



การตรวจับการกัดกร่อนแบบยูนิฟอร์มในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และรอยเชื่อมด้วยวิธีอะคูสติกอิมิชชัน

Uniform Corrosion Monitoring in Low Carbon Steel and Weld using Acoustic Emission

อาษา ประทีปเสน* มัณฑนา ศรีนาง และ มนตรี กุดัน

Asa Pratepasen Mantana Srinang and Montri Kudun

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

126 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทรศัพท์ 0-2470-9296

Email: iasaasen@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำการตรวจสอบโดยไม่ทำลายวิธีอะคูสติกอิมิชชัน (Acoustic Emission : AE) ทำการตรวจับการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) ซึ่งวิธีการตรวจสอบนี้เป็นตรวจับสัญญาณคลื่นเสียงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุ และเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการตรวจสอบอื่นๆ คือ สามารถตรวจสอบวัสดุอุปกรณ์ขณะที่กำลังใช้งานอยู่และเป็นการตรวจสอบก่อนที่จะเกิดการเสียหายจึงสามารถที่จะทำการป้องกัน แก้ไขหรือซ่อมแซมวัสดุอุปกรณ์ก่อนจะเกิดการเสียหายได้ ซึ่งในการวิจัยจะศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน (AE-Parameter) โดยนำวัสดุที่ใช้ทำถังพักบรรจุคือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด A36 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด A36 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมลวดหุ้มฟลักซ์ (SMAW) โดยการเชื่อมใช้ลวดเชื่อมชนิด E7016 มาทดสอบการกัดกร่อนโดยใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ที่มีค่าความเป็นกรด (pH) ต่างกัน 4 ระดับคือตั้งแต่ค่าความเป็นกรด 4.5 ถึง 6 โดยปรับค่าความเป็นกรดช่วงละ 0.5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่ทำการทดลองได้ควบคุมอัตราการกัดกร่อนให้คงที่ด้วยเครื่องควบคุมการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (Potentiostat) โดยการควบคุมค่าศักย์ไฟฟ้าให้คงที่เท่ากับค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน (E_{corr}) และได้บันทึกผลทางสัญญาณอะคูสติกอิมิชชันตลอดการทดลองโดยติดตั้งหัวตรวจสอบอะคูสติกอิมิชชันไว้ด้านข้างถังพักทดลอง ผลการวิจัยพบว่าเมื่อสภาวะการกัดกร่อนของวัสดุและกรดซัลฟูริกเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้พารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมิชชันมีลักษณะของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปด้วย และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมิชชันมีความสัมพันธ์กันในทางสมการคณิตศาสตร์

คำสำคัญ : อะคูสติกอิมิชชัน อัตราการกัดกร่อน เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กรดซัลฟูริก

1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาทางด้านการกัดกร่อนของวัสดุและอุปกรณ์เป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งปัญหาหนึ่งของทางอุตสาหกรรม ในด้านการใช้งานและการบำรุงดูแลรักษา การกัดกร่อนจะลดอายุการใช้งานของวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ และบ่อยครั้งที่ทำให้ต้องหยุดการทำงานโดยไม่ทราบล่วงหน้าหรือบางครั้งก็เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงเกิดขึ้น ซึ่งในการตรวจสอบว่ามีการกัดกร่อนหรือไม่ และการตรวจสอบความรุนแรงของการกัดกร่อนของวัสดุและอุปกรณ์ที่จะตรวจสอบ จะต้องมีขั้นตอนเตรียมการล่วงหน้าก่อนการตรวจสอบหรืออาจจะต้องทำการหยุดการทำงานของเครื่องจักร วัสดุและอุปกรณ์นั้นๆ เช่น การตรวจสอบการกัดกร่อนที่ก้นของถังบรรจุ ก่อนการตรวจสอบการกัดกร่อนจะต้องนำของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในถังบรรจุนั้นออกให้หมดก่อน แล้วจึงจะทำการตรวจสอบการกัดกร่อนได้ ซึ่งบางครั้งการตรวจสอบอาจจะไม่พบสิ่งที่ผิดปกติเลย การตรวจจับวิธีอะคูสติกอิมพัลส์เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งที่สามารถตรวจจับสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่เกิดขึ้นจากการกัดกร่อนเนื่องจากการกัดกร่อนจะทำให้โครงสร้างของวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งโครงสร้าง ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเกิดสัญญาณเสียงขึ้นทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ได้ ในปัจจุบันมีการยอมรับในการตรวจสอบการกัดกร่อนโดยการตรวจจับการกัดกร่อนด้วยวิธีอะคูสติกอิมพัลส์กันมากขึ้น เพราะการตรวจจับสัญญาณเสียงด้วยวิธีอะคูสติกอิมพัลส์สามารถนำมาใช้กับการตรวจสอบแบบเฝ้าระวังได้เป็นอย่างดี รวมทั้งสามารถตรวจสอบวัสดุและอุปกรณ์โดยที่ไม่ต้องทำการหยุดการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ดังนั้นการตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอิมพัลส์จึงเป็นวิธีการตรวจสอบที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับวัสดุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำวิธีอะคูสติกอิมพัลส์มาตรวจจับการกัดกร่อนโดยวัสดุที่ใช้ในการกัดกร่อนต่างกันได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอน [1,2] เหล็กกล้าไร้สนิม

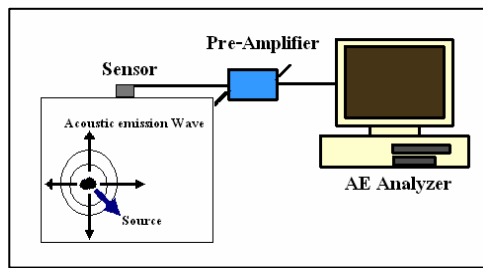
[3] และอลูมิเนียม [4] เป็นต้น วิธีการเร่งอัตราการกัดกร่อน การอาศัยสภาพแวดล้อม [5] หรือสารละลายเป็นตัวเร่งอัตราการกัดกร่อน [6] สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณได้ใช้พารามิเตอร์ทางอะคูสติกอิมพัลส์หลายตัวแปร เช่น ฮิต (Hits) [2] พลังงานเฉลี่ย (AERms) และแอมพลิจูด เป็นต้น อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์กับอัตราการกัดกร่อนของวัสดุยังไม่มีผู้ใดรายงานไว้

บทความงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสัญญาณทางอะคูสติกอิมพัลส์กับอัตราการกัดกร่อนของวัสดุ โดยการทดลองจะควบคุมการกัดกร่อนให้มีอัตราการกัดกร่อน 4 ระดับโดยใช้กรดซัลฟูริกที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกันและควบคุมการเกิดการกัดกร่อนวัสดุให้คงที่ด้วยเครื่องควบคุมการกัดกร่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัสดุทดสอบที่เลือกใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด A36 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด A36 ที่ผ่านการเชื่อม ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำถังพักบรรจุน้ำมันมาทดสอบการกัดกร่อน ในถังจำลอง โดยติดตั้งหัวตรวจสอบอะคูสติกอิมพัลส์ไว้ด้านข้างถังจำลองนั้น

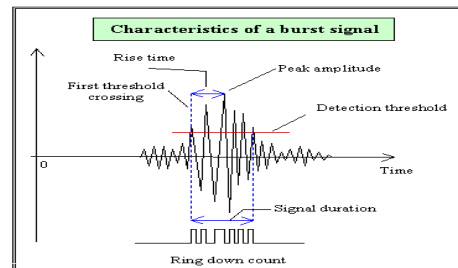
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการการตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอิมพัลส์

การปล่อยคลื่นอะคูสติกอิมพัลส์ คือ ปรากฏการณ์ที่คลื่นความยืดหยุ่นแบบชั่วคราวเกิดขึ้นจากการปลดปล่อยพลังงานอย่างรวดเร็วของแหล่งพลังงานเฉพาะจุดจากภายในเนื้อหรือผิวของวัสดุ ซึ่งการปลดปล่อยคลื่นอะคูสติกอิมพัลส์นี้จะเกิดกลไกของการเสียรูปทรง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุและการแตกหักของวัสดุซึ่งได้แก่ การคลาก (Yielding) การเคลื่อนตัว (Dislocation Motion) การขยายตัวของรอยร้าว (Crack Propagation) เป็นต้น ในขณะที่ชิ้นงานกำลังเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือเกิดความเสียหายจะปล่อยพลังงานกลในรูปของคลื่นเสียงออกมามีรูปที่ 1(A) พลังงานกลนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไป



(A)



(B)

รูปที่ 1 (A) หลักการการตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอิมพัลส์ (B) พารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์

วิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยการวิเคราะห์ การตรวจสอบจะใช้ พารามิเตอร์ทางอะคูสติกอิมพัลส์ ต่างๆ ดังรูปที่ 1(B) ทำการประมวลผล พารามิเตอร์ทาง อะคูสติกอิมพัลส์ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์กัน ดังนี้

1. ฮิต (Hits) คือ จำนวนครั้งที่เกิดสัญญาณคลื่น อะคูสติกอิมพัลส์ขึ้น
2. แอมพลิจูดสูงสุด (Peak Amplitude) คือ แอมพลิจูด สูงสุดของสัญญาณคลื่นอะคูสติกอิมพัลส์ใน 1 ฮิต
3. เคานท์ (Count) คือ จำนวนแอมพลิจูดของสัญญาณที่มี ค่าสูงกว่าค่าจำกัดเริ่มต้น
4. ไรส์ไทม์ (Rise Time) คือ ระยะเวลาระหว่างช่วง ตั้งแต่สัญญาณมีค่าสูงกว่าค่าจำกัดเริ่มต้นครั้งแรกจนถึง สัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุด
5. ดิวรี (Duration Time) คือ ระยะเวลาตั้งแต่สัญญาณ แรกที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าจำกัดเริ่มต้น จนถึงเวลาของ แอมพลิจูดของสัญญาณสุดท้ายที่สูงกว่าค่าจำกัดเริ่มต้น
6. พลังงาน (Energy) คือ พลังงานที่มีในสัญญาณของ คลื่นอะคูสติกอิมพัลส์ โดยค่าพลังงานของคลื่น อะคูสติกอิมพัลส์นี้จะหาได้จากการอินทิเกรตของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พิเศษตามสมการ ซึ่งค่าพลังงาน (U) นี้จะช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณแบบต่อเนื่องที่มี แอมพลิจูดต่ำได้ดี

2.2 การกัดกร่อนกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีของการกัดกร่อน การเปลี่ยนแปลงที่ผิวโลหะและอัตราการกัดกร่อน

โดยทั่วไปการกัดกร่อน หมายถึง การสูญเสียเนื้อ โลหะโดยการเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมอาจจะเป็น

ปฏิกิริยาทางเคมี หรือไฟฟ้าเคมี [8] ลักษณะของการ กัดกร่อนจะมีหลายประเภท เช่น การกัดกร่อนแบบ สมมาตร (Uniform) แบบหลุมลึก (Pitting) การกัด กร่อนจากความเค้นตกค้าง (Stress Corrosion Cracking) เป็นต้น ในการทดลองนี้จะเป็นลักษณะของ การกัดกร่อนแบบสมมาตร ซึ่งจะเป็นรูปแบบการ กัดกร่อนที่พบเห็นได้ทั่วไปเพราะจะเกิดขึ้นมากที่สุดและ ทำให้เกิดความเสียหายให้กับโลหะมากที่สุด โดย การกัดกร่อนแบบสมมาตรจะเกิดจากโลหะทำปฏิกิริยา เคมีหรือไฟฟ้าเคมีกับสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์ กัดกร่อนโดยเกิดทั่วทั้งผิวหน้าของโลหะที่สัมผัสกับ สิ่งแวดล้อมนั้น เมื่อเวลาผ่านไปโลหะถูกกัดกร่อนจน บางลงหรือบางจนเกิดความเสียหาย ปัจจัยที่ส่งผลต่อการ เกิดการกัดกร่อนและความรุนแรงในการเกิดการกัดกร่อน มีหลายสาเหตุ เช่น ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย อุณหภูมิแวดล้อมของวัสดุและสารละลาย ความเข้มข้น ของธาตุบางชนิดในสารเคมี อัตราการไหลของสารละลาย และโครงสร้างทางจุลภาค เป็นต้น

การกัดกร่อนของโลหะเกือบทั้งหมดจะมีขั้นตอน การเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าหรือแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน ในสารละลายจะเรียกว่าปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ในการถ่ายเท ประจุไฟฟ้าจะประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยาย่อยคือ ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน (Oxidation) และ ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) เช่นเดียวกับการกัดกร่อนของเหล็กกล้า คาร์บอนต่ำที่ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก

ในสภาวะปกติปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ผิวโลหะจะดำเนิน ไปด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่ง ตามปริมาณอิเล็กตรอนที่

แลกเปลี่ยนกัน เมื่อการให้และรับอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะดำเนินไปชั่วเวลาหนึ่ง ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะจะเปลี่ยนไปในทางเป็นลบมากขึ้น ทั้งนี้เพราะอิเล็กตรอนมาคั่งรอเกิดปฏิกิริยาที่ผิวตรงรอยต่อของโลหะกับสารละลาย แสดงว่าในเวลานั้นปฏิกิริยาไม่ได้ดำเนินไปเร็วเท่าจำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในระบบ อิเล็กตรอนที่มีมากที่ผิวทำให้ศักย์ไฟฟ้าของโลหะเปลี่ยนแปลงไปทางลบมากขึ้นเรียกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของโลหะ ซึ่งมีผลต่ออัตราการกัดกร่อน การเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะแบบนี้จัดเป็น Cathodic Polarization ในทางตรงข้ามถ้าอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะไม่เพียงพอทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะมีค่าเป็นบวกมากขึ้นและส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อนให้เพิ่มมากขึ้น เหตุการณ์นี้เรียกว่า Anodic Polarization

โลหะในสารละลายจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวที่ภาวะสมดุลค่าหนึ่งเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน (E_{corr}) และ กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน (I_{corr}) มีค่าขึ้นกับอัตราการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนจะส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนจะลดลง และค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนจะมีค่าผกผันกับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนคือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้การเกิดปฏิกิริยาที่สมดุลระหว่างปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะและปฏิกิริยารีดักชันของสารละลาย และกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนคือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะและปฏิกิริยารีดักชันของสารละลาย ที่มีสภาวะที่สมดุลและเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะและสารละลาย

การตรวจสอบการกัดกร่อนเป็นการประเมินคุณภาพของคุณลักษณะของการกัดกร่อนซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปแบบของอัตราการกัดกร่อน ซึ่งอัตราการกัดกร่อนเป็นอัตราการสูญเสียโลหะในช่วงเวลาหนึ่ง หน่วยของอัตราการกัดกร่อนที่นิยมใช้คือ Mills Per Year (MPY) (1 Mil =

0.001 นิ้ว) หรือ มิลลิเมตรต่อปี (mmPY) โดยวิธีการหาอัตราการกัดกร่อน จะมี 2 วิธี คือ ใช้การคำนวณค่าน้ำหนักที่หายไป และ วิธีไฟฟ้าเคมี ในที่นี้จะกล่าวถึงการหาอัตราการกัดกร่อนวิธีไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น โดยการหาอัตราการกัดกร่อนวิธีนี้จะเป็นการหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนของโลหะตัวอย่างที่ใช้เป็นขั้วอะโนดในเซลล์ไฟฟ้าของการกัดกร่อนที่มีสารละลายที่สัมผัสโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยควบคุมให้ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดของสารละลาย เป็นต้น ให้เหมือนกับสภาวะจริง เมื่อได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนแล้วจะนำไปคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนโดยสมการดังนี้ [7]

$$\text{Corrosion Rate (mmPY)} = \frac{(I_{corr} * E_w * 10)}{(D * 96500)} \quad (2.1)$$

เมื่อ I_{corr} คือ ค่าลอการิทึมของค่าความหนาแน่นกระแส (แอมป์ / ตารางเซนติเมตร) D คือ ความหนาแน่นของวัสดุทดสอบ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) E_w คือ Equivalent weight (กรัม/Equivalent) (ซึ่ง E_w หมายถึง น้ำหนักของอะตอมต่อจำนวนประจุไฟฟ้าที่แลกเปลี่ยนในปฏิกิริยา)

2.3 แหล่งกำเนิดสัญญาณอะคูสติคมิชชันที่เกิดจากการกัดกร่อน [8]

แหล่งกำเนิดของสัญญาณอะคูสติคมิชชันของโลหะภายใต้สภาวะการกัดกร่อนระหว่างสารละลายกับวัสดุสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การชนจากการไหลของสารละลายที่ผิวหน้าวัสดุ หรือสัญญาณทางไฟฟ้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดกร่อน แต่โดยทั่วไปมีการยอมรับว่าแหล่งกำเนิดจะเกิดจากปรากฏการณ์ต่างๆ คือ 1. การหลุดและการแตกของฟองก๊าซ โดยฟองก๊าซจะเกิดจากการทำปฏิกิริยาของโลหะและสารละลาย ฟองที่เกิดขึ้นได้ของเหลวบริเวณสัมผัสเนื้อโลหะจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนไหวยาจากการสั่นสะเทือนบนผิวหน้าระหว่างของเหลวและโลหะ ทำให้อนุภาคโลหะค่อยๆ เขี่ยหลุด

จากบริเวณผิว ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านไปสู่ผิวเนื้อวัสดุ เมื่อฟิล์มเกิดการแตกผิวหน้าของวัสดุจะเกิดการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนมากจากแรงที่กระทำและจะส่งสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ออกมาทำให้ตรวจจับได้ จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้มาทำการวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจากการวิเคราะห์นั้นสามารถบอกได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างเกิดการกักกร่อนกับค่าตัวแปรทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่เกี่ยวข้องได้ 2.การเคลื่อนตัวของเนื้อโลหะที่เกิดจากการกักกร่อน เมื่อโลหะทำปฏิกิริยากับสารละลายจะทำให้โลหะเกิดการสูญเสียเนื้อของโลหะเกิดขึ้น ซึ่งจะหลุดตัวออกจากโลหะเป็นเศษผงการหลุดตัวออกมานั้นจะทำให้เกิดสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์เกิดขึ้น

3. วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออก 2 ขั้นตอน คือ การทดลองหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกักกร่อนและอัตราการกักกร่อนเพื่อนำไปควบคุมการกักกร่อนด้วยเครื่องควบคุมการกักกร่อนด้วยไฟฟ้าในการทดลองต่อไป และการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางอะคูสติกอิมพัลส์กับอัตราการกักกร่อนของวัสดุ ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

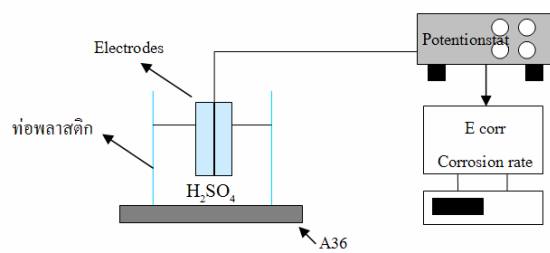
3.1 การทดลองหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกักกร่อนและอัตราการกักกร่อน

การทดลองใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด A36 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด A36 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมลวดหุ้มฟลักซ์ โดยการเชื่อมใช้ลวดเชื่อมชนิด E7016 ขึ้นงานมีขนาด $5 \times 5 \times 0.5$ เซนติเมตร และผ่านการเตรียมผิวชิ้นงานโดยการขัดด้วยกระดาษน้ำเบอร์ 180,1000 และ 1200 นำชิ้นงานนั้นติดไว้ที่ปลายท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.4 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร ภายในบรรจุสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีค่าความเป็นกรดต่าง ๆ กัน 4 ระดับ คือ 4.5, 5, 5.5 และ 6 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกักกร่อน กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกักกร่อนและอัตราการกักกร่อนของวัสดุ การบันทึกและประมวลผลใช้

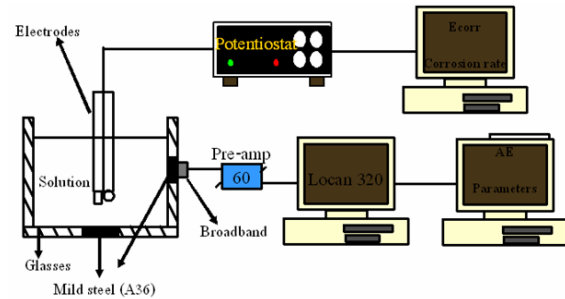
เครื่องควบคุมการกักกร่อนด้วยไฟฟ้า (Potentionstat Solarton รุ่น 1284) แสดงดังรูปที่ 2

3.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางอะคูสติกอิมพัลส์กับอัตราการกักกร่อน

การทดลองใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด A36 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด A36 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมลวดหุ้มฟลักซ์ โดยการเชื่อมใช้ลวดเชื่อมชนิด E7016 ซึ่งผ่านการเตรียมผิวหน้าดังเช่นที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1 นำชิ้นงานนั้นติดไว้ตรงตำแหน่งพื้นตั้งจำลองที่มีขนาด $30 \times 50 \times 30$ เซนติเมตร ที่ทำจากกระจกใส ซึ่งเจาะรูวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของพื้นและกึ่งกลางผนังของถังจำลอง สารละลายคือกรดซัลฟูริกที่มีค่าความเป็นกรดต่าง ๆ กัน 4 ระดับคือตั้งแต่ ค่าความเป็นกรด 4.5 ถึงค่าความเป็นกรด 6 โดยปรับค่าความเป็นกรดช่วงละ 0.5 คือ 4.5, 5, 5.5 และ 6 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในถังจำลองการทดลอง ในขณะที่ทำการทดลองได้ควบคุมอัตราการกักกร่อนให้คงที่ด้วยเครื่องควบคุมการกักกร่อนด้วยไฟฟ้า โดยตั้งค่าศักย์ไฟฟ้ากักกร่อนมีค่าเท่ากับค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกักกร่อน แต่ละค่าความเป็นกรดในแต่ละระดับ ไว้คงที่ ซึ่งได้จากการทดลองที่ 3.1 (แสดงใน ตารางที่ 1) แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การบันทึกข้อมูลทำการบันทึกด้วยอะคูสติกอิมพัลส์ โดยติดตั้งหัวตรวจสอบอะคูสติกอิมพัลส์ชนิด Broad Band ซึ่งจะสามารถรับสัญญาณในช่วงความถี่ 100 – 1,000 กิโลเฮิร์ต ไว้บนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด A36 ที่ผ่านการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกักกร่อนด้านข้างถังจำลอง โดยสัญญาณที่เข้ามาจากหัวตรวจสอบจะถูกทำการขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น (Pre-amplifier) ซึ่งจะตั้งค่าการขยายสัญญาณไว้ที่ 60 dB และจะวิเคราะห์ประมวลผลบันทึกพารามิเตอร์ต่างๆทางอะคูสติกอิมพัลส์ด้วย เครื่อง AE Location Analyzer 320 (LOCAN 320) โดยจะตั้งขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ไว้ที่ 45 dB การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อน



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองหาความสัมพันธ์ของสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์กับการกัดกร่อนในระดับอัตราการกัดกร่อนต่างๆ

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อนกับระดับค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริก

จากการทดลองที่ 3.1 จะได้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนแล้วนำไปคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนโดยใช้สมการที่ 2.1 ของแต่ละระดับค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริกกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด A36 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด A36 ที่ผ่านการเชื่อมได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริก ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนจะเปลี่ยนแปลงไป ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อนของการกัดกร่อนบนวัสดุทดสอบจะลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริกเพิ่มขึ้น และเมื่อวัสดุทดสอบต่างชนิดค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนเปลี่ยนแปลงไปด้วย ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนของวัสดุทดสอบที่ผ่านการเชื่อมจะมีค่าที่สูงกว่าวัสดุทดสอบ และอัตราการกัดกร่อนของวัสดุทดสอบที่ผ่านการเชื่อมจะมีค่าที่สูงกว่าวัสดุทดสอบ เนื่องจากวัสดุที่ผ่านการเชื่อมซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นมาเทนไซด์ โครงสร้างทางจุลภาคประเภทนี้จะส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนของการกัดกร่อนบนวัสดุสูงขึ้น

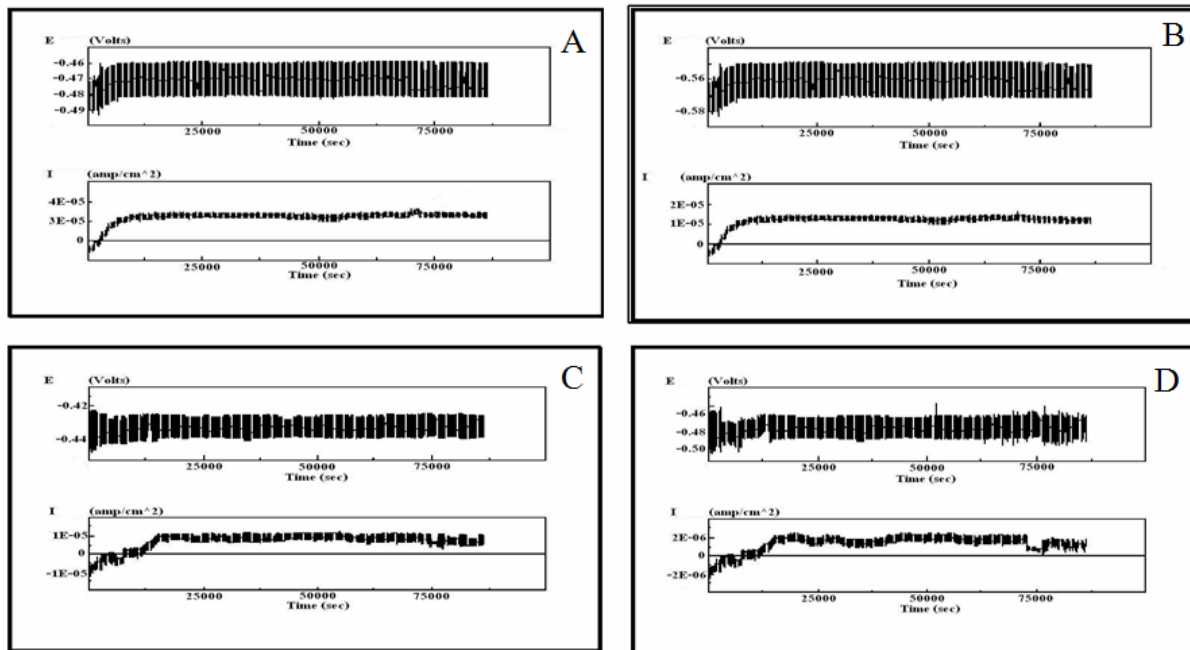
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางอะคูสติกอิมพัลส์กับการกัดกร่อนในระดับอัตราการกัดกร่อนต่างๆ

ผลของการวิจัยในส่วนนี้จะเป็นผลการทดลองที่ 3.2 ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.2.1 ผลการวิจัยทางตัวแปรทางการกัดกร่อน

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน และ อัตราการกัดกร่อน จากการกัดกร่อนบนวัสดุทดสอบ

ผลการทดลองหาค่า E corr I corr และ Corrosion rate ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกับกรด H ₂ SO ₄			
pH	E corr (Volts)	I corr (amp/cm ²)	Corrsion rate (mm / year)
pH 4.5	-0.47577	3.64E-05	0.0625
pH 5	-0.5613	1.15E-05	0.0504
pH 5.5	-0.43673	8.66 E-06	0.0432
pH 6	-0.48579	1.27E-06	0.0292
Weldment pH 5	-0.47319	5.17E-05	0.06



รูปที่ 4 กราฟศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเทียบกับเวลาและค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเทียบกับเวลาของการทดลองโดยใช้กรดซัลฟูริกที่มีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 4.5(A) 5(B) 5.5(C) และ 6(D)

4.2.2 ผลการวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์กับอัตราการกัดกร่อน

4.2.3 ผลการวิจัยการเปรียบเทียบสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จากการกัดกร่อนบนวัสดุต่างชนิด

4.2.1 ผลการวิจัยทางตัวแปรทางการกัดกร่อน

ผลการวิจัย ในด้านการกัดกร่อนด้วยการปรับค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริก เท่ากับ 4.5, 5, 5.5 และ 6 ที่เกิดขึ้นตลอดการทดลองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่มีเกิดฟองก๊าซเกิดขึ้นในระบบการทดลอง ลักษณะการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในการทดลองบนวัสดุทดสอบเป็นการกัดกร่อนแบบยูนิฟอร์ม ลักษณะทางกายภาพผิวของวัสดุทดสอบที่ผ่านการทดลองมีสีน้ำตาลแดงปนสีดำ เมื่อนำข้อมูลทางด้านการกัดกร่อนที่ได้จากการทดลอง ทำการประมวลผลโดยโปรแกรมประมวลผลตัวแปรทางการกัดกร่อนจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนกับเวลา และกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนกับเวลา ดังรูปที่ 4

จากการทดลองพบว่าข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ช่วงเวลา 0 – 20,000 วินาที ค่าศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อเทียบช่วงเวลานี้กับการกัดกร่อนพบว่าในช่วงที่พาสซีสฟิล์มของวัสดุทดสอบแตกตัวทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนและค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเกิดการแกว่งตัว ซึ่งส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อนจะไม่คงที่เช่นกัน และส่วนที่ 2 ช่วงเวลา 20,000 วินาทีจนครบเวลาการทดลอง ค่าศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนจะเข้าสู่ค่าคงที่พบว่าจะเข้าสู่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อนและค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการกัดกร่อน ซึ่งจะได้อัตราการกัดกร่อนเท่ากับผลการทดลองที่ 4.1 (ตารางที่ 1) เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนคงที่ก็จะทำให้อัตราการกัดกร่อนคงที่ด้วย ซึ่งส่วนที่ 2 นี้จะเป็นช่วงเวลาที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับตัวแปรทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ในการวิเคราะห์ผลขั้นต่อไป

4.2.2 ผลการวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์กับอัตราการกัดกร่อน

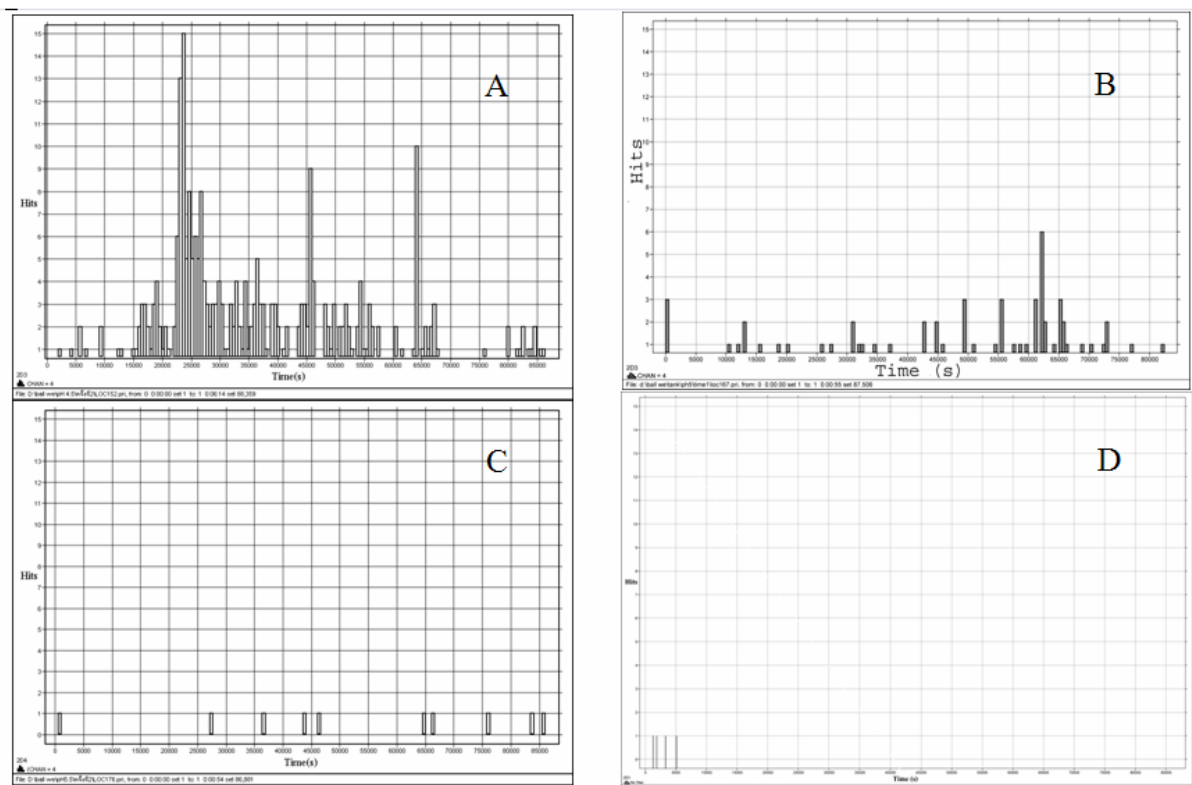
จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น (ค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริกลดลง) สัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จะมีพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่พารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์บางตัวไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในการทดลองได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ จะเลือกพารามิเตอร์สัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่สามารถสร้างความสัมพันธ์กับอัตราการกัดกร่อนได้ ดังรูปที่ 5 และ 6 เป็นตัวอย่างพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่มีแนวโน้มมีความสัมพันธ์ทางสมการคณิตศาสตร์กับ อัตราการกัดกร่อน

จากรูปที่ 5 และ 6 เมื่อค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริกลดลง พารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์จะมี

แนวโน้มค่าที่เพิ่มขึ้นทั้งพารามิเตอร์ฮิต แอมพลิจูด และดูเรชั่น

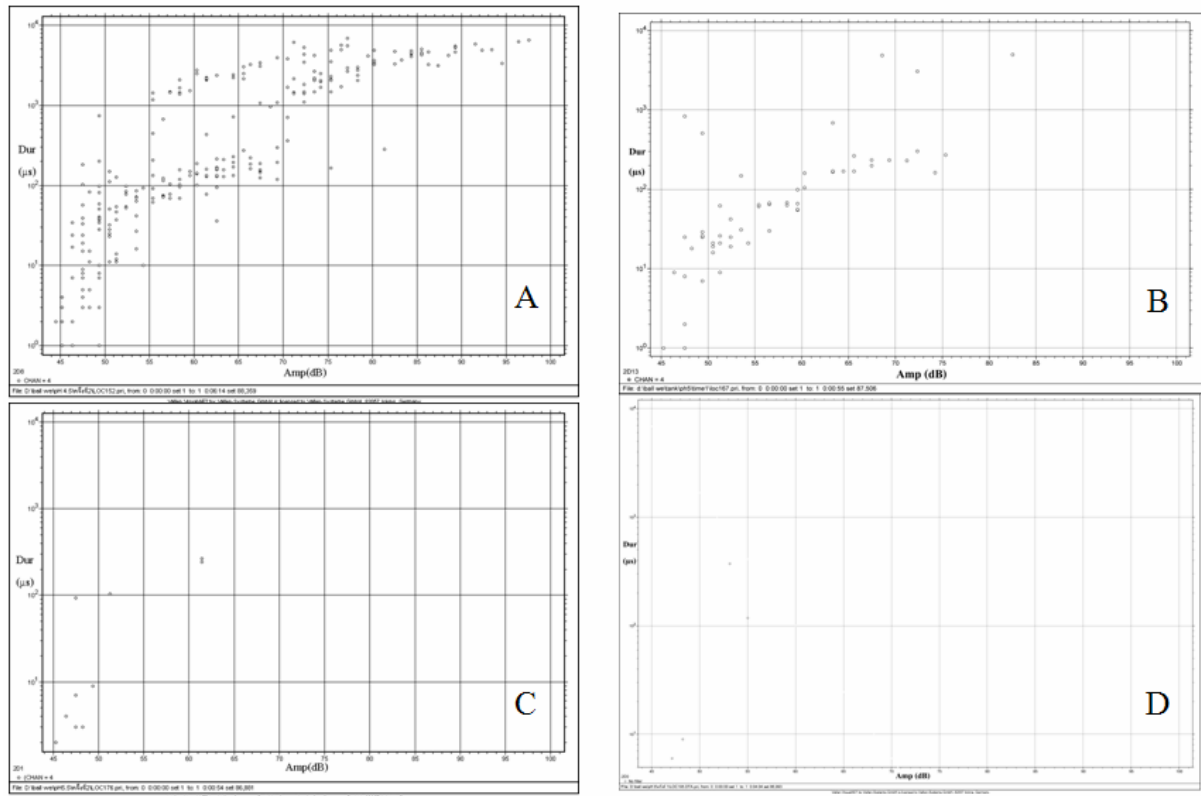
เมื่อนำพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ต่างๆ ที่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริกลดลงที่ได้จากการทดลองของแต่ละการทดลอง มาสร้างความสัมพันธ์กับอัตราการกัดกร่อนของแต่ละค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริกที่ได้จากการทดลองที่ 3.1 โดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ได้ดังรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 เมื่อสร้างเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ต่างๆ กับอัตราการกัดกร่อนแล้ว จากนั้นนำเข้าสู่โปรแกรมคำนวณทางสถิติเพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์กับอัตราการกัดกร่อนของวัสดุโดยการสร้าง



รูปที่ 5 พารามิเตอร์ฮิตเทียบกับเวลาที่ได้จากการทดลองโดยใช้กรดซัลฟูริกที่มีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 4.5(A) 5(B) 5.5(C) และ 6(D)

อ.ประทีปเสน ม.ศรีนาง และ ม.กุดั่น

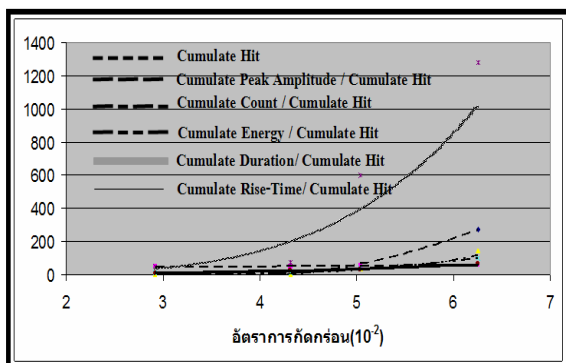


รูปที่ 6 พารามิเตอร์แอมพลิจูดเทียบกับพารามิเตอร์ดูร์ชั้นที่ได้จากการทดลองโดยใช้กรดซัลฟูริกที่มีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 4.5(A) 5(B) 5.5(C) และ 6(D)

สมการทางคณิตศาสตร์นี้จะสร้างสมการที่มีค่าความเชื่อมั่นมากกว่า 90% ขึ้นไป ซึ่งได้ทางสมการคณิตศาสตร์ดังนี้

- $\text{Hit} = 6.0397(R)^2 - 38.473(R) + 62.546$
- $\text{Amplitude} = -3.6416(R)^2 + 44.006(R) - 72.721$

- $\text{Count} = 0.0122 e^{1.4816(R)}$
- $\text{Energy} = 9.1284 (R)^2 - 60.374(R) + 102.35$
- $\text{Duration} = 0.0022(R)^{7.4028}$
- $\text{Rise time} = 0.0418 (R)^{4.1208}$

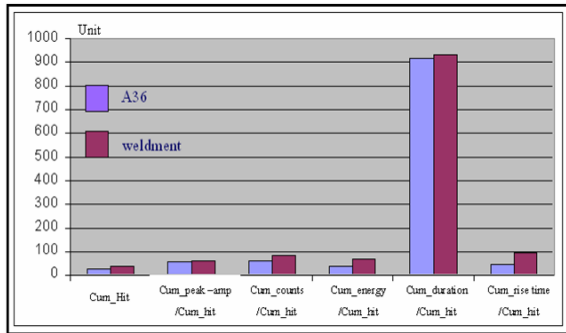


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์กับอัตราการกัดกร่อนของวัสดุ

เมื่อ R คือ อัตราการกัดกร่อน

4.2.3 ผลการวิจัยการเปรียบเทียบสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จากการกัดกร่อนบนวัสดุทดสอบและรอยเชื่อม

เมื่อนำพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จากการกัดกร่อนบนวัสดุทดสอบโดยค่าความเป็นกรดของกรดซัลฟูริกเท่ากับ 5 และพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จากการกัดกร่อนบนวัสดุทดสอบที่ผ่านการเชื่อมโดยค่าความเป็นกรดของ



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จากการกัดกร่อนบนวัสดุต่างชนิด

กรดซัลฟูริกเท่ากับ 5 เปรียบเทียบดังรูปที่ 8 พบว่าพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้นั้นมีจำนวนที่แตกต่างกัน โดยที่การกัดกร่อนวัสดุที่ผ่านการเชื่อมโดยใช้ซัลฟูริกที่มีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 5 จะตรวจจับพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ได้เป็นจำนวนที่มากกว่าการกัดกร่อนบนวัสดุทดสอบ

ผลจากการวิจัยนี้จะเป็นการยืนยันการวิเคราะห์ว่าเมื่ออัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น ลักษณะสัญญาณทางอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จะมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลง

ไปและสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จากการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับอัตราการกัดกร่อนบนพื้นผิววัสดุ

5. สรุป

1. การตรวจสอบโดยไม่ทำลายด้วยวิธีอะคูสติกอิมพัลส์ สามารถตรวจสอบการกัดกร่อนแบบยูนิฟอร์มได้

2. สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ กับอัตราการกัดกร่อนและสามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

3. การตรวจสอบโดยไม่ทำลายด้วยวิธีอะคูสติกอิมพัลส์สามารถทำนายอัตราการกัดกร่อนของการกัดกร่อนแบบยูนิฟอร์มได้

4. พารามิเตอร์ทางสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จากการกัดกร่อนแบบยูนิฟอร์มจะขึ้นอยู่กับอัตราการกัดกร่อนของการกัดกร่อนแบบยูนิฟอร์มที่เกิดขึ้นบนวัสดุ

เอกสารอ้างอิง

- [1] J Dimopoulos ATTAR , Acoustic Emission as a Corrosion Monitoring Tool for Above Ground Storage Tanks , Corrosion Control and NDT-2003 ; 037.
- [2]. Frederic Ferrer,Thierry,Faure,Jean Goudiakas,Eric Andres, Acoustic emission study of active-passive transitions during carbon steel erosion-corrosion in concentrated sulfuric acid ,Corrosion Science 44 , 2002 ;1529-1540
- [3] เฉลิมเกียรติ จิระรุ่งเสถียร , อาษา ประทีปเสน และ พงษ์ศักดิ์ ถึงสุข. การตรวจจับการกัดกร่อนด้วยอะคูสติกอิมพัลส์, การประชุมวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย , 2545 ; 152 – 154
- [4] Rong, S. G., Corrosion-related Acoustic Emission and Its Identification, 10thAPCNDT BRISBANE 2001
- [5] Retting,TW,Acoustic Emission Method for Monitoring Corrosion Reactions,Corrosion,32(4), 1976;121-126
- [6] Phillip T. Cole, Stephen N. Gautrey , Development History of the Tankpac AE Tank Floor Corrosion Test., NDT.net ,September 2002;Vol 7.No 09 .
- [7] Jones, D. A.. Principles and Prevention of Corrosion , 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ ,1996
- [8] F.Bellenger ,H.Mazille , H.Idrissi , Use of acoustic emission technique for the early detection of aluminium alloys exfoliation corrosion, NDT&E International 35,2002 ;385-392