



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การวิเคราะห์การกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลองที่มีการเจือปนของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

Corrosion analysis of low alloy steel subjected to a simulated SO₂-containing atmosphere

กนกอร รจนากิจ¹ ชาตินันท์กรบ แสงสว่าง² ศิวกร สุขประเสริฐชัย² ธีร์ เชาวนนทปัญญา^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10170

² คณะพาณิชยศาสตร์บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยภูมิ 20230

Kanok-on Rodjanakid¹ Chatnugrob Sangsawang Siwakorn Sukprasertchai² Thee Chowwanonthapunya^{2*}

¹ Division of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthongburi University, Bangkok 10170

² Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University, Chonburi 20230

* Corresponding author.

E-mail: thee.c@ku.th; Telephone: 0 63563 5591

วันที่รับบทความ 8 พฤษภาคม 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 9 กันยายน 2567; วันที่ตอบรับบทความ 18 กันยายน 2567

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศที่มีการเจือปนของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยการทดลองนี้ใช้วิธีการศึกษาอัตราการความหนาของเหล็กกล้าผสมต่ำที่หายไปในช่วงการทดลอง เพื่อศึกษากระบวนการกัดกร่อนและใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะและเฟสของชั้นสนิมนำไปใช้วิเคราะห์กระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำ โดยผลการศึกษาพบว่า กระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำแบ่งเป็นสองช่วง คือ ช่วงที่ 1 อัตราการกัดกร่อนสูง และ ช่วงที่ 2 อัตราการกัดกร่อนลดลง โดยโครงสร้างและเฟสของสนิมทั้งสองช่วงนั้นต่างกัน โดยช่วงที่ 1 ชั้นสนิมบางและประกอบไปด้วยเฟสสนิมที่ไม่เสถียร และช่วงที่ 2 ชั้นสนิมมีความหนาแน่นมากขึ้นและมีเฟสสนิมที่เสถียรขึ้น โดยชั้นสนิมที่มีโครงสร้างที่หนาแน่นและมีความเสถียรนั้นมีความต้านทานการแพร่ของซัลเฟตไอออนได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำนั้นลดลง

คำสำคัญ

การกัดกร่อน แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เหล็กกล้าผสมต่ำ สนิม

Abstract

This article aims to analyze the corrosion process of low alloy steel exposed to a simulated SO₂-containing atmosphere. In this study, the corrosion thickness loss was monitored to investigate the corrosion process of low alloy steel and then the linear fitting technique was then applied to obtain the kinetics of the corrosion process. Rust morphologies and rust constituents were examined using scanning electron microscopy (SEM) and x-ray diffraction (XRD). The results showed that corrosion process of low alloy steel exposed to the simulated SO₂-containing atmosphere consists of two sub-processes: accelerating and decelerating process. The difference in rust morphologies and the rust phases between two sub-processes was obvious. The nonprotective rust with unstable rust constituents was found in the first sub-process. As the corrosion process proceeded, the rust became more stable and protective. The thick rust composed of the stable rust constituents formed on low alloy steel provided the retarding effect to the diffusion of sulphate ions and thereby decreasing the corrosion rate of this steel experiencing the simulated SO₂-containing atmosphere.

Keywords

corrosion; sulfur dioxide; low alloy steel; rust

1. คำนำ

เหล็กกล้าผสมต่ำเป็นวัสดุวิศวกรรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและการกลั่น และอุตสาหกรรมการขนส่ง โดยเหล็กกล้าผสมต่ำมีสมบัติทางกลที่ดี [1] จึงทำให้เหล็กกล้าผสมต่ำถูกนำมาใช้เป็นเหล็กโครงสร้างและเป็นวัสดุหลักในงานระบบท่อและภาชนะรับแรงดันซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างที่อยู่ภายนอกอาคาร จากสถานะการใช้งานนอกอาคารทำให้เหล็กกล้าผสมต่ำนั้นต้องเผชิญกับปัญหาการกัดกร่อนเนื่องจากบรรยากาศโดยตรง [2] ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรง และ ความสามารถในการรับแรงของอุปกรณ์ หรือ โครงสร้างที่ทำจากเหล็กกล้าอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ในปัจจุบันการขยายการผลิตของอุตสาหกรรมส่งผลต่อการปล่อยแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ ตัวอย่างเช่น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้นบรรยากาศที่อยู่เขตอุตสาหกรรมจึงมีโอกาที่จะถูกเจือปนด้วยแก๊สดังกล่าว ซึ่งเมื่อมีการกลั่นตัวของน้ำในบรรยากาศเกิดขึ้น น้ำจากการกลั่นตัวจะละลายสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนซึ่งอยู่ในบรรยากาศ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์[3] โดยเมื่อสารละลายดังกล่าวเคลือบผิวของเหล็กกล้าในลักษณะชั้นบางจะส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำ โดยการกัดกร่อนจะดำเนินไปจนกระทั่งสารละลายชั้นบางนั้นระเหยกลับสู่บรรยากาศอย่างสมบูรณ์และการกัดกร่อนดังกล่าวจะดำเนินต่อไป เมื่อมีการกลั่นน้ำในบรรยากาศ โดยเราเรียกการกัดกร่อนประเภทนี้ว่า “การกัดกร่อนโดยบรรยากาศ”[4] Ulig [5] ได้ประมาณการสูญเสียทางเศรษฐกิจเนื่องจากการกัดกร่อนและค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปัญหาการกัดกร่อนไว้ที่ 5 % ของรายได้มวลรวมของประเทศสหรัฐอเมริกาและความสูญเสียครั้งหนึ่งนั้นเกิดจากการกัดกร่อนในบรรยากาศ ซึ่งโดยมากเป็นเหล็กกล้าและเหล็กกล้าผสมต่ำ

สำหรับปัญหาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศที่เจือปนด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นได้รับการศึกษาและวิจัยอย่างแพร่หลาย โดยวิธีการศึกษาเช่น การทดสอบการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในบรรยากาศจริง โดยวิธีการดังกล่าวได้ให้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือแต่อย่างไรก็ตาม

การทดสอบดังกล่าวใช้เวลาจนถึง 10-15 ปีและค่าใช้จ่ายในการศึกษานั้นมีมูลค่าที่สูง [6] นอกจากนี้การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจริงยังไม่สามารถควบคุมตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้ ในปัจจุบันมีการศึกษาการกัดกร่อนโดยวิธีการจำลองบรรยากาศ ซึ่งพบว่าเวลาการศึกษาไม่เกินหนึ่งปีและให้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้ ในปัจจุบันมีนักวิทยาศาสตร์ที่ใช้วิธีดังกล่าว เช่น Jia และคณะ [7] ศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำเกรด Q 402B โดยการจำลองบรรยากาศอุตสาหกรรม Hao และคณะ [8] ใช้การจำลองบรรยากาศเพื่อศึกษาเหล็กกล้าผสมต่ำที่มีผสมทองแดง Thee และคณะ [9] ใช้การจำลองบรรยากาศชายฝั่งทะเลเพื่อศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้า Fan และคณะ [10] ใช้การจำลองบรรยากาศแบบร้อนชื้น เพื่อศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้า โดยการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาเมื่อเทียบกับการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจริง พบว่า การศึกษาโดยการจำลองบรรยากาศให้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือและใช้เวลาที่น้อยกว่าการทดสอบจากบรรยากาศจริง [7-10]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำภายใต้บรรยากาศจำลองที่มีการเจือปนของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้การวัดความหนาที่หายไปในแต่ละรอบการทดลองและใช้การประยุกต์ Bi-logarithmic law เพื่อศึกษาจลนศาสตร์รวมทั้งสร้างสมการทำนายการกัดกร่อนและทำใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน เพื่อศึกษารูปร่างและเฟสของสนิมที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการทดสอบเพื่อประเมินความถูกต้องของการวิเคราะห์จลนศาสตร์ โดยมีนักวิทยาศาสตร์ด้านการกัดกร่อนของเหล็กกล้าหลายท่าน เช่น Jia และคณะ [7], Hao และคณะ [8], Thee และคณะ [9] และ Fan และคณะ [10] ได้ใช้วิธีการจำลองบรรยากาศเพื่อศึกษากระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าและเหล็กกล้าผสมต่ำและการสร้างสมการทำนายการกัดกร่อน โดยผลความถูกต้องนั้นประเมินได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างชั้นสนิมและเฟสของสนิมในแต่ละช่วงของกระบวนการกัดกร่อน ดังนั้นในบทความนำเสนอ การประยุกต์วิธีการจำลองบรรยากาศเพื่อใช้ในการศึกษาและ

ประเมินประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำ ซึ่งสามารถเป็นทางเลือกของการทดสอบที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาและการกัดกร่อนของเหล็กในบรรยากาศจำลองต่อไป

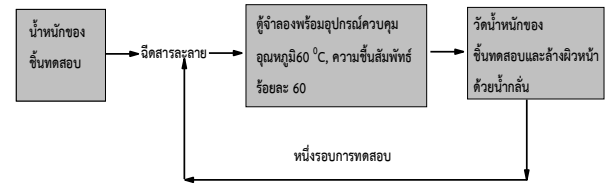
2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุ

การทดลองนี้ใช้เหล็กกล้าผสมต่ำที่มีส่วนผสมของธาตุ เช่น เป็นวัสดุที่ใช้ในการทดลอง โดยเหล็กกล้าผสมต่ำในการทดลองครั้งนี้มีส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดังนี้ : 0.15 C , 0.21 Cu, 0.14 Cr , 0.61 Mn , 0.25 Si, 0.02 P , 0.041 S และส่วนที่เหลือเป็นเหล็ก โดยเหล็กกล้าผสมต่ำเกรดนี้เป็นหนึ่งในเหล็กกล้าผสมต่ำที่ในงานโครงสร้างเหล็ก[4-6,12-13] การทดลองเริ่มจากการเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อการทดสอบความหนาที่หายไปในแต่ละรอบการทดสอบนั้นมีขนาดกว้างและยาว 3 เซนติเมตรและความหนา 0.5 เซนติเมตร โดยขนาดของชิ้นงานเตรียมไว้เพื่อการเตรียมสนิมที่มีปริมาณเพียงพอสำหรับการศึกษาโครงสร้างสนิม[8,10-12] สำหรับการเตรียมผิวชิ้นงานทำโดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 100 ถึง 800 จากนั้นทำความสะอาดผิวและนำไปเก็บไว้ในที่เก็บชิ้นงานที่ปราศจากความชื้นและขึ้น

2.2 การทดสอบในบรรยากาศจำลอง

สำหรับการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะบรรยากาศจำลองของการทดลองนี้จะทำที่ตู้อบซึ่งจำลองสภาวะอากาศ อุณหภูมิที่ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ $60\% \pm 5\%$ RH โดยสารละลายที่ใช้คือ สารละลาย Na_2SO_3 ความเข้มข้น 0.01 % โดยโมล ซึ่งสภาวะจำลองดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาการกัดกร่อนโดยการจำลองบรรยากาศ [8-13] โดยในการทดลองครั้งนี้ทำทดสอบต่อหนึ่งรอบการกัดกร่อนดังนี้ (1) โดยชั่งและบันทึกน้ำหนักชิ้นงานก่อนทำการทดสอบโดยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (2) ทำการจำลองการกัดกร่อนโดยฉีดสารละลายขึ้นบางลงบนผิวหน้าชิ้นงาน (0.05 มิลลิลิตร ต่อตารางเซนติเมตร) (3) นำชิ้นงานทั้งหมดเข้าตู้อบและปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน และเมื่อครบเวลาจะล้างผิวหน้าชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น โดยขั้นตอนการทดลองแสดงในรูปที่ 1 โดยมีสมมติฐานในการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดลอง

2.3 การศึกษาความหนาที่หายไปเนื่องจากการกัดกร่อน

เนื่องจากการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศเป็นการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอและเพื่อความสอดคล้องกับงานวิศวกรรมที่ใช้ความหนาเป็นการออกแบบภาชนะรับแรงดันและระบบท่อ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้านี้จะนำเสนอผลการทดสอบในรูปแบบความหนาที่หายไปต่อรอบการทดสอบกัดกร่อน ($\square T$) โดยสมการที่ใช้แสดงในสมการที่ 1

$$\Delta T = \Delta W / D_{Fe} \quad (1)$$

โดย $\square W$ คือ มวลที่หายไปเนื่องจากการกัดกร่อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อตารางเซนติเมตร) และ D_{Fe} คือ ความหนาแน่นของเหล็ก (7.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)[4]

2.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเฟสของสนิม

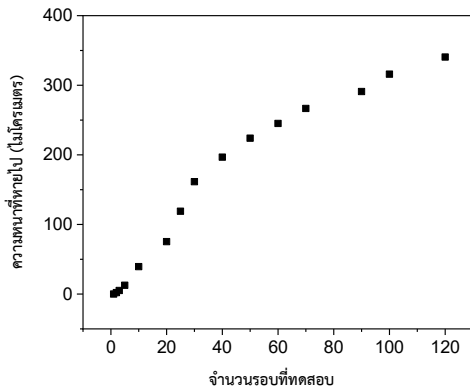
การศึกษานี้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสนิมและใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเฟสสนิมโดย เตรียมผงสนิมที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์โดยเครื่อง เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ รุ่น Rigaku-D/max 2000 โดยมี Cu Ka target 50 kV , 250 mA ย่านการวัดที่ $2\theta = 5-40$ องศา ด้วยอัตรา 2 องศาต่อนาที

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

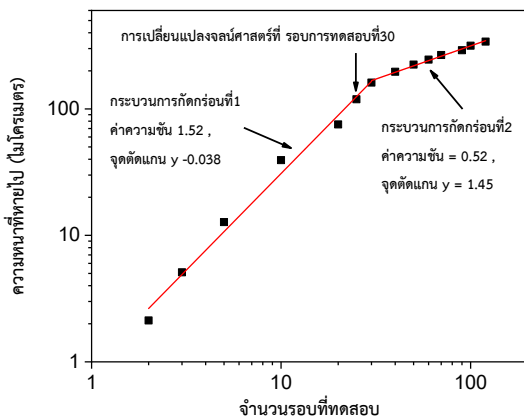
3.1 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจำลอง

รูปที่ 1 แสดงถึงความหนาที่หายไปของชิ้นงานเหล็กกล้าผสมต่ำในแต่ละรอบการทดสอบแบบเปียกแห้ง (Cycle) โดย

พบว่าเหล็กกล้าผสมต่ำมีการสูญเสียความหนาเมื่อรอบการทดสอบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 ความหนาที่ลดลงของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3 การวิเคราะห์จลนศาสตร์ของการกัดกร่อน

เมื่อนำ Bi-logarithmic law มาประยุกต์เพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำ ดังแสดงในสมการที่ 2 [11]

$$\Delta T = ANn \quad (2)$$

โดย ΔT คือ ความหนาที่สูญเสียไปของเหล็กกล้าผสมต่ำ A คือ ค่าคงที่ และ N คือ รอบของการทดสอบ (วัฏจักรเปิกแห้ง) ที่ใช้ทดสอบ ในการวิเคราะห์จลนศาสตร์ สมการที่ 2 จะถูกดัดแปลงโดยใช้ linear Logarithm ดังแสดงในสมการที่ 3

$$\log(\Delta T) = n \log(N) + \log A \quad (3)$$

โดย ค่า n หรือค่าความชันของสมการที่ 3 นั้นแสดงถึงค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ของกระบวนการกัดกร่อน โดยเมื่อ n มีค่ามากกว่า 1 อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ n น้อยกว่า 1 อัตราการกัดกร่อนน้อยลง [11-12] เมื่อนำข้อมูลความหนาที่หายไปและรอบการทดสอบมาพล็อตในมาตราส่วนลอการิทึม ตามสมการที่ 3 ข้อมูลจะแสดงในรูปที่ 2

จากรูปที่ 3 พบว่ากระบวนการกัดกร่อนประกอบไปสองกระบวนการย่อย โดยมีจุดเปลี่ยนแปลงที่รอบการทดสอบที่ 30 ดังนั้น

เมื่อรอบการทดลองน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30

$$\log(\Delta T) = 1.52 \log(N) - 0.038 \quad (4)$$

เมื่อรอบการทดลองมากกว่า 30

$$\log(\Delta T) = 0.522 \log(N) + 1.45 \quad (5)$$

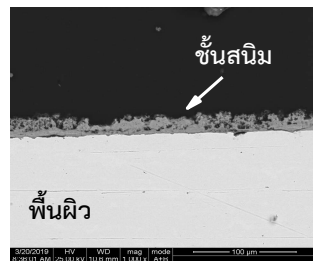
เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 4 และ 5 พบว่า กระบวนการย่อยของการกัดกร่อนที่ 1 เกิดที่จำนวนรอบการทดลองที่น้อยกว่า 30 โดยพบว่าค่า n เท่ากับ 1.52 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งหมายถึงเมื่อจำนวนรอบการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น สำหรับกระบวนการย่อยของการกัดกร่อนที่ 2 เกิดที่จำนวนรอบการทดลองที่มากกว่าหรือเท่ากับ 30 โดยค่า n มีค่า 0.52 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งหมายถึง เมื่อจำนวนรอบการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนลดลง

3.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเฟสของสนิม

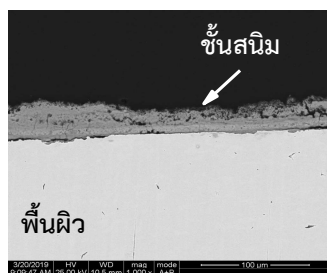
รูปที่ 3 แสดงภาพตัดขวางของชั้นสนิมที่เกิดขึ้นบนเหล็กกล้าผสมต่ำโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยชั้นสนิมในช่วงกระบวนการกัดกร่อนที่ 1 (รอบการทดลองน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30) แสดงในรูปที่ 3(ก) และ(ข) โดยในรูป 3(ก) เป็นชั้นสนิมของเหล็กกล้าผสมต่ำที่ผ่านกระบวนการกัดกร่อนในรอบที่ 10 โดยพบว่า ชั้นสนิมนั้นบาง มีความต่อเนื่องและยังไม่ยึดกับผิวเหล็ก สำหรับชั้นสนิมที่รอบที่ 20 แสดงในรูป 3(ข) นั้นมีหนาขึ้นแต่ยังไม่มีความต่อเนื่องในชั้นสนิม ซึ่งลักษณะสนิมในดังกล่าว นั้นไม่สามารถต้านทานการแพร่ของซัลเฟตไอออนและออกซิเจนในบรรยากาศได้ ซึ่งส่งผลให้อัตรา

การกัดกร่อนในช่วงนี้สูงขึ้น [13] สำหรับลักษณะชั้นสนิมในช่วงรอบการทดลองมากกว่า 30 แสดงในรูปที่ 3(ค) และ (ง) โดยพบว่า ชั้นสนิมในรอบที่ 60 และ 70 นั้นประกอบไปด้วยชั้นสนิมที่มีหนาแน่นและยึดติดกับพื้นผิวของเหล็กกล้าได้ดี ดังนั้น ชั้นสนิมที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 2 ของกระบวนการกัดกร่อนจึงเป็นสนิมที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการแพร่ของซัลเฟตไอออนที่เข้ามาเพื่อกัดกร่อนพื้นผิวเหล็กได้ส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนลดลง [14]

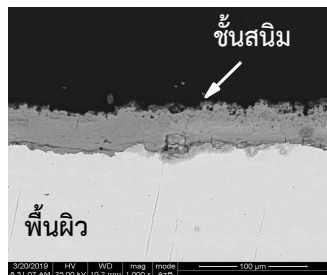
3.2.1 โครงสร้างสนิม



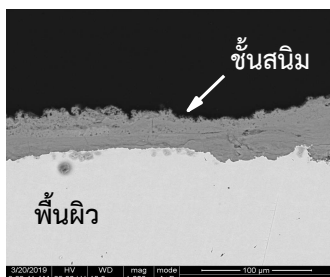
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4 ภาพตัดขวางของชั้นสนิม (a) 10 รอบ (b) 20 รอบ (c) 60 รอบ และ (d) 70 รอบ

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงเฟสของสนิม

รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเฟสของสนิมที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ โดยพบว่าเฟสของชั้นสนิมประกอบไปด้วย γ -FeOOH α -FeOOH และ Fe_3O_4 โดยที่สัดส่วนของเฟสทั้งสามเฟสจะเปลี่ยนแปลงไปตามรอบของการทดลอง โดยในกระบวนการกัดกร่อนในช่วงที่ 1 เช่น ในรอบการทดลองที่ 10 และ 20 ชั้นสนิมบนพื้นผิวของเหล็กกล้าผสมต่ำในช่วงนี้มี γ -FeOOH เป็นเฟสหลักและส่วนประกอบของสนิมส่วนใหญ่ในกระบวนการกัดกร่อนในช่วงที่ 2 เช่น รอบการทดลองที่ 60 และ 70 นั่นคือ α -FeOOH ดังนั้น การลดลงของปริมาณ γ -FeOOH และการเพิ่มขึ้นของ α -FeOOH นั้นทำให้จลนศาสตร์ของการกัดกร่อนเปลี่ยนแปลง โดยในช่วงการทดลองที่ชั้นสนิมมีส่วนผสมหลักเป็น γ -FeOOH นั้น อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น และเมื่อชั้นสนิมมีส่วนผสมหลักเป็น α -FeOOH อัตราการกัดกร่อนลดลง

3.3 การทำนายการกัดกร่อน

ผลการทดลองในหัวข้อ 3.1 แสดงถึงกระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในสภาวะจำลองนั้นประกอบไปด้วย 2 กระบวนการ คือ ช่วงแรก อัตราการกัดกร่อนสูงขึ้นและช่วงที่สอง อัตราการกัดกร่อนลดลง โดยผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสนิมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจลนศาสตร์ของการกัดกร่อน ซึ่งเป็นการยืนยันความถูกต้องของจลนศาสตร์ที่ได้วิเคราะห์ไว้ในผลการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจำลอง ดังนั้น เราจะสามารถหาอัตราการกัดกร่อนต่อรอบการทดลองดังต่อไปนี้ จากกฎ Bi-logarithmic

$$\Delta T = AN^n \quad (6)$$

$$d\Delta T / N = AN^{n-1} \quad (7)$$

โดย $d\Delta T / N$ คือ อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ย (V_{mean}) ดังนั้น

$$V_{\text{mean}} = AN^{n-1} \quad (8)$$

โดยกระบวนการกัดกร่อนประกอบไปด้วย 2 ช่วง ดังนั้น
สมการในการทำนายการกัดกร่อน คือ

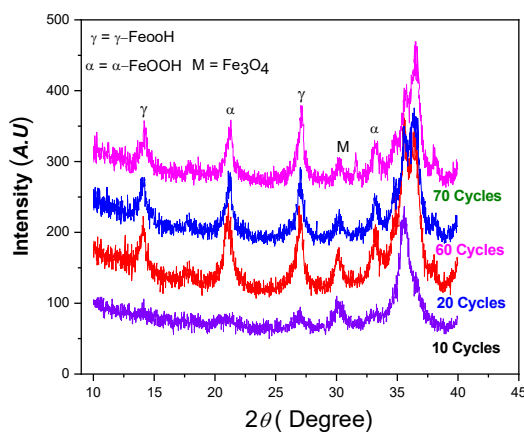
1. อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น (N น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30)
ค่า $\log A = -0.038$ และ $n = 1.52$ ดังนั้น $A = 0.92$

$$V_{mean1} = 0.92N^{0.52} \quad (9)$$

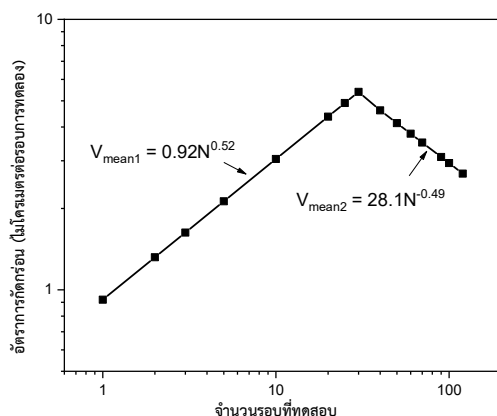
2. อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น (N มากกว่า 30) ค่า $\log A = 1.45$ และ $n = 0.522$ ดังนั้น

$$V_{mean2} = 28.1N^{-0.49} \quad (10)$$

เมื่อนำพล็อตพล็อตในมาตราส่วนลอการิทึม จะได้รูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของเฟสสนิมบนผิวของเหล็กกล้าผสมต่ำ



รูปที่ 6 อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ได้จากการทำนายการกัดกร่อนโดยการประยุกต์กฎ Bi-Logarithmic

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในบรรยากาศที่มีการเจือปนของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้มีข้อสรุปที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. กระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลองประกอบไปด้วย กระบวนการกัดกร่อนย่อยสองกระบวนการ คือ ช่วงที่ 1 อัตราการกัดกร่อนสูงขึ้นและช่วงที่ 2 อัตราการกัดกร่อนลดลง

2. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชั้นสนิมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางจลนศาสตร์ของกระบวนการกัดกร่อน โดยในช่วงแรก ชั้นสนิมบางและไม่ยึดเกาะผิวเหล็ก ซึ่งลักษณะสนิมประเภทนี้ไม่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ ดังนั้นอัตราการกัดกร่อนจึงสูงขึ้นและในช่วงที่สอง ชั้นสนิมมีความหนาและยึดติดพื้นผิวได้ดี ลักษณะสนิมชนิดนี้ต้านทานการแพร่ของซัลเฟตไอออนได้ดีส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนลดลง

3. การเปลี่ยนแปลงเฟสของสนิมในเหล็กกล้าผสมต่ำถูกกัดกร่อนในระยะแรกเป็นชั้นสนิมที่มีส่วนประกอบของ $\gamma\text{-FeOOH}$ เป็นเฟสหลักและส่วนประกอบของสนิมส่วนใหญ่ในระยะที่สอง $\alpha\text{-FeOOH}$ โดยการเพิ่มขึ้นของ $\alpha\text{-FeOOH}$ ส่งผลให้ อัตราการกัดกร่อนลดลง

4. การประยุกต์ linear Logarithm สามารถนำมาใช้วิเคราะห์จลนศาสตร์ของการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในบรรยากาศจำลองที่มีการเจือปนของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ และสามารถนำไปสร้างสมการการทำนายการกัดกร่อนที่ครอบคลุมช่วงที่ทดสอบแต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้สอดคล้องกับสถานะบรรยากาศของประเทศไทย ในงานวิจัยต่อไปนี้จะพัฒนาเป็นการศึกษากระบวนการกัดกร่อนในบรรยากาศจำลองที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 60 %

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรีในการสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณคณะพาณิชยศาสตร์บริหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาสำหรับสถานที่ในการทำวิจัยและขอขอบคุณ Assoc. Prof. Dr. Xin Mu, Shenyang Institute of Metal Research ในการช่วยวิเคราะห์ชิ้นงานทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jia J, Wu W, Cheng X, Zhao J. Ni-advanced weathering steels in Maldives for two years: Corrosion results of tropical marine field test. *Construction and Building Material*. 2020; 245:118463.
- [2] Peeratatsuwan C, Kanjanangkoonpan S, Reabroy R, Chowwanonthapunya T. Thermodynamic investigation on corrosion of Cu-bearing steel in aqueous Solutions. *Pathumwan Academic Journal*. 2023;12(33):16-26.
- [3] Misawa T. The Thermodynamic consideration For Fe- H₂O System at 25 °C. *Corrosion Science*. 1973;13(9):659-676.
- [4] Emeteri ME, Afolalu AS, Amusan L, Angela M. Role of atmospheric aerosol content on atmospheric corrosion of metallic materials. *International Journal of Corrosion*. 2021;2021: 6637499.
- [5] Winston RW, Herbert Uhlig HH . *An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. New Jersey: John Wiley& Sons, Inc.;1994.
- [6] Chowwanonthapunya T. *Fundamentals of Corrosion Engineering*. Chiangmai : Chiangmai University Press; 2022.
- [7] Jia Y, You C, Gao Y, Zhou Y, Liu M, Wang H. Atmospheric corrosion resistance of weathering angle steels in a simulated industrial atmosphere. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2020;29:1225-1534.
- [8] Hao L, Zhang S, Dong J, Ke W. Evolution of atmospheric corrosion of MnCuP weathering steel in a simulated coastal- industrial atmosphere. *Corrosion Science*. 2012;59:270-276.
- [9] Thee C, Hao L, Dong J, Wie X, Li XF, Ke W, Ke W. Atmospheric corrosion monitoring of a weathering under an electrolyte film in cyclic wet - dry condition. *Corrosion Science*. 2014;78:130-137.
- [10] Fan Y, Liu W, Li S, Chowwanonthapunya T, Wongpat B, Zhao Y, et al. Evolution of rust layers on carbon steel and weathering steel in high humidity and heat marine atmospheric corrosion. *Corrosion Science*. 2020;39:190-199.
- [11] Dong JH, Han E, Ke W. Introduction to atmospheric corrosion research in China. *Science and Technology of Advanced Materials*. 2007;8(7-8):559-565.
- [12] Wang Z, Wang M, Jiang J. Lan X, Wang F, Geng Z, Tian Q. Atmospheric corrosion analysis and rust evolution research of Q235 carbon steel at different exposure stages in Chengdu atmospheric environment of China. *Scanning*. 2020;8: Article ID 9591516
- [13] Cheng X, Jin Z, Liu M, Li X. Optimizing the nickel content in weathering steels to enhance their corrosion resistance in acidic atmospheres. *Corrosion Science*. 2021;2: 82-90.
- [14] Chowwanonthapunya T, Study on anti-atmospheric corrosion performance of steel in coastal and urban atmospheres in Thailand. *Journal of Materials Science and Applied Energy*. 2016;5(3): 61-65.