

การเตรียมผิวเคลือบคอนเวอร์ชันที่ปราศจากโครเมตเพื่อป้องกันการกัดกร่อน : ส่วนที่ 2 ผิวเคลือบโมลิบเดท

วัฒนสิทธิ์ ไสตติโสภา¹ นภฉัตร ธารีลาภ² และ ชูชาติ นิตินัญญาวงศ์³
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด พุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยในส่วนนี้ทำการเตรียมผิวเคลือบคอนเวอร์ชันโมลิบดินัมหรือผิวเคลือบโมลิบเดท จากสารประกอบของธาตุโมลิบดินัม ซึ่งเป็นธาตุที่มีสมบัติคล้ายกับโครเมียมตามตารางธาตุ เพื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อนกับผิวเคลือบซีเรียมในส่วนที่ 1 ผลการศึกษาพบว่าผิวเคลือบโมลิบเดทที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมโมลิบเดท ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 5 นาที มีความต้านทานการกัดกร่อนมากที่สุด โดยมีพื้นที่การกัดกร่อนร้อยละ 14 เท่ากับผิวเคลือบซีเรียม เมื่อเปรียบเทียบผิวเคลือบปราศจากโครเมตทั้งสองชนิด พบว่าผิวเคลือบโมลิบเดท ไม่เพียงแต่หน่วงการกัดกร่อนได้นานกว่าผิวเคลือบซีเรียมเท่านั้น แต่ราคาสารเคมีในการผลิตยังต่ำกว่าผิวเคลือบซีเรียมอีกด้วย

คำสำคัญ : การกัดกร่อน / ผิวเคลือบคอนเวอร์ชันที่ปราศจากโครเมต / ผิวเคลือบโครเมต / ผิวเคลือบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม / ผิวเคลือบโมลิบเดท

* Corresponding Author : napachat.tar@kmutt.ac.th

¹ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

² อาจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

³ อาจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

Preparation of Chromate-free Conversion Coating for Corrosion Protection Part 2 : Molybdate Coating

Wattanasit Sottisopha¹, Napachat Tarelap^{2*} and Choochat Nitipanyawong³

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140

Abstract

This part of the study aimed to prepare a molybdate or molybdenum conversion coating on electrogalvanized steel (EGS) to be used as an alternative coating for chromium(VI) conversion coating. The molybdate coating was selected because molybdenum exhibits similar chemical properties to chromium according to the periodic table. Corrosion resistance of molybdate coating prepared in this work was compared with that of the cerium coating prepared and tested in Part 1 of the study. The coating in this part was prepared from 100-mM sodium molybdate ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) at the coating time of 5 minutes. The resulting coating had the corrosion attacked areas of 14%, which was similar to that of the cerium coating. In comparison with the cerium coating, however, molybdate coating not only delayed the onset of corrosion, but the chemicals cost for the preparation of molybdate was also comparatively lower.

Keywords : Chromate Coating / Corrosion / Environmental-friendly Coating / Molybdate Coating / Non-chrome Conversion Coating

* Corresponding Author : napachat.tar@kmutt.ac.th

¹ Graduate Student, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials.

² Lecturer, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials.

³ Lecturer, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials.

1. บทนำ

ดังกล่าวไว้ในส่วนที่ 1 ว่าผิวเคลือบทดแทนผิวเคลือบโครเมตที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของสังกะสีนั้นเตรียมขึ้นจากโลหะสองกลุ่ม โดยโลหะกลุ่มแรกเป็นโลหะหายาก (Rare earth metals) ได้แก่ ซีเรียมที่มีความเป็นพิษต่ำ และยับยั้งการกัดกร่อนของสังกะสีได้ ส่วนกลุ่มที่สองเป็นโลหะที่มีสมบัติคล้ายกับโครเมียมตามตารางธาตุ เช่น โมลิบดีนัม ทังสแตน วาเนเดียม แต่ในการศึกษาการเตรียมผิวเคลือบทดแทนเพื่อใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของสังกะสีนั้น ยังไม่มีผู้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผิวเคลือบที่เตรียมจากโลหะทั้งสองกลุ่มนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองเตรียมผิวเคลือบคอนเวอร์ชันซีเรียม (รายละเอียดอยู่ในส่วนที่ 1) เปรียบเทียบกับผิวเคลือบคอนเวอร์ชันที่เตรียมจากโลหะที่มีสมบัติคล้ายกับโครเมียมตามตารางธาตุ โดยในที่นี้จะเลือกศึกษาโมลิบดีนัม เนื่องจากต้นทุนราคาสารเคมีต่ำกว่าโลหะอื่นๆ ซึ่งจะรายงานการเตรียมผิวเคลือบจากสารประกอบโมลิบดีนัมไว้ในส่วนที่ 2 นี้ จากนั้นจึงทำการศึกษาเปรียบเทียบผิวเคลือบทั้งสองชนิดทั้งสมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อน ราคาต้นทุนเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผิวเคลือบทั้งสองชนิดไปใช้งานสำหรับอุตสาหกรรม การเคลือบผิวในประเทศไทย

ผิวเคลือบโมลิบดีนัมเป็นผิวเคลือบป้องกัน (Barrier coating) สำหรับผิวรองรับสังกะสีเช่นเดียวกับผิวเคลือบโครเมต เนื่องจากสามารถลดการเกิดปฏิกิริยารีดักชันลงได้ [1, 2] อีกทั้งผลการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งด้วยไอเกลือ [3, 4] และการแช่ในสารละลาย (Immersion test) [5] โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ยังยืนยันว่าผิวเคลือบโมลิบดีนัมสามารถยืดเวลาการเกิดสนิมขาว และลดปริมาณพื้นที่กัดกร่อนให้น้อยกว่าผิวรองรับสังกะสีที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว สำหรับองค์ประกอบของผิวเคลือบนั้นประกอบด้วยสารประกอบโมลิบดีนัมที่มีเลขประจุต่างๆ ในรูปของออกไซด์ โดยองค์ประกอบของผิวเคลือบขึ้นอยู่กับสภาวะในการเตรียมผิวเป็นสำคัญ [1, 3-4] และด้วยกลไกการเกิดผิวเคลือบคอนเวอร์ชันจากสารเคมีกลุ่มนี้คล้ายกับการเคลือบผิวโครเมต สารละลายเคลือบผิวจึงมีการปรับ pH ให้น้อยกว่า 6 เพื่อให้อยู่ในช่วงกรดและเกิดปฏิกิริยาได้ โดยงานวิจัยนี้มีการปรับสารละลายให้มี pH 3 ด้วยกรดฟอสฟอริก เพื่อให้สารประกอบฟอสเฟตเข้าเคลือบร่วมใน

ผิวเคลือบ และเร่งการเกิดปฏิกิริยา ลดเวลาการเคลือบผิวซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตในอุตสาหกรรม

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการเคลือบผิวคอนเวอร์ชันโมลิบดีนัมหรือผิวเคลือบโมลิบดีนัม ลงบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี (Electro galvanized steel, EGS) โดยการจุ่มลงในสารละลายโซเดียมโมลิบดีนัม ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 1 10 และ 100 มิลลิโมลาร์ pH 3 (ปรับ pH สารละลายด้วยกรดฟอสฟอริก) เป็นเวลา 1 5 และ 10 นาที (หากใช้เวลาการเคลือบนานกว่านี้ผิวเคลือบเกิดการหลุดล่อน) จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและเป่าลมให้แห้ง แล้วจึงนำมาทดสอบสมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อน เปรียบเทียบกับผิวเคลือบโครเมต (Cr-CC) และผิวรองรับสังกะสี (EGS) ด้วยเทคนิคการพ่นไอเกลือ (Salt spray test) ตามมาตรฐาน ASTM B117 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานมาทำความสะอาดด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ตามมาตรฐาน ASTM G1-03 แล้วนำชิ้นงานไปถ่ายภาพและวิเคราะห์หาร้อยละพื้นที่การกัดกร่อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จากภาพ (Image analysis) โดยในระหว่างการทดสอบชิ้นงานด้วยการพ่นไอเกลือจะมีการบันทึกเวลาที่เริ่มสังเกตเห็นสีขาวของผิวรองรับสังกะสีด้วย

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกส์ (Potentiodynamics) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พื้นที่ทดสอบ 1 ตารางเซนติเมตร ใช้ขั้วอ้างอิงมาตรฐานชนิดเงิน/เงินคลอไรด์ (Ag/AgCl Reference Electrode) และขั้วร่วม (Counter electrode) เป็นแพลตตินัม โดยมีอัตราการจ่ายศักย์ไฟฟ้า (Scan rate) เท่ากับ 1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที และจะมีการพิจารณาเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าแอโนดิก (ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) และความหนาแน่นกระแสแคโทดิก (ที่ศักย์ไฟฟ้า -1300 มิลลิโวลต์) เช่นเดียวกับผิวเคลือบซีเรียม

สำหรับชิ้นงานที่มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีจะมีการศึกษาพื้นฐานวิทยา และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผิวเคลือบด้วยเทคนิค SEM-EDS นอกจากนี้ยังมี การวิเคราะห์เลขประจุตลอดความหนาของผิวเคลือบด้วย

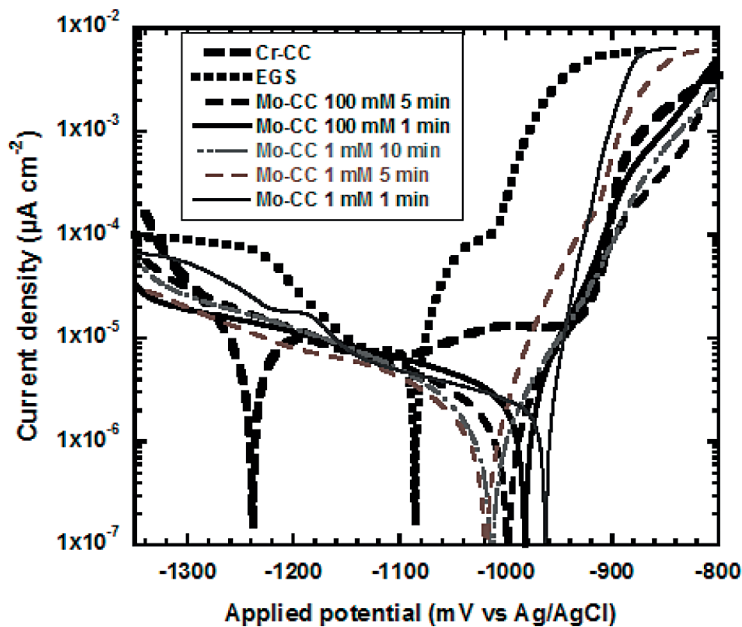
เทคนิค X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) ด้วยอัตราการขจัดผิว (Sputtering rate) 100 นาโนเมตร ต่อนาที

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 พฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของผิวเคลือบโมลิบเดท

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างกราฟโพลาริเซชันของผิวเคลือบโมลิบเดทเปรียบเทียบกับกราฟของผิวเคลือบโครเมตและผิวรองรับสังกะสี จะเห็นว่าลักษณะกราฟโพลาริเซชันของผิวเคลือบโมลิบเดทไม่แสดงช่วงพาสซีฟ (Passive region) เหมือนกับที่พบในผิวเคลือบโครเมต

(Cr-CC) และเมื่อเปรียบเทียบปฏิกิริยาแคโทดิกและแอโนดิกของผิวเคลือบพบว่า ความชันของกราฟด้านแคโทดิกน้อยกว่าด้านแอโนดิก แสดงว่าผิวเคลือบโมลิบเดททำหน้าที่ลดปฏิกิริยาแคโทดิกเป็นหลักคล้ายกับผิวเคลือบซีเรียม และเมื่อเปรียบเทียบกับผิวรองรับสังกะสีจะพบว่าผิวเคลือบโมลิบเดทมีปฏิกิริยาแคโทดิกน้อยกว่า ซึ่งการลดลงของปฏิกิริยานี้เป็นผลมาจากผิวเคลือบโมลิบเดทเป็นผิวเคลือบป้องกันที่กั้นไม่ให้ออกซิเจนเข้ามาทำปฏิกิริยารีดักชันกับผิวรองรับสังกะสี ดังที่พบในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [1, 3] ซึ่งการลดลงของปฏิกิริยารีดักชันนี้จะส่งผลให้อัตรากัดกร่อนรวมลดลงด้วย[6]



รูปที่ 1 ตัวอย่างกราฟโพลาริเซชันของผิวเคลือบโมลิบเดท (Mo-CC) เปรียบเทียบกับผิวเคลือบโครเมต (Cr-CC) และผิวรองรับสังกะสี (EGS)

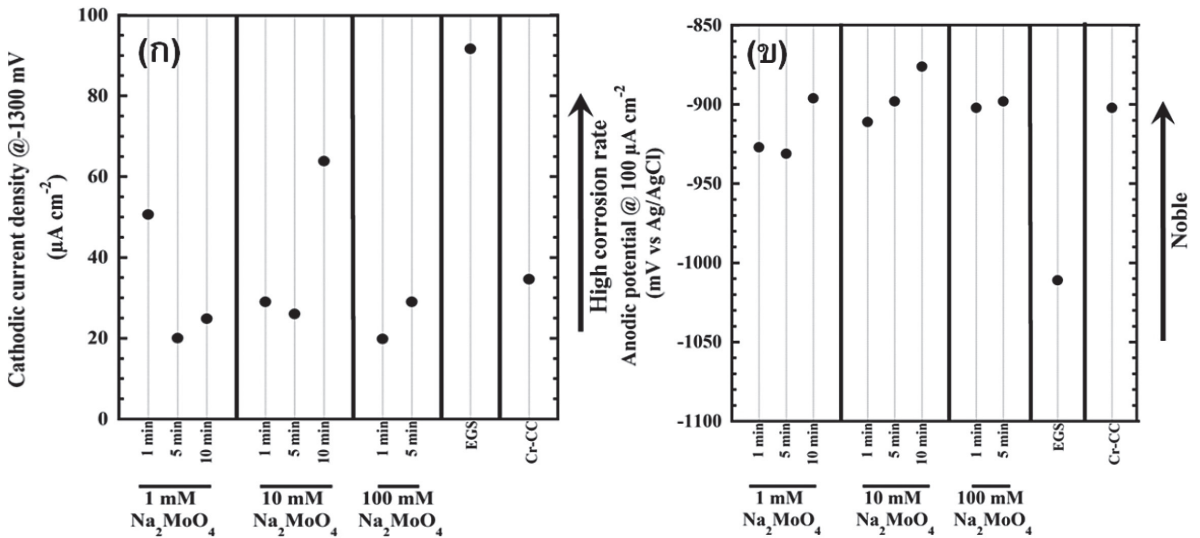
เมื่อเปรียบเทียบกระแสแคโทดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -1300 มิลลิโวลต์ (รูปที่ 2 (ก)) พบว่าผิวเคลือบทุกสภาวะมีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแคโทดิกน้อยกว่าผิวรองรับสังกะสี ทั้งนี้เนื่องจากผิวเคลือบโมลิบเดททำหน้าที่เป็นผิวเคลือบป้องกัน เช่นเดียวกับผิวเคลือบซีเรียม โดยผิวเคลือบที่เตรียมขึ้นส่วนใหญ่มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแคโทดิกในช่วง 20 - 30 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับผิวเคลือบโครเมต อย่างไรก็ตามยังมีผิวเคลือบบางสภาวะที่มีความหนาแน่นกระแส

ไฟฟ้าแคโทดิกมากกว่าผิวเคลือบโครเมต ได้แก่ ผิวเคลือบที่เตรียมจากสารละลายเคลือบเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 นาที และผิวเคลือบที่เตรียมจากสารละลายเคลือบเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 10 นาที ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเคลือบ และเวลาเคลือบผิวไม่ทำให้ปฏิกิริยาแคโทดิกลดลงอย่างชัดเจน

สำหรับการศึกษาปฏิกิริยาแอโนดิก ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 100 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

ในรูปที่ 2 (ข) พบว่าผิวเคลือบทุกสภาวะมีศักย์ไฟฟ้าแอโนดิกในช่วง -930 ถึง -880 มิลลิโวลต์ ซึ่งใกล้เคียงกับผิวเคลือบโครเมตและต้านทานต่อการทำปฏิกิริยา (Noble) มากกว่าผิวรองรับสังกะสี แสดงว่าผิวเคลือบโมลิบเดท

ทนทานต่อการกัดกร่อนมากกว่า ผิวรองรับสังกะสี คล้ายกับผิวเคลือบซีเรียม นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเคลือบ และเวลาเคลือบมีแนวโน้มทำให้ปฏิกิริยาแอโนดิกลดลง



รูปที่ 2 (ก) กระแสไฟฟ้าแคโทดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -1300 มิลลิโวลต์ และ (ข) ศักย์ไฟฟ้าแอโนดิกที่ความหนาแน่นกระแส ไฟฟ้า 100 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรของผิวเคลือบโมลิบเดท เปรียบเทียบกับผิวเคลือบโครเมต (Cr-CC) และผิวรองรับสังกะสี (EGS)

การลดลงของปฏิกิริยาแคโทดิก และแอโนดิกของผิวเคลือบโมลิบเดทเมื่อเปรียบเทียบกับผิวรองรับสังกะสีที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [1, 3] ที่รายงานว่าผิวเคลือบโมลิบเดททำหน้าที่เป็นผิวเคลือบป้องกัน จึงสามารถลดปฏิกิริยาแคโทดิกลงได้ โดยการลดปฏิกิริยานี้จะส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันลดน้อยลงด้วยเช่นเดียวกับผิวเคลือบซีเรียม นอกจากนี้ยังพบอีกว่าผิวเคลือบโมลิบเดทเกิดปฏิกิริยาแคโทดิกและแอโนดิกน้อยกว่าผิวเคลือบซีเรียม อาจเป็นเพราะผิวเคลือบโมลิบเดทประกอบด้วยสารประกอบฟอสเฟต (จากการปรับ pH ของสารละลายเคลือบด้วยกรดฟอสฟอริก) ซึ่งมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า จึงทำให้ผิวเคลือบโมลิบเดทลดปฏิกิริยาแคโทดิกและแอโนดิกลงได้มากกว่าผิวเคลือบซีเรียม [4] อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเคลือบ และเวลาเคลือบผิว ซึ่งคาดว่าจะเป็นการเพิ่มความหนาของผิวเคลือบ [2, 5] ก็ไม่มีแนวโน้มว่าสามารถลดปฏิกิริยาแคโทดิกลง ในทางตรงข้ามปฏิกิริยาแอโนดิกกลับมีแนวโน้ม

ลดลง ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากสารประกอบฟอสเฟตในผิวเคลือบทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียอิเล็กตรอนของผิวรองรับสังกะสีจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ปฏิกิริยาแอโนดิก) เป็นหลัก ดังนั้นหากสารประกอบฟอสเฟตมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายเคลือบ และเวลาเคลือบผิว อาจส่งผลให้ปฏิกิริยาแอโนดิกลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายเคลือบ และเวลาเคลือบผิว

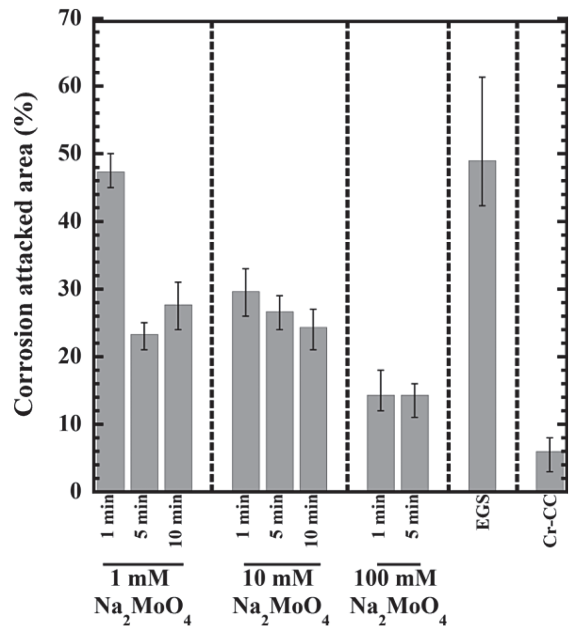
3.2 การศึกษาความทนทานต่อไอเกลือ

จากการศึกษาความทนทานต่อไอเกลือพบว่าผิวเคลือบที่เตรียมจากสารละลายเคลือบเข้มข้น 1 และ 10 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว $1 - 10$ นาที พบสนิมขาวเมื่อทดสอบนาน 30 นาที ซึ่งเท่ากับเวลาที่พบบนผิวรองรับสังกะสี แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 และ 5 นาที เวลาการเกิดสนิมขาวของผิวเคลือบจะยึดออกไปเป็น 60 และ 120 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ผิวเคลือบโครเมตพบสนิมขาวเมื่อเวลา

ผ่านไป 360 นาที ซึ่งผลดังกล่าวน่าจะเป็นเพราะผิวเคลือบโมลิบดีนัมไม่มีสมบัติการซ่อมแซมตัวเองเหมือนกับผิวเคลือบโครเมตเช่นเดียวกับผิวเคลือบซีเรียม (ดังอธิบายไว้ในส่วนที่ 1) จึงทำให้เกิดสนิมขาวเร็วกว่าผิวเคลือบโครเมต แต่หากเปรียบเทียบกับผิวเคลือบซีเรียมที่พบสนิมขาวหลังการทดสอบ 30 นาที แสดงว่าผิวเคลือบโมลิบดีนัมสามารถหน่วงการกัดกร่อนได้ดีกว่าผิวเคลือบซีเรียม ซึ่งน่าจะเป็นเพราะสารประกอบโมลิบดีนัมในผิวเคลือบมีปริมาณมากพอที่จะจับกับไอออนคลอไรด์ (จากไอเกลือ) แล้วเปลี่ยนเป็นสารประกอบโมลิบดีนัมคลอไรด์ ทำให้ไอออนคลอไรด์ที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับการกัดกร่อนกับผิวรองรับสังกะสีมีน้อยลง แต่เนื่องจากสารประกอบโมลิบดีนัมคลอไรด์นี้ละลายน้ำได้ ดังนั้นเมื่อทดสอบนานขึ้นจึงทำให้ไอออนคลอไรด์กลับมาทำปฏิกิริยาได้ ในขณะที่ปริมาณโมลิบดีนัมในผิวเคลือบลดลงเรื่อยๆ จนไม่เพียงพอที่จะยับยั้งไอออนคลอไรด์ได้อีกทำให้ผิวรองรับสังกะสีเริ่มเกิดการกัดกร่อน [1, 4]

เมื่อพิจารณาร้อยละของพื้นที่การกัดกร่อนหลังการทดสอบในสภาวะเร่งด้วย ไอเกลือเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 3) พบว่าผิวเคลือบโมลิบดีนัมทุกสภาวะมีพื้นที่การกัดกร่อนน้อยกว่าผิวรองรับสังกะสี ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีที่พบว่าผิวเคลือบโมลิบดีนัมซึ่งเป็นผิวเคลือบป้องกันและเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถลดปฏิกิริยาแคโทดิกและแอโนดิกได้ ดังนั้นการมีผิวเคลือบโมลิบดีนัมอยู่จึงเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนให้แก่ผิวรองรับสังกะสีได้ เช่นเดียวกับผิวเคลือบซีเรียม นอกจากนี้ยังพบว่าผิวเคลือบโมลิบดีนัมมีร้อยละของพื้นที่การกัดกร่อนเท่ากับ 29 ซึ่งน้อยกว่าผิวเคลือบซีเรียมที่มีร้อยละของพื้นที่การกัดกร่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 37 ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนที่พบว่าผิวเคลือบโมลิบดีนัมสามารถลดปฏิกิริยาแคโทดิกและแอโนดิกได้มากกว่าผิวเคลือบซีเรียม เนื่องจากผิวเคลือบโมลิบดีนัมมีสารประกอบฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ อย่างไรก็ตามพื้นที่การกัดกร่อนของผิวเคลือบโมลิบดีนัมทุกสภาวะยังคงมากกว่าผิวเคลือบโครเมต แสดงว่าความทนทานต่อไอเกลือของผิวเคลือบโครเมตยังดีกว่าผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เตรียมได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเคลือบส่งผลให้พื้นที่การกัดกร่อนลดลงอย่าง

เห็นได้ชัด ส่วนการเพิ่มเวลาเคลือบผิวจะมีผลชัดเจนในบางสภาวะเท่านั้น



รูปที่ 3 ร้อยละของพื้นที่การกัดกร่อนของผิวเคลือบโมลิบดีนัมซึ่งเตรียมจากสารละลายเคลือบเข้มข้น 1 - 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 - 10 นาที หลังการทดสอบในสภาวะเร่งด้วยไอเกลือเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับผิวรองรับสังกะสี (EGS) และผิวเคลือบโครเมต (Cr-CC)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เตรียมจากสภาวะต่างๆ พบว่าผิวเคลือบที่เตรียมจากสารละลายเคลือบเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 และ 5 นาที มีร้อยละพื้นที่การกัดกร่อนน้อยที่สุด ซึ่งผลดังกล่าวน่าจะมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้าที่พบว่า ผิวเคลือบที่เตรียมจากสภาวะนี้มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาแคโทดิกและแอโนดิกน้อยกว่าสภาวะเคลือบผิวอื่น (รูปที่ 2) จึงทำให้มีความต้านทานการกัดกร่อนในสภาวะเร่งด้วยไอเกลือมากที่สุด เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการกัดกร่อนกับสมบัติของวัสดุ จึงนำผิวเคลือบที่เตรียมได้จากสภาวะนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDS ในหัวข้อต่อไป

3.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของ ผิวเคลือบโมลิบดีนัมด้วยเทคนิค SEM-EDS

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของโมลิบดีนัม และฟอสฟอรัสจากการวิเคราะห์ผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เตรียมจากสารละลายเคลือบเข้มข้น 1 - 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 - 10 นาทีด้วยเทคนิค EDS ผลการวิเคราะห์พบว่าในผิวเคลือบมีปริมาณโมลิบดีนัมมากกว่าฟอสฟอรัสในทุกสภาวะการเคลือบผิวโดยปริมาณของโมลิบดีนัม และฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น

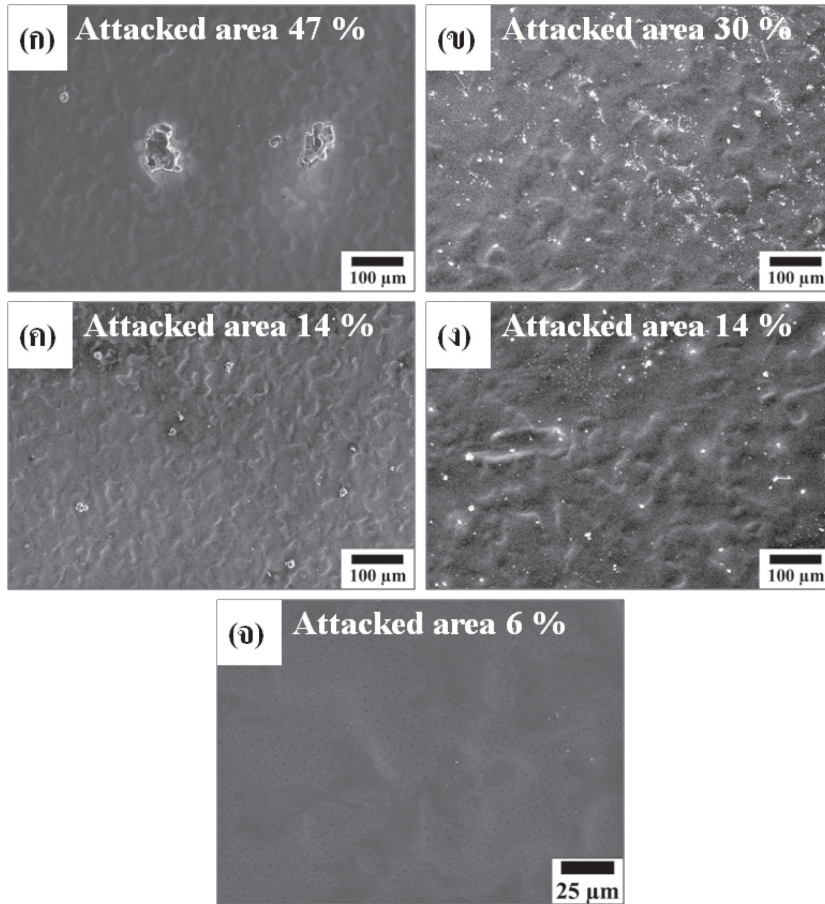
ของสารละลายเคลือบและเวลาเคลือบผิว หรืออาจกล่าวได้ว่า ปริมาณโมลิบดีนัมและฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของผิวเคลือบ ด้วยเหตุผลทั้งด้านความหนาของผิวเคลือบและปริมาณธาตุในผิวเคลือบ จึงทำให้ผิวเคลือบที่เตรียมจากสารละลายเคลือบที่มีความเข้มข้นสูง และเวลาเคลือบผิวนานมีพื้นที่การกัดกร่อนน้อย เนื่องจากผิวเคลือบมีความเป็นผิวเคลือบป้องกันและฉนวนไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลงานวิจัยก่อนหน้านี้ [3, 5]

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เตรียมจากสารละลายเคลือบเข้มข้น 1 - 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 - 10 นาที

สภาวะเคลือบผิวโมลิบดีนัม		องค์ประกอบของผิวเคลือบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
สารละลายโซเดียมโมลิบดีนัมเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)	เวลาเคลือบผิว (นาที)	โมลิบดีนัม	ฟอสฟอรัส	สังกะสี
1	1	0.87	0.42	98.71
	10	2.95	1.26	95.79
10	1	2.62	1.32	96.06
	10	3.24	2.11	94.65
100	1	4.68	1.98	93.34
	5	7.15	2.71	90.14

เมื่อพิจารณาสัณฐานวิทยาของผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่มีปริมาณร้อยละของพื้นที่การกัดกร่อนที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับผิวเคลือบโครเมตในรูปที่ 4 จะเห็นว่าถึงแม้ผิวเคลือบโมลิบดีนัมจะมีพื้นที่การกัดกร่อนแตกต่างกัน แต่กลับมีลักษณะสัณฐานวิทยาของผิวเคลือบคล้ายกัน คือ ผิวค่อนข้างเรียบ และไม่พบรอยแตกของผิวเคลือบ

เหมือนที่พบในผิวเคลือบซีเรียม ผลการศึกษาที่พบในงานวิจัยนี้ขัดแย้งกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [7] ที่รายงานว่าความหนาของผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เพิ่มขึ้น (ปริมาณโมลิบดีนัมและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายเคลือบ และเวลาเคลือบผิว) จะส่งผลให้ขนาดและปริมาณของรอยแตกเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 สัณฐานวิทยาของผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เตรียมจาก (ก) สารละลายเคลือบเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 นาที (ข) สารละลายเคลือบเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 นาที (ค) สารละลายเคลือบเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 1 นาที (ง) สารละลายเคลือบเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 5 นาที เปรียบเทียบกับ (จ) ผิวเคลือบโครเมต

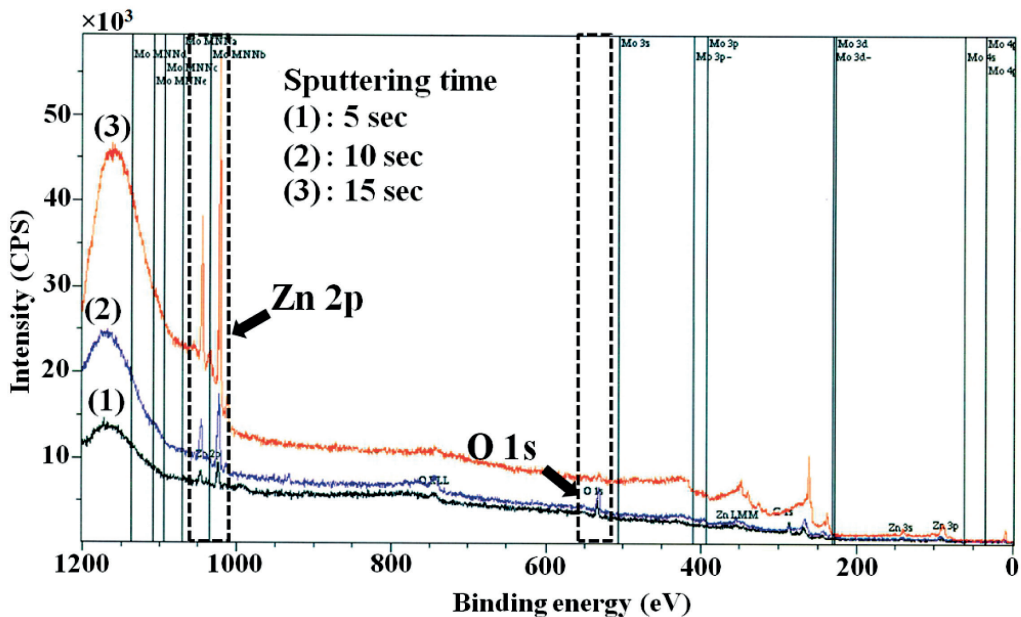
จากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้แสดงให้เห็นว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวเคลือบไม่ได้เป็นตัวชี้วัด สมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบโมลิบดีนัม แต่เป็นปริมาณของโมลิบดีนัม และฟอสฟอรัสในผิวเคลือบ ที่มีความสำคัญต่อสมบัติต้านทานการกัดกร่อน นอกจากนี้ อาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อสมบัติของผิวเคลือบโมลิบดีนัม เช่น เลขประจจุของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผิวเคลือบ ดังจะได้ทำการศึกษาในหัวข้อต่อไป

3.4 การวิเคราะห์เลขประจจุของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ตามความหนาของผิวเคลือบด้วยเทคนิค XPS

ในหัวข้อนี้เลือกศึกษาผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เตรียม จากสารละลายเคลือบเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 5 นาที ซึ่งมีพื้นที่การกัดกร่อนน้อยที่สุด และในผิวเคลือบประกอบด้วยโมลิบดีนัม และฟอสฟอรัสในปริมาณมากที่สุดมาทำการศึกษา โดยมีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผิวเคลือบจาก Survey spectrum

ในช่วง Binding energy 0 - 1200 อิเล็กตรอนโวลต์ ได้ Spectrum ดังรูปที่ 5 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้เวลาการขจัดผิว (Sputter time) 5 วินาที หรือที่ความลึก 8.35 นาโนเมตร (กราฟที่ (1) ในรูปที่ 5) ไม่พบสเปกตรัมของโมลิบดีนัมและฟอสฟอรัสทุกช่วง Binding energy พบเพียงแต่สเปกตรัมของสังกะสีที่ 2p Orbital และออกซิเจนที่ 1s Orbital เท่านั้น (บริเวณเส้นประ) จากนั้นจึงทำการขจัดผิวต่อไปอีก 5 วินาที (เวลาขจัดผิวทั้งหมด 10 วินาที) หรือที่ความลึก 16.67 นาโนเมตร (กราฟที่ (2) ในรูปที่ 5) เพื่อหาโมลิบดีนัมและฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบของผิวเคลือบ ปรากฏว่าพบเพียงแต่สเปกตรัมของสังกะสีและออกซิเจนเช่นเดียวกับ Spectrum ที่ได้จากการขจัด

ผิว 5 วินาที จึงได้เพิ่มการขจัดผิวต่อไปอีก 5 วินาที (เวลาการขจัดผิวทั้งหมด 15 วินาที) หรือที่ความลึก 25.00 นาโนเมตร (กราฟที่ (3) ในรูปที่ 5) ซึ่งพบเพียงสเปกตรัมของสังกะสีเท่านั้น แสดงว่าได้ขจัดผิวหน้าออกจนถึงชั้นของผิวรองรับสังกะสีแล้ว จึงไม่ต้องเพิ่มเวลาการขจัดผิวอีก จากการตรวจสอบ Survey spectrum จะเห็นว่าไม่ปรากฏโมลิบดีนัม และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของผิวเคลือบนี้ คาดว่าน่าจะเป็นข้อจำกัดของเครื่องที่ใช้วิเคราะห์ จึงไม่สามารถวิเคราะห์เลขประจุของธาตุที่เป็นองค์ประกอบตลอดความหนาของผิวเคลือบเพื่อหาความสัมพันธ์กับสมบัติด้านทานการกัดกร่อนได้



รูปที่ 5 Survey spectrum ของผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เตรียมจากสารละลายเคลือบเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เวลาเคลือบผิว 5 นาที เมื่อใช้เวลาขจัดผิว (1) 5 (2) 10 และ 15 วินาที

เมื่อพิจารณาที่เวลาการขจัดผิว 5 และ 10 วินาที จะเห็นสเปกตรัมของออกซิเจนปรากฏอยู่ โดยคาดว่าชั้น (Layer) นี้จะเป็นชั้นของผิวเคลือบโมลิบดีนัม เนื่องจากข้อมูลของงานวิจัยก่อนหน้า [4, 7] รายงานว่าชั้นผิวเคลือบโมลิบดีนัมจะพบสเปกตรัมของออกซิเจนตลอดความหนาของผิวเคลือบ ดังนั้นผิวเคลือบโมลิบดีนัมที่เตรียมได้ไม่

การศึกษานี้ น่าจะมีความหนาประมาณ 17 นาโนเมตร นอกจากนี้ในรายงานการวิจัยดังกล่าว [4, 7] ยังพบความหลากหลายของเลขประจุของโมลิบดีนัม โดยมีค่าตั้งแต่ +6 ถึง +3 รวมถึงชนิดของสารประกอบสังกะสี และฟอสฟอรัสที่มาจากผิวรองรับสังกะสีและกรดฟอสฟอริก ที่มีเลขประจุ +2 และ +5 ตามลำดับ

สำหรับกลไกการเกิดสารประกอบต่างๆ ที่เป็นไปได้ ในผิวเคลือบโมลิบเดทเป็น ดังนี้

1. เมื่อมีการจุ่มผิวรองรับสังกะสีลงในสารละลายเคลือบซีเรียมไนเตรทจะเกิดปฏิกิริยาการละลายออกของสังกะสีดังสมการที่ (1)



จากการละลายออกของสังกะสีจะทำให้ไอออนสังกะสีเป็นองค์ประกอบอยู่ในสารละลายเคลือบ

2. เกิดปฏิกิริยารีดักชันของไอออนไฮโดรเจน และออกซิเจนตามสมการที่ (2)-(4) ทำให้ Local pH สูงขึ้น



ในการเกิดฟิล์ม เป็นไปได้ 2 กลไกดังนี้

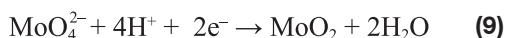
(1) กลไกที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของไอออนโมลิบเดทในสารละลาย โดย ที่ pH3 ไอออนโมลิบเดทซึ่งอยู่ในรูป $\text{Mo}_6\text{O}_{21}^{3-}$ [7] เกิดปฏิกิริยาดังสมการ



(2) กลไกที่เกิดคล้ายกับการเกิดผิวโครเมตดังสมการ



นอกจากนี้ยังมีรายงานการพบโมลิบดินัมไดออกไซด์ (MoO_2) ซึ่งอาจเกิดจากการรีดักชันของสารประกอบโมลิบดินัมไนเตรทไดออกไซด์ (MoO_3) [4] หรือเกิดจากการทำปฏิกิริยาดังสมการ



จะเห็นว่าการเกิดสารประกอบโมลิบเดทไม่มีกลไกที่ชัดเจน ซึ่งเลขประจุของสารประกอบในผิวเคลือบส่วนใหญ่มีประจุ +4 และ +6 [3-4, 7] อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดของเครื่องมือจึงไม่สามารถทราบได้ว่าสารประกอบในผิวเคลือบมีเลขประจุใดบ้าง แต่คาดว่ามีการประกอบคล้ายกับรายงานการวิจัยที่ผ่านมา

จากผลการศึกษาสมบัติของผิวเคลือบโมลิบเดทพบว่า ผิวเคลือบมีความต้านทานการกัดกร่อนมากกว่าผิวรองรับสังกะสี เนื่องจากผิวเคลือบชนิดนี้ทำหน้าที่เป็นผิวเคลือบป้องกันเช่นเดียวกับผิวเคลือบซีเรียม โดยพบว่าสมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบโมลิบเดทมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายเคลือบ และเวลาเคลือบผิว หรือความหนาของผิวเคลือบ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าองค์ประกอบทางเคมีของผิวเคลือบ ได้แก่ โมลิบดินัมและฟอสฟอรัสมีผลกับความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบ ซึ่งแตกต่างจากผิวเคลือบซีเรียม จึงแสดงให้เห็นว่าผิวเคลือบโมลิบเดทสามารถเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนให้กับผิวรองรับสังกะสีได้เนื่องจากผิวเคลือบชนิดนี้ลดปฏิกิริยาแคโทดิกเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลให้ปฏิกิริยาแอโนดิกและอัตราการกัดกร่อนโดยรวมลดลงด้วย โดยสามารถสังเกตจากการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งด้วย ไอเกลือที่พบว่า การมีผิวเคลือบโมลิบเดทสามารถลดพื้นที่การกัดกร่อนให้น้อยกว่าผิวรองรับสังกะสีที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวได้ แต่ยังไม่สามารถห้วงเวลาการเกิดสนิมขาวของสังกะสีได้นานเท่าผิวเคลือบโครเมต อย่างไรก็ตามสารประกอบโมลิบเดทในผิวเคลือบก็ยังช่วยห้วงเวลาการเกิดสนิมขาวของสังกะสีได้นานกว่าผิวเคลือบซีเรียม นอกจากนี้ยังพบอีกว่าปริมาณโมลิบดินัมและฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบในผิวเคลือบมีผลต่อสมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบ แต่ลักษณะสัณฐานวิทยาของผิวเคลือบกลับไม่มีผลต่อสมบัติดังกล่าว ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างเลขประจุของธาตุที่เป็นองค์ประกอบตลอดความหนาของผิวเคลือบกับความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบไม่สามารถทำการศึกษาค้นคว้าหาความเกี่ยวข้องกันได้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือและความหนาของผิวเคลือบที่เตรียมได้

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของผิวเคลือบซีเรียม และ โพลีเอทเธนจะเห็นว่าผิวเคลือบทั้งสองมีกลไกการป้องกันการกัดกร่อนที่คล้ายคลึงกัน แต่ปัจจัยที่ทำให้ผิวเคลือบมีความต้านทานการกัดกร่อนดีขึ้นนั้นมีความแตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้เห็นถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของผิวเคลือบทั้ง 2 ชนิด จึงทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบที่มีการประเมินด้วยวิธีต่างๆ โดยเลือกสภาวะเคลือบผิวของผิวเคลือบแต่ละชนิดที่มีพื้นที่การกัดกร่อนน้อยที่สุดจากการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งด้วยไอเกลือมาเปรียบเทียบกัน และเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมจึงมีการ

เปรียบเทียบราคาสารเคมีในการเตรียมผิวเคลือบด้วย ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.5 การเปรียบเทียบสมบัติของผิวเคลือบซีเรียมและโพลีเอทเธน

ในหัวข้อนี้ทำการเปรียบเทียบสมบัติของผิวเคลือบคอนเวอร์ชันที่ปราศจากโครเมตทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ผิวเคลือบซีเรียม และผิวเคลือบโพลีเอทเธน โดยเลือกสภาวะเคลือบของผิวเคลือบแต่ละชนิดที่มีพื้นที่การกัดกร่อนน้อยที่สุดจากการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งด้วยไอเกลือมาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมบัติของผิวเคลือบแบบคอนเวอร์ชันที่ปราศจากโครเมตที่เตรียมขึ้น

หัวข้อ	ผิวเคลือบคอนเวอร์ชันที่ปราศจากโครเมต		ผิวเคลือบโครเมต
	ผิวเคลือบซีเรียม	ผิวเคลือบโพลีเอทเธน	
สภาวะเคลือบผิว			
- ความเข้มข้นสารละลาย (มิลลิโมลาร์)	100	100	5 กรัม/ ลิตร
- เวลาเคลือบผิว (นาท)	360	5	5 วินาที
- ความหนาโดยประมาณของผิวเคลือบด้วยเทคนิค XPS (นาโนเมตร)	133	17	ไม่ได้ทำการวัด
พฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของผิวเคลือบ			
- ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแคโทดที่ -1300 mV (ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร)	40.57	29.05	34.61
- ศักย์ไฟฟ้าแอโนดิกที่ $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (โวลต์)	-931	-898	-900
การกัดกร่อนในสภาวะเร่งด้วยไอเกลือ			
- เวลาที่พบสนิมขาว(นาท)	30	120	360
- พื้นที่การกัดกร่อน (ร้อยละ)	14	14	6
ราคาของสารละลาย			
- สารละลายเคลือบเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (บาท)	175	20	ไม่มีข้อมูล**

หมายเหตุ **ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทผู้ผลิต

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าพบว่า ผิวเคลือบโพลีเอทเธนมีปฏิกิริยาแคโทดิกและแอโนดิกต่ำกว่าผิวเคลือบซีเรียม ซึ่งแสดงว่าผิวเคลือบโพลีเอทเธนมีความต้านทานการกัดกร่อนดีกว่าผิวเคลือบ

ซีเรียม ต่อมาเมื่อพิจารณาการกัดกร่อนในสภาวะเร่งด้วยไอเกลือพบว่า ผิวเคลือบโพลีเอทเธนสามารถหน่วงเวลาการเกิดสนิมขาวได้นานกว่าผิวเคลือบซีเรียมถึง 4 เท่า แต่เมื่อทดสอบครบ 24 ชั่วโมง ผิวเคลือบทั้งสองมีพื้นที่การ

กัดกร่อนเท่ากัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในผิวเคลือบโมลิบเดทอาจมีสารประกอบโมลิบดินัม (VI) ซึ่งช่วยหน่วงเวลาที่คลอไรด์ไอออนจะเข้าไปทำให้ผิวรองรับสังกะสีเกิดการกัดกร่อน ซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่พบในผิวเคลือบซีเรียม จึงทำให้ผิวเคลือบโมลิบเดทเกิดสนิมขาวช้ากว่าผิวเคลือบซีเรียม ดังนั้นหากผิวเคลือบโมลิบเดทมีความหนาใกล้เคียงกับผิวเคลือบซีเรียม และเป็นผิวเคลือบที่ปราศจากรอยแตก น่าจะส่งผลให้ผิวเคลือบโมลิบเดทมีพื้นที่การกัดกร่อนน้อยกว่าผิวเคลือบซีเรียมเมื่อทดสอบครบ 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ผิวเคลือบโมลิบเดทที่เตรียมได้ในการศึกษานี้มีความหนาน้อยกว่าผิวเคลือบซีเรียม เนื่องจากไม่สามารถใช้เวลาการเคลือบนานได้ เพราะผิวหลุดล่อน ดังนั้นด้วยความหนาที่มากกว่าของผิวเคลือบซีเรียมจึงเป็นปัจจัยขัดขวางความต้านทานการกัดกร่อนที่ด้อยกว่าของผิวเคลือบซีเรียม เป็นผลให้ผิวเคลือบทั้งสองชนิดมีพื้นที่การกัดกร่อนเท่ากัน แม้ว่าความหนาของผิวเคลือบจะต่างกันมากก็ตาม และเมื่อพิจารณาถึงสภาวะที่ใช้เตรียมผิวเคลือบพบว่าผิวเคลือบซีเรียมและโมลิบดินัมเตรียมจากสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากันแต่ผิวเคลือบโมลิบเดทใช้เวลาเคลือบผิวสั้นกว่ามาก และยังมีต้นทุนของสารเคมีต่ำกว่ามาก ดังนั้นผิวเคลือบโมลิบเดทจึงน่าจะมีการพัฒนาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 ผิวเคลือบโมลิบเดทที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถปกป้องและยืดเวลาการเกิดสนิมขาวให้กับผิวรองรับสังกะสีได้ เช่นเดียวกับผิวเคลือบซีเรียม แม้ว่าจะยังไม่ดีเท่าผิวเคลือบโครเมตก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจาก ผิวเคลือบทั้งสองทำหน้าที่เป็นผิวเคลือบป้องกันเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ผิวเคลือบโครเมตเป็นทั้งผิวเคลือบป้องกันและผิวเคลือบที่ซ่อมแซมตัวเองได้

4.2 ผิวเคลือบโมลิบเดทสามารถเพิ่มสมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อนให้กับผิวรองรับสังกะสี โดยลดปฏิกิริยาแคโทดิก หรือลดการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับผิวรองรับลดลง ส่งผลให้ปฏิกิริยาแอโนดิกและปฏิกิริยาการกัดกร่อนโดยรวมลดลง

4.3 ความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบโมลิบเดทขึ้นอยู่กับปริมาณโมลิบดินัมและฟอสฟอรัส ซึ่งต่างจาก

ผิวเคลือบซีเรียมที่ขึ้นอยู่กับความหนาและความสมบูรณ์ของผิวเคลือบ

4.4 เมื่อเปรียบเทียบผิวเคลือบซีเรียมและผิวเคลือบโมลิบเดทที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงที่สุดพบว่าผิวเคลือบทั้งสองชนิดมีร้อยละของพื้นที่การกัดกร่อนเท่ากัน คือ ร้อยละ 14 แต่ผิวเคลือบโมลิบเดทใช้เวลาในการเคลือบน้อยกว่ามาก อีกทั้งสารเคมีในการเตรียมผิวมีราคาถูกกว่าผิวเคลือบซีเรียม ดังนั้น ผิวเคลือบโมลิบเดทจึงเป็นผิวเคลือบที่ควรมีการพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวในประเทศ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ศนวท.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ปีงบประมาณ 2553

6. เอกสารอ้างอิง

1. Rout, T.K. and Bandyopadhyay, N., 2007, "Effect of Molybdate Coating for White Rusting Resistance on Galvanized Steel," *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 54 (1), pp. 16-20.
2. Qu, Q., Li, L., Jiang, S., Bai, W. and Ding, Z., 2009, "Effect of Sodium Molybdate on the Corrosion Behavior of Cold Rolled Steel in Peracetic Acid Solution," *Journal of Applied Electrochemistry*, 39 (5), pp. 569-576.
3. Treacy, G.M., Wilcox, G.D. and Richardson, M.O.W., 1999, "Behaviour of Molybdate-Passivated Zinc Coated Steel Exposed to Corrosive Chloride Environments," *Journal of Applied Electrochemistry*, 29 (5), pp. 647-654.
4. Liu, D., Yang, Z., Wang, Z. and Zhang, C., 2010, "Synthesis and Evaluation of Corrosion Resistance of Molybdate-Based Conversion Coatings on Electroplated Zinc," *Surface and Coatings Technology*, 205 (7), pp. 2328-2334.

5. Magalhes, A.A.O., Margarit, I.C.P., and Mattos, O.R., 2004, "Molybdate Conversion Coatings on Zinc Surfaces," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 572 (2), pp. 433-440.
6. Fontana, M.G., 1986, *Corrosion Engineering*, 3rd ed., McGraw-Hill, Singapore, pp. 12 - 22, 294 - 304, 452 - 473, 487 - 492.
7. da Silva, C.G., Margarit-Mattos, I.C.P., Mattos, O.R., Perrot, H., Tribollet, B. and Vivier, V., 2009, "The Molybdate-Zinc Conversion Process," *Corrosion Science*, 51 (1), pp. 151-158.

