บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะการทดลองต่อไป

การศึกษาผลของไนโตรเจนต่อความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นิกเกิล 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไนโตรเจน 0.0018, 0.1100, 0.2300 และ 0.3400 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (K1-K4) และเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นิกเกิล 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไนโตรเจน 0.0020, 0.0440, 0.0920 และ 0.1800 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (L1-L4) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ที่ค่าพีเอช 2, 7 และ 10 สามารถสรุปได้ว่า

ไนโตรเจนมีผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์และเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์คล้ายกัน คือ

1. ที่ค่าพีเอช 2 ไนโตรเจนช่วยเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (corrosion potential, E_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือหลุม (pitting potential, E_p) โดยอาศัยกลไกการเกิดแอมโมเนียมไอออน ดังสมการ

$$[N] + 4H^+ + 3e^- = NH_4^+ \qquad (5.1)$$

จากสมการ (5.1) อธิบายได้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์และเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์ที่มีไนโตรเจนผสมอยู่ จะมีการละลายของไนโตรเจนออกมาและรวมตัวกับโปรตรอนทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น ขัดขวางการโตขึ้นของรูเข็มหรือหลุม (pit growth) และส่งเสริมให้เกิดฟิล์มใหม่ (repassivation) {16, 17} ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (corrosion current density, I_{corr}) ค่าอัตราการกัดกร่อน (corrosion rate, R_{mpy}) และค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าขณะวัสดุเกิดฟิล์มที่ผิว (passive current density, I_p) แสดงว่าไนโตรเจนช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบทั่วไป (general corrosion) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์และเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์

2. ที่ค่าพีเอช 7 และ 10 ไนโตรเจนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (corrosion potential, E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (corrosion current density, I_{corr}) และค่าอัตราการกัดกร่อน (corrosion rate, R_{mpy}) แต่พบว่าไนโตรเจนช่วยเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าขณะวัสดุเกิดฟิล์มที่ผิว (passive current density, I_p)

3. ไนโตรเจนช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบทั่วไป (general corrosion) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สภาวะเป็นกรด ส่วนที่สภาวะกลางและด่างไนโตรเจนแทบจะไม่มีผลต่อความต้านทานการกัดกร่อนแบบทั่วไป

4. ไนโตรเจนช่วยเพิ่มความมีเสถียรภาพให้กับฟิล์มพาสสีฟที่ค่าพีเอช 2 แต่ลดความมีเสถียรภาพของฟิล์มพาสสีฟที่ค่าพี่เอช 7 และ 10 โดยพิจารณาจากค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าขณะวัสดุเกิดฟิล์มที่ผิว

5. ไนโตรเจนช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกของฟิล์มพาสสีฟ ช่วงพาสสีฟกว้างขึ้นทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์และเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือหลุมสูงขึ้นที่ทุกค่าพีเอช โดยอาศัยกลไกการสะสมตัวที่ผิว (surface enrichment theories)

6. ไนโตรเจนส่งผลให้โครงสร้างออสเตไนต์ทนทานต่อการกัดกร่อนได้มากขึ้น

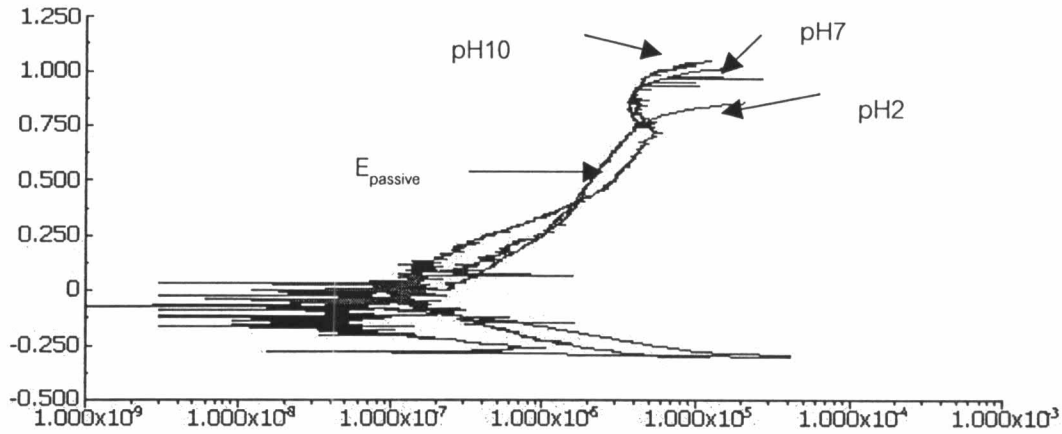
7. สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ที่ส่วนผสมไนโตรเจนมากกว่า 0.1100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์ที่ส่วนผสมไนโตรเจนมากกว่า 0.0440 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าโครงสร้างเฟอร์ไรต์ถูกกัดกร่อน

8. ปริมาณส่วนผสมไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นิกเกิล 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คือ 0.2300 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ทุกค่าพีเอช ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์ ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นิกเกิล 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด

ข้อเสนอแนะเพื่อการทดลองต่อไป

จากการทดลองนี้ พบว่านอกจากไนโตรเจนจะมีผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์และเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์แล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเพื่อประกอบการพิจารณาพฤติกรรมการกัดกร่อน คือ

- ไอออนที่ปรากฏในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ มีผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิด (passivation) และ การซ่อมแซมตัวเอง (self healing) ของฟิล์มพาสสีฟ {28} การทดลองที่ค่าพีเอช 2, 7 และ 10 ที่มี H^+ และ OH^- ซึ่งไอออนเหล่านี้อาจมีผลต่อความมีเสถียรภาพของฟิล์มพาสสีฟ ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบเส้นโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่มีไอออนต่างกัน

รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบเส้นโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่มีไอออนต่างกัน พบว่าที่ค่าศักย์ไฟฟ้าพาสสีฟ (ศักย์ไฟฟ้าที่วัสดุเกิดฟิล์มออกไซด์ที่ผิว, passive potential) เดียวกัน ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าขณะวัสดุเกิดฟิล์มที่ผิวไม่เท่ากัน ความมีเสถียรภาพของฟิล์มพาสสีฟต่างกัน เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่ค่าพีเอช 10 ซึ่งมี OH^- (รูปที่ 5.1) ฟิล์มพาสสีฟมีเสถียรภาพต่ำ มีรอยบกพร่องมากกว่าที่ค่าพีเอช 2 และ 7 แต่กลับทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์มีค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือหลุมสูงขึ้น I. Olefjord และ P. Marcus {30} พบว่าคลอไรด์ไอออนที่ถูกดูดซับเข้าไปในฟิล์มพาสสีฟแล้วเกิดสารประกอบโลหะคลอไรด์ (ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.5) ทำให้ฟิล์มพาสสีฟมี

รอยบกพร่องมากกว่าฟิล์มพาสสีฟที่เกิดในสารละลายทั่วไปที่ไม่มีคลอไรด์ไอออน แต่ฟิล์มพาสสีฟนี้มีค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือหลุมสูงขึ้น ดังนั้นควรมีการศึกษาต่อไปว่า H^+ และ OH^- มีผลต่อโครงสร้าง และสมบัติของฟิล์มพาสสีฟอย่างไร ซึ่งอาจช่วยอธิบายพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์และเหล็กกล้าไร้สนิมไมโครดูเพล็กซ์ได้ดีขึ้น