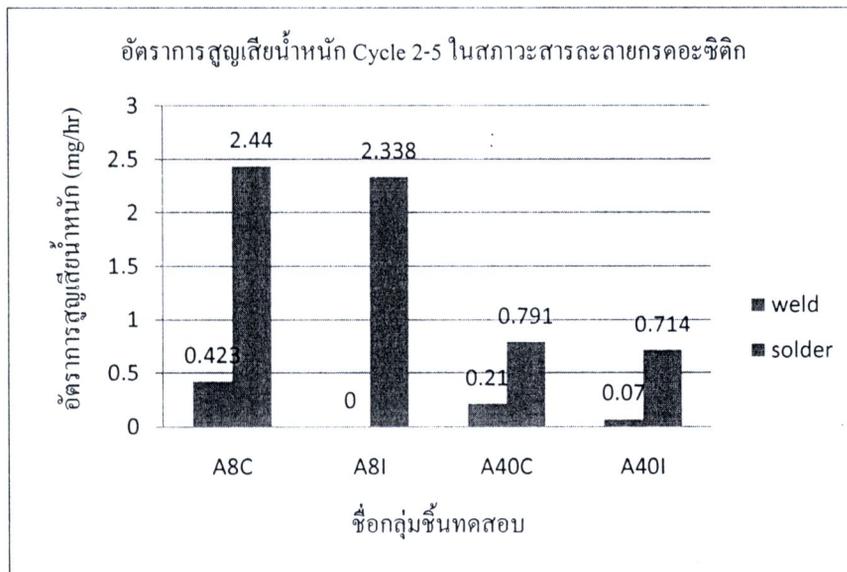
โลหะเชื่อมที่มีการเชื่อมแบบเติมโลหะเดิมเมื่อพิจารณาจากขอบของแนวเชื่อม (Fusion Line) ผ่านเข้าสู่บริเวณการเปลี่ยนแปลงส่วนผสม(Transition Zone) จนถึงกลางโลหะเชื่อม (Center Line) โลหะเชื่อมจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกันจริงตามระยะทางจากขอบแนวเชื่อมถึงกลางแนวเชื่อม อย่างไรก็ตามในกรณีสำหรับชิ้นงานบางความแตกต่างดังกล่าวจึงมีไม่มาก จากผลการทดสอบด้วยกรดออกซาลิก 10% ในรูปที่ 8 โครงสร้างของโลหะเชื่อมมีลักษณะที่แตกต่างกันตามส่วนผสมของ ER309L ซึ่งในบางกรณีอัตราการเย็นตัวก็ส่งผลต่อการเกิดโครงสร้างที่แตกต่างกันด้วย [8] ชิ้นทดสอบที่มีการเชื่อมทิกไม่มีการป้อนเติมโลหะป้อนเติม 100:0 ที่มีสัดส่วน Cr/Ni จากการคำนวณค่า ตรงกับลักษณะการแข็งตัวของโครงสร้าง (Solidification Mode) แบบ FA Mode มีอัตราการเย็นตัวที่สูง ส่งผลกระทบน้อยต่อการฟอร์มตัวของเฟอร์ไรต์ มีลักษณะโครงสร้างเป็น Lathy ferrite รูปแบบการกัดกร่อนที่พิจารณา จึงเป็นการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ อยู่นอกเหนือจากการพิจารณาการเกิดพื้นที่ Ditched ที่แสดงผลการกัดกร่อนในรูปที่ 10 ด้วยอัตราการกัดกร่อนที่สูงสุด การเงาของ ER 309L ของชิ้นทดสอบ 80:20 โครงสร้าง Lathy Ferrite เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น Skeleton Ferrite ตามสัดส่วน Cr/Ni ที่เพิ่มขึ้น ปริมาณเฟอร์ไรต์จึงเพิ่มขึ้นไปด้วย ในขณะที่รูปแบบการกัดกร่อนเป็นแบบสม่ำเสมอแต่มีปริมาณการกัดกร่อนต่ำอาจจะไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้ในกรณีนี้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Ditched Area ในรูปที่ 9 ในชิ้นทดสอบที่มีส่วนผสมของ ER309L ตั้งแต่ 40% และส่วนผสมที่สูงกว่า เฟอร์ไรต์ที่เกิดมีลักษณะเป็น Skeleton Ferrite ที่แสดงถึงความเสถียรของเฟอร์ไรต์เพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วน Cr/Ni สูง สันเหตุจากโครงสร้างของ Skeleton Ferrite ที่เด่นชัดขึ้นในรูปที่ 8 การเกิดโครงสร้างลักษณะนี้ อัตราการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบเป็นผลมาจากลักษณะการกัดกร่อนแบบเฉพาะบริเวณที่เกิดกับเฟอร์ไรต์ พื้นที่เกิดการกัดกร่อนแสดงเป็นพื้นที่ของ Ditches รวมถึงการเกิดเซลล์กาวานิก (Galvanic Cell) ระหว่างแกนเฟอร์ไรต์และโครงสร้างของ ออสเทนไนท์ สิ่งเหล่านี้เป็นผลให้เกิดการสูญเสียเฟอร์ไรต์ในลักษณะสอดคล้องกับการเกิดพื้นที่ของ Dark Ditched [16], [17], [18]

4.4. การทดสอบการกักร่อนภายใต้การจำลองแบบสภาวะการใช้งาน

ผลของการวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นทดสอบในสภาวะสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในรูปที่ 11-14 นำมาหาอัตราการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบจากค่าเฉลี่ยของความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโดยคิดจาก Cycle ที่ 2-5 ที่เวลา 8-40 ชั่วโมงสำหรับกลุ่มชิ้นทดสอบ 8C, 8I และที่เวลา 40-200 ชั่วโมงสำหรับกลุ่มชิ้นทดสอบ 40C, 40I แสดงในรูปที่ 22 และรูปที่ 23 อัตราการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบในสภาวะสารละลายกรดอะซิติก



รูป 22 ค่าเฉลี่ยอัตราการกัดกร่อนของจาก Cycle ที่ 1-5 สภาวะสารละลายโซเดียมคลอไรด์



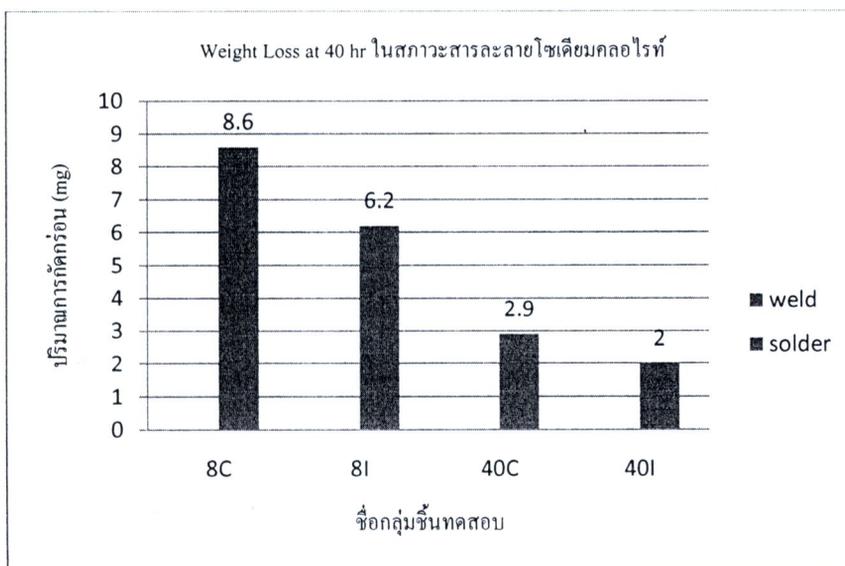
รูป 23 ค่าเฉลี่ยอัตราการกัดกร่อนของจาก Cycle ที่ 1-5 สภาวะสารละลายกรดอะซิติก

การเปรียบเทียบความรุนแรงของสภาวะสารละลายต่อการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบสำหรับกลุ่มชิ้นทดสอบ Weld การกัดกร่อนภายใต้สภาวะสารละลายกรดอะซิติก (Acetic Weld) รุนแรงกว่าสภาวะสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl Weld) และสำหรับชิ้นทดสอบกลุ่ม Solder มีอัตราการกัดกร่อนในสภาวะสารละลายกรดอะซิติก (Acetic Solder) สูงกว่าสภาวะสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl Solder) ทุกกลุ่มชิ้นทดสอบ

การเปรียบเทียบลักษณะการใช้งาน ระหว่างการล้างหลังการทดสอบทันทีที่อยู่ในกลุ่มชิ้นทดสอบ 8C และการแช่ไว้ 8 ชั่วโมงก่อนล้างอยู่ในกลุ่มชิ้นทดสอบ 8I ภายใต้สภาวะสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จากรูปที่ 22 สำหรับชิ้นทดสอบกลุ่ม NaCl Weld ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก ในส่วนของชิ้นทดสอบกลุ่มบัดกรี NaCl Solder ชิ้นทดสอบกลุ่ม 8C มีอัตราการกัดกร่อนสูงกว่าชิ้นทดสอบกลุ่ม 8I แต่เมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลารวมทั้งสูงขึ้นไป 200 ชั่วโมงของกลุ่มชิ้นทดสอบ 40C, 40I พบว่ากลุ่มชิ้นทดสอบที่แช่ก่อนการล้างในกลุ่มชิ้นทดสอบ 40I มีอัตราการกัดกร่อนสูงกว่ากลุ่มชิ้นทดสอบ 40C แสดงให้เห็นว่าสำหรับรอยต่อด้วยการบวมการบัดกรีเหมาะกับการใช้และทำความสะอาดหลังการดัดทำให้อัตราการกัดกร่อนน้อยลงในระยะยาว

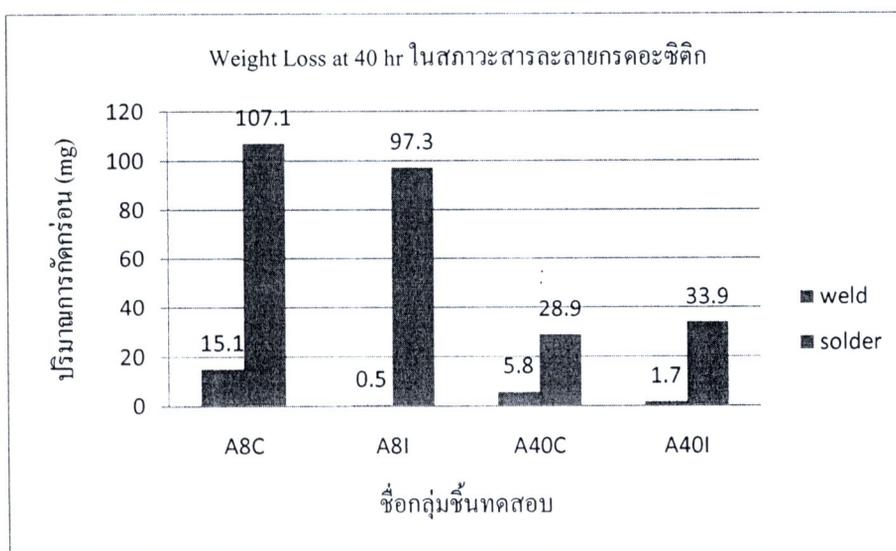
และการทดสอบภายใต้สภาวะสารละลายกรดอะซิติกของชิ้นงาน Solder ในรูปที่ 23 กลุ่มชิ้นทดสอบที่แช่ชิ้นทดสอบก่อนล้างอยู่ในกลุ่ม A8I, A40I มีอัตราการกัดกร่อนที่ใกล้เคียงกลุ่มชิ้นงานทดสอบที่ล้างทันทีอยู่ในกลุ่ม A8C, A40C ในส่วนของกลุ่มชิ้นงานเชื่อม กลุ่มชิ้นทดสอบ A8I ไม่เกิดการกัดกร่อน และกลุ่มชิ้นทดสอบ A8C มีอัตราการกัดกร่อนสูงสุด เมื่อสังเกตการณ์ทดสอบที่ 40 ชั่วโมง กลุ่มชิ้นทดสอบ A40C มีอัตราการกัดกร่อนสูงกว่า A40I แสดงว่าการแช่ชิ้นงานหลังการทดสอบการล้าง ภายใต้สภาวะสารละลายกรดอะซิติกมีผลน้อยต่อการเกิดการกัดกร่อน

การเปรียบเทียบการใช้งานที่เวลารวม 40 ชั่วโมงมีการทดสอบประเภท การทดสอบครั้งละ 8 ชั่วโมงจำนวน 5 Cycle ของกลุ่มชิ้นทดสอบ 8C, 8I และทดสอบต่อเนื่องที่ 40 ชั่วโมงต่อเนื่องของกลุ่มชิ้นทดสอบ ที่แสดงปริมาณรวมของการสูญเสียหนักที่ 40 ชั่วโมง ในรูปที่ 24 สำหรับสภาวะสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และรูปที่ 25 สภาวะสารละลายกรดอะซิติก



รูป 24 ปริมาณการสูญเสียน้ำหนักรวมของชิ้นทดสอบในสภาวะสารละลายโซเดียมคลอไรด์

จากรูปที่ 24 กลุ่มชิ้นทดสอบ Weld ไม่แสดงปริมาณการสูญเสียน้ำหนัก ค่าที่เห็นได้ชัดเป็นผลการสูญเสียน้ำหนักของกลุ่มชิ้นทดสอบ Solder ชิ้นทดสอบกลุ่ม 8C ให้ปริมาณการกัดกร่อนสูงสุด รองลงมาเป็นกลุ่มชิ้นทดสอบ 8I, 40C และ 40I ให้ปริมาณการกัดกร่อนต่ำสุดตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะกลุ่มชิ้นทดสอบที่ทดสอบต่อเนื่องที่ 40 ชั่วโมง กับกลุ่มชิ้นทดสอบที่ไม่ต่อเนื่องที่ทดสอบครั้งละ 8 ชั่วโมง จำนวน 5 ครั้ง ปริมาณการกัดกร่อนของกลุ่มชิ้นงานที่สัมผัสต่อเนื่องมีปริมาณน้อยกว่ากลุ่มชิ้นทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง อาจเป็นจากผลของจำนวนครั้งของการล้างที่มากกว่า ซึ่งการล้างใช้ชุดรีไซเคิลทำให้ออกไซด์ของโลหะหลุดออกง่ายขึ้นเกิดการสูญเสียเนื้อมากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มชิ้นทดสอบ ที่ทดสอบแบบต่อเนื่องที่มีจำนวนครั้งการล้าง 1 ครั้ง



รูป 25 ปริมาณการสูญเสียน้ำหนักรวมของชิ้นทดสอบในสภาวะสารละลายกรดอะซิติก

จากรูปที่ 25 พิจารณาที่กลุ่มชิ้นทดสอบ Weld กลุ่มชิ้นทดสอบ A8C มีปริมาณการกัดกร่อนสูงสุดรองลงมาด้วย A40C, A40I และ A8I กลุ่มชิ้นทดสอบที่แช่ไว้ก่อนการล้างมีปริมาณการกัดกร่อนที่น้อยกว่า เป็นผลมาจากในสารภาวะสารละลายอะซิติกที่อุณหภูมิห้องช่วยในการสร้างพาสซีฟฟิล์ม (Passive Film) ของโครเมียมของชิ้นทดสอบ สำหรับการพิจารณาที่กลุ่มชิ้นงาน Solder ในกลุ่มชิ้นทดสอบ A8C, A8I มีปริมาณการกัดกร่อนที่มากกว่ากลุ่มชิ้นทดสอบ A40C, A40I เป็นผลมาจากจำนวนครั้งการล้างที่มากกว่าจากการล้างด้วยอุตราโซนิกทำให้ออกไซด์ของโลหะหลุดออกได้ง่ายขึ้นเกิดการสูญเสียเนื้อมากขึ้น