การประเมินประสิทธิภาพของแอโนดในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต โดยวิธีการเร่งปฏิกิริยาไฟฟ้า

Evaluation of Anode Materials to Protect Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete by Accelerating the Electrical Reaction

รัตชัยน์ สลับศรี[1] และ ศุภกร ประพัสสร[1,*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมและอุตสาหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จ.กรุงเทพฯ

**Corresponding author; E-mail address: * suphakorn@mut.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันสนิมของเหล็กเสริมโดยวิธีกัลป์วานิกคาโทดิก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแอโนด ได้แก่ สังกะสี, อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม เมื่อใช้วัสดุผสมเพิ่มที่แตกต่างกัน คือ ซีเมนต์ประเภทที่ 5 เถ้าลอย 35% และเถ้าแกลบที่ 10%, 20%, และ 30% ซึ่งมีตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 24 ตัวอย่างทดสอบ ทำการทดสอบโดยการติดตั้งแอโนดกับเหล็กเสริมในคอนกรีตขนาด 20 x 80 x 10 เซนติเมตร เมื่อตัวอย่างทดสอบมีอายุที่ 28 วัน ทำการจำลองโครงสร้างใกล้ทะเลโดยการแช่ตัวอย่างทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ 4% และทำการเร่งปฏิกิริยาสนิมของเหล็กเสนิมด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี จากนั้นทำการประเมินการเกิดสนิมด้วยวิธีไฟฟ้าครึ่งเซลล์ตามมาตรฐาน ASTM C876 ทำการตรวจสอบสภาพเหล็กเสริม และปริมาณคลอไรด์ภายในตัวอย่างทดสอบด้วยวิธีไทเทรต ผลการทดสอบพบว่าแอโนดสังกะสีมีประสิทธิภาพดีที่สุด จากการตรวจสอบสภาพภายนอกของเหล็กเสริม โดยที่แอโนดแมกนีเซียมมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ในส่วนของวัสดุผสมเพิ่มพบว่าตัวอย่างที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 5 มีแนวโน้วที่สามารถต้านทานคลอไรด์ และป้องกันการเกิดสนิมได้ดีกว่าตัวอย่างทดสอบอื่น

คำสำคัญ: สนิมเหล็ก, คอนกรีตเสริมเหล็ก, การเร่งปฏิกิริยาสนิม, การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

Abstract

This study investigates the effectiveness of corrosion inhibition in reinforced steel through the galvanic cathodic protection method by comparing the performance of sacrificial anodes made of zinc, aluminum, and magnesium. A total of 24 specimens were prepared using various admixtures, including Portland cement type 5, fly ash at a concentration of 35%, and rice husk ash at concentrations of 10%, 20%, and 30%. The anode was attached to the reinforcing steel within a 20 x 80 x 10 cm concrete slab, and the test samples were aged for 28 days. A marine structure environment was simulated by immersing the specimens in a 4% sodium chloride solution and inducing steel catalysis using the electrochemical cell technique. Corrosion was assessed via a half-cell electrochemical method, in accordance with the ASTM C876 standard, while the chloride content within the specimens was determined through titration analysis. The results demonstrate that zinc anodes exhibit superior performance, magnesium anodes display the lowest corrosion prevention efficiency, and specimens fabricated with type 5 cement exhibit enhanced resistance to chloride penetration and rust prevention compared to other test specimens.

Keywords: rust, reinforced concrete, sacrificial anode, half-cell potential test

1. บทนำ

คอนกรีตเสริมเหล็ก คือ คอนกรีตที่เสริมสมรรถภาพการรับน้ำหนักโดยมีเหล็กเสริมช่วยในการรับแรงดึงของคอนกรีต แต่เมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลานานเหล็กเสริมคอนกรีตมีโอกาสที่จะเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากการแทรกซึมของคลอไรด์และซัลเฟต โดยเฉพาะโครงสร้างที่อยู่ใกล้กับบริเวณที่มีน้ำทะเลการเสื่อมสภาพของเหล็กทำให้ผิวของคอนกรีตเสียหายและไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ [1] จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงมีแนวคิดที่จะป้องกันกันหรือลดการกัดกร่อนโดยการนำวัสดุผสมเพิ่มได้แก่ ซีเมนต์ประเภทที่ 5, เถ้าลอย 35 เปอร์เซ็นต์และเถ้าแกลบที่ 10, 20และ 30 เปอร์เซ็นต์ที่สามารถช่วยยับยั้งการกัดกร่อน [2-3] และจะใช้วิธี Cathodic Protection [4] ระบบ Sacrificed Anode Type System มีแอโนดในการยับยั้งการกัดกร่อนคือ แอโนดประเภทโลหะยับยั้งการกัดกร่อนเช่น อลูมิเนียมกัดกร่อน, สังกะสีกัดกร่อน และแมกนีเซียมกัดกร่อน โดย

ผลกระทบหลักมีตั้งแต่ลดอัตราการกัดกร่อนไปจนถึงการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมด้วยวิธี Sacrificed Anode Type System ให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำวัสดุผสมเพิ่มมาใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตเสริมเหล็ก

2. วัสดุและวิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

โดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นประเภทที่ใช้ในงานโครงสร้างทั่ว ๆ ไป แสดงในรูปที่ 1 และปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 เป็นซีเมนต์ชนิดต้านทานซัลเฟตสูงเหมาะสำหรับงานที่อยู่ใกล้กับทะเลหรือบริเวณที่มีเกลือจำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 1 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

รูปที่ 2 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5

2.1.2 เถ้าลอย

จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ชั้นคุณภาพ 2 มาตรฐาน มอก. 2135 ผสมแทนปูนซีเมนต์ที่ 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 เถ้าลอย

2.1.3 ขี้เถ้าแกลบละเอียด

จากโรงสีไฟ Srikrung Rice Mill ศรีกรุงลาดกระบัง ผสมแทนปูนซีเมนต์ที่ 10, 25, และ 40 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร แสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ขี้เถ้าแกลบละเอียด

2.1.4 แอโนด

ในงานวิจัยนี้ใช้แอโนดทั้งหมด 3 ประเภทได้แก่ แอโนดสังกระสี, แอโนดอลูมิเนียม และแอโนดแมคนีเซียม แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 การติดตั้งแอโนด

2.2 วิธีการทดสอบ

2.2.1 การทดสอบกำลังอัด

ตามมาตรฐาน ASTM C 192 โดยวางตัวอย่างทรงกระบอกที่ทำการเคลือบผิวด้านบนโดย กำมะถันในแนวดิ่ง เพื่อให้แรงกดจากเครื่องทดสอบกระจายตัวสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดตัวอย่างทรงกระบอก แสดงดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ตัวอย่างทดสอบทรงกระบอก

2.2.2 ทดสอบวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

ตามมาตรฐาน ASTM C876 เพื่อทดสอบและประเมินโอกาสการเกิดสนิมในเหล็กเสริมโดยใช้เซลล์อ้างอิงชนิด Cu-CuSo, [5] โดยการนำตัวอย่างคอนกรีตมาวัดหาอัตราการเกิดสนิม จะวัดตามระยะที่มีการติดตั้งเหล็กเสริมคอนกรีต ทุกๆ ระยะ 10 เซนติเมตรตามความยาวของเหล็กเสริมด้านบน โดยจะทำการวัดทุกๆสัปดาห์ ซึ่งค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดจะมีข้อกำหนดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้าง

ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต Cu / Cuso)	สภาพการเกิดสนิม
น้อยกว่า -250 มิลลิโวลต์	โอกาสร้อยละ 90 ที่เหล็กเสริมจะไม่เกิดสนิม
-250 mV ถึง -350 มิลลิโวลต์	ไม่แน่นอน
มากกว่า -350 มิลลิโวลต์	มีโอกาสร้อยละ 90 ที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิม

2.2.3 การทดสอบไทเทรตหาปริมาณคลอไรด์

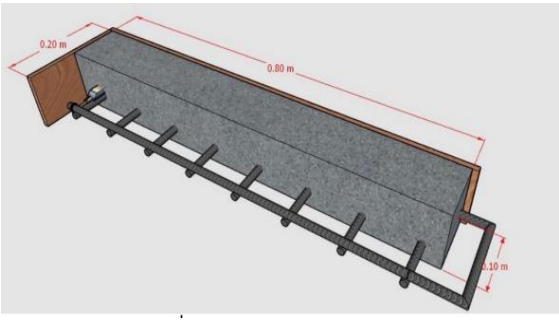
การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด (Acid-soluble chloride content) ในคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1152 จากนั้นจึงนำข้อมูลผลการทดลองการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่คลอไรด์

2.2.4 การเร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิม

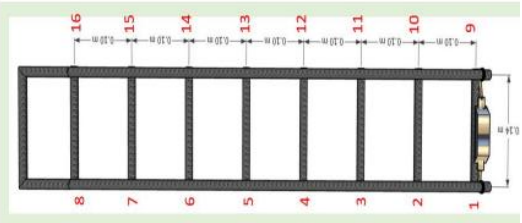
เมื่อบ่มก่อนตัวอย่างครบ 28 วัน นำก้อนตัวอย่างมาเร่งการเกิดสนิมโดยการเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 4% โดยน้ำหนัก ในบ่อบ่มตัวอย่างและทำการติดตั้งสายไฟฟ้ากับเครื่องกระจาย กระแสไฟฟ้า และวางแผ่นสแตนเลสลงในน้ำบางส่วน ทำการต่อกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แท่งคอนกรีตโดย ให้ขั้วไฟฟ้าบวกต่อเข้ากับเหล็กเสริม ขั้วไฟฟ้าลบต่อเข้ากับแผ่นสแตนเลส โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าตรง สม่ำเสมอด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็นเวลา 14 วัน

3. ตัวอย่างทดสอบ

ใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 0.8 เมตร x 0.2 เมตร x 0.1 เมตร แสดงดังรูปที่ 7 ทำการเสริมเหล็กผูกมัดเป็นตะแกรงมีระยะห่างของเหล็กเสริมทุกๆ 0.1 เมตร ตามแนวยาว รวมทั้งตั้งแอโนดแต่ละประเภทไว้บริเวณด้านล่างของชิ้นตัวอย่างทดสอบ โดยกำหนดระยะหุ้มคอนกรีตอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 ขนาดของวิ้นตัวอย่างทดสอบ



รูป 8 ตำแหน่งเสริมเหล็กและตำแหน่งติดตั้งแอโนด

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบกำลังอัดทั้งหมด 18 ตัวอย่างทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 และมีสัดส่วนการผสมของตัวอย่างทดสอบประเภทผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แสดงดังตารางที่ 3 สัดส่วนการผสมของประเภทผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แสดงดังตารางที่ 4 สัดส่วนการผสมของประเภทที่ผสมเถ้าลอย 35 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 5 และสัดส่วนการผสมของประเภทที่ผสมแกลบละเอียด 10, 20, และ 30 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 2 จำนวนตัวอย่างทดสอบกำลังอัด

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5	เถ้าลอย 35 %	แกลบละเอียด10, 25, และ 40%	รวม(ตัวอย่าง)
3	3	3	9	18

ตารางที่ 3 ตัวอย่างทดสอบประเภทผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	น้ำหนัก (กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)		
		ทราย	หิน	น้ำ
C1	330	805	992	200
A1	330	805	992	200
Z1	330	805	992	200
M1	330	805	992	200

ตารางที่ 4 ตัวอย่างทดสอบประเภทผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	น้ำหนัก (กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)		
		ทราย	หิน	น้ำ
C5	330	805	992	200
A5	330	805	992	200
Z5	330	805	992	200
M5	330	805	992	200

ตารางที่ 5 ตัวอย่างทดสอบประเภทผสมเถ้าลอยที่ 35 เปอร์เซนต์

สัญลักษณ์	เถ้าลอย 35 %	น้ำหนัก (กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)			
		ปูนซีเมนต์	ทราย	หิน	น้ำ
CP35	115.5	214.5	805	992	200
AP35	115.5	214.5	805	992	200
ZP35	115.5	214.5	805	992	200
MP35	115.5	214.5	805	992	200

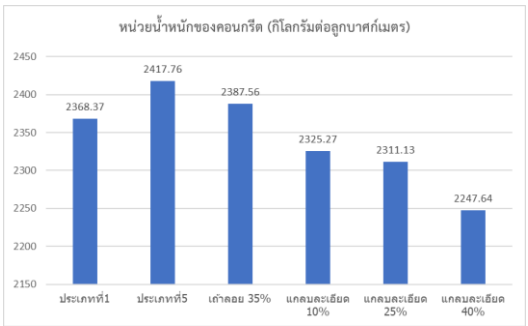
ตารางที่ 6 ตัวอย่างทดสอบประเภทผสมแกลบละเอียด 10, 25และ 30 เปอร์เซนต์

สัญลักษณ์	แกลบละเอียด	น้ำหนัก (กก./คอนกรีต 1 ลบ.ม.)			
		ปูนซีเมนต์	ทราย	หิน	น้ำ
CH10	33	300	805	992	200
AH10	33	300	805	992	200
ZH10	33	300	805	992	200
MH10	33	300	805	992	200
CH25	85.5	247.5	805	992	200
AH25	82.5	247.5	805	992	200
ZH25	82.5	247.5	805	992	200
MH25	82.5	247.5	805	992	200
CH40	132	198	805	992	200
AH40	132	198	805	992	200
ZH40	132	198	805	992	200
MH40	132	198	805	992	200

4. ผลการทดสอบ

4.1 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

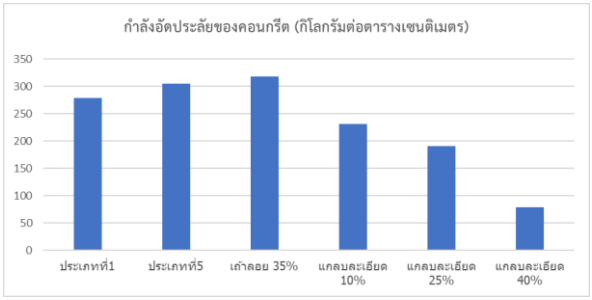
จากรูปที่ 9 แสดงน้ำหนักของคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว พบว่าคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 1 มีหน่วยน้ำหนักคอนกรีตเฉลี่ย 2368.37 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 5 มีหน่วยน้ำหนักเฉลี่ย 2417.76 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่ 35 เปอร์เซ็นต์มีหน่วยน้ำหนักอยู่ที่ 2387.56 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และคอนกรีตที่ผสมแกลบละเอียด 10, 25, และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ย 2325.27, 2311.13, และ 2247.64 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 9 แสดงหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ

4.2 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

เมื่อบ่มคอนกรีตโดยวิธีแช่น้ำครบ 28 วัน นำก้อนตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัดประลัย ผลการทดสอบทดสอบของคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 1 มีกำลังอัดประลัยเฉลี่ย 278.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 5 มีกำลังอัดประลัยเฉลี่ย 305.12 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตที่ใช้เถ้าลอย 35 เปอร์เซนต์ มีกำลังอัดประลัยเฉลี่ย 317.86 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และคอนกรีตที่ใช้แกลบละเอียด 10, 25, และ 40 เปอร์เซนต์ มีกำลังอัดประลัยเฉลี่ย 231.54, 190.76, และ 78.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตาลำดับ แสดงดังรูปที่ 10

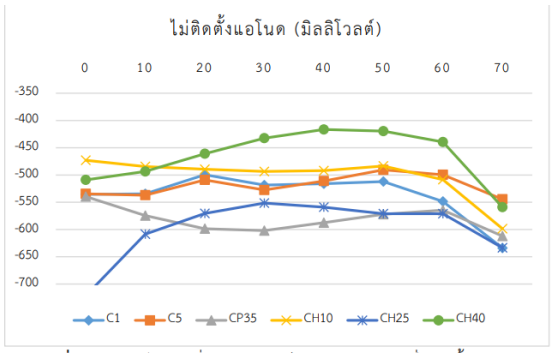


รูป 10 กำลังอัดประลัยของตัวอย่างทดสอบ

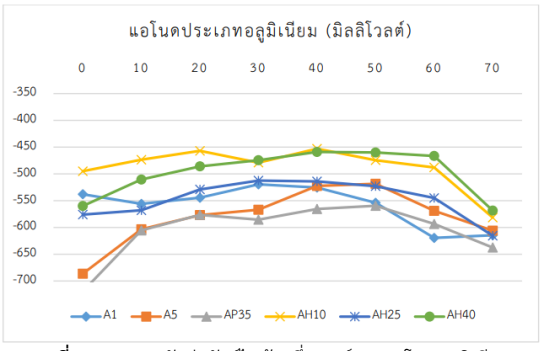
4.3 ทดสอบวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

หลังจากการกระบวกการเร่งไฟฟ้า จึงนำก้อนตัวอย่างคอนกรีตมาทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ทุก 7 วัน โดยจะวัดค่าตามตำแหน่งที่ติดตั้งเหล็กเสริมที่ระยะ 0-70 เซนติเมตร จากตำแหน่งของ แอโนด

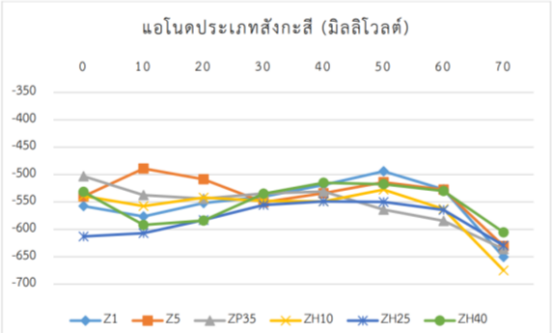
จากรูปที่ 11 ถึง 14 แสดงผลการทดสอบวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของเหล็กเสริมในคอนกรีต ที่ระยะ 0 ถึง 70 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ในทุกระยะที่ติดตั้งเหล็กเสริมมีค่าต่ำกว่า -350 มิลลิโวลต์ บ่งบอกโอกาสการเกิดสนิมที่ 90 เปอร์เซ็นต์ของเหล็กเสริม ซึ่งสอดคล้องกับสถาพของเหล็กเสริมหลังจากการทุบก้อนตัวอย่างทดสอบจะเห็นได้ว่ามีสภาพที่ผิวของเหล็กเสริมที่เกิดสนิม แสดงดังรูปที่ 15



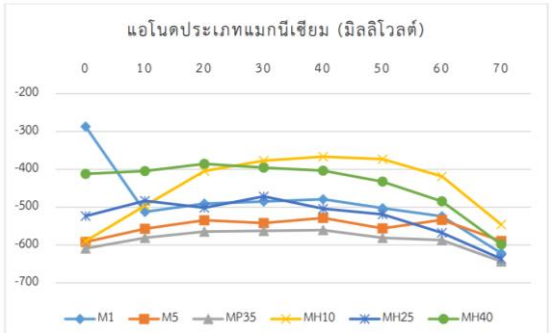
รูปที่ 11 ทดสอบวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่ไม่ติดตั้งแอโนด



รูปที่ 12 ทดสอบวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแอโนดอลูมิเนียม



รูปที่ 13 ทดสอบวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแอโนดสังกะสี



รูปที่ 14 ทดสอบวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแอโนดแมกนีเซียม

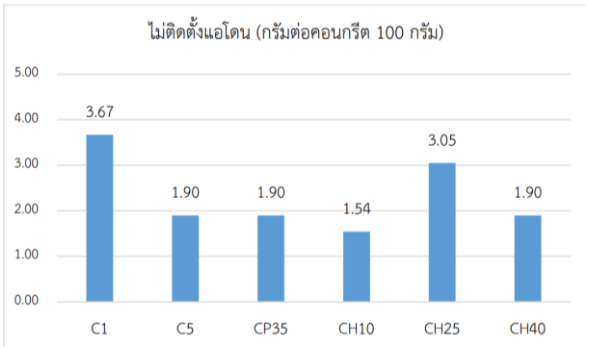
รูปที่ 15 สภาพการเกิดสนิมที่ผิวเหล็กเสริม

4.4 วัดปริมาณคลอไรด์

หลังจากหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าแล้วหลังจากนั้นทำการเจาะคอนกรีตลึกขนาด 5 เซนติเมตร เพื่อเก็บตัวอย่างผงคอนกรีตทำการไทเทรตเพื่อหาปริมาณคลอไรด

4.4.1 ผลการทดสอบคลอไรด์ที่ไม่ได้ติดตั้งแอโนด

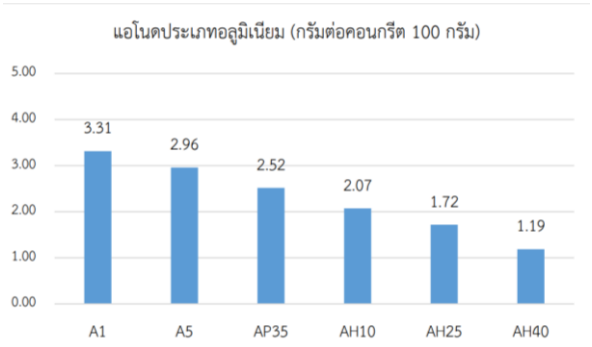
คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 1 มีค่าปรีมารคลอไรด์เฉลี่ย 3.67 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 5 มีค่าปรีมารคลอไรด์เฉลี่ย 1.9 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม คอนกรีตที่มีส่วนผสมของ เถ้าลอย 35 % มีค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ย 1.90 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม และคอนกรีตที่มีส่วนผสม ของแกลบละเอียด 10%, 25%, 40% มีค่าปริมาณคลอไรด์ 1.54, 3.05, 1.90 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ปริมาณคลอไรด์ของตัวอย่างที่ไม่ติดตั้งแอโนด

4.4.2 ผลการทดสอบคลอไรด์ที่ติดตั้งแอโนดประเภทอลูมิเนียม

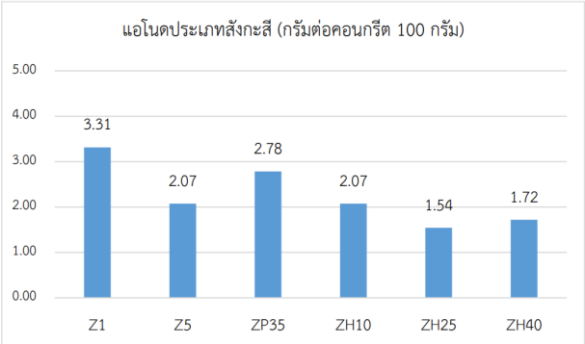
คอนกรีตที่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ย 3.31 กรัมต่อ คอนกรีต 100 กรัม คอนกรีตที่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ย 2.96 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 35 % มีค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ย 2.52 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม และคอนกรีตที่มีส่วนผสมของแกลบละเอียด 10%, 25%, 40% มีค่า ปริมาณคลอไรด์ 2.07, 1.72, 1.19 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ปริมาณคลอไรด์ของตัวอย่างที่ติดตั้งแอโนดอลูมิเนียม

4.4.3 ผลทดสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตที่ติดตั้งแอโนดประเภทสังกะสี

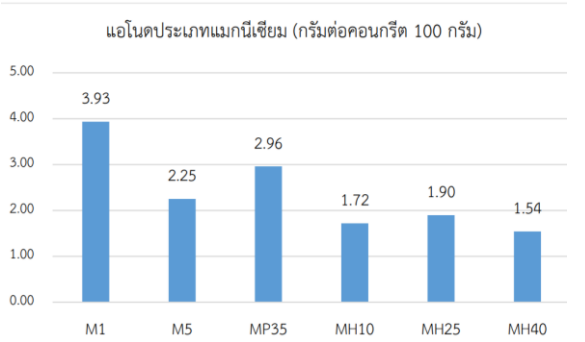
คอนกรีตที่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ย 3.31 กรัมต่อ คอนกรีต 100 กรัม คอนกรีตที่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ย 2.07 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 35 % มีค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ย 2.78 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม และคอนกรีตที่มีส่วนผสมของแกลบละเอียด 10%, 25%, 40% มีค่า ปริมาณคลอไรด์ 2.07, 1.54, 1.72 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม แสดงดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ปริมาณคลอไรด์ของตัวอย่างที่ติดตั้งแอโนดสังกะสี

4.4.4 ผลทดสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตที่ติดตั้งแอโนดประเภทแมกนีเซียม

คอนกรีตที่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าปริมาณคลอไรด์เฉลี่ย 3.93 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม คอนกรีตที่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีค่าปริมาณคลอไรด์ เฉลี่ย 2.25 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 35 % มีค่าปริมาณคลอไรด์ เฉลี่ย 2.96 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม และคอนกรีตที่มีส่วนผสมของแกลบละเอียด 10%, 25%, 40% มีค่าปริมาณคลอไรด์ 1.72, 1.90, 1.54 กรัมต่อคอนกรีต 100 กรัม ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 ปริมาณคลอไรด์ของตัวอย่างที่ติดตั้งแอโนดแมกนีเซียม

5. สรุปผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

1. ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตอายุ 28 วัน มีการแปลผกผันกับปริมาณของวัสดุประสานผสมเพิ่ม เมื่อมีปริมาณวัสดุผสมเพิ่มมากขึ้นกำลังอัดประลัยจะลดลง โดยที่กำลังอัด ประลัยของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย 35% มีค่ามากที่สุด และ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ มีส่วนผสมของแกลบละเอียด 40% มีค่าน้อยที่สุด
2. การทดสอบศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์โดยคอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต ในก้อน ตัวอย่างที่มีการเร่งกระบวนการเกิดสนิมด้วยวิธีการเร่งปฏิกิริยาไฟฟ้า 12 โวลท์ เวลา 14 วัน พบว่าค่า ต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มีค่ามากกว่า -350 mV ซึ่งตามข้อระบุตามมาตรฐาน ASTM C876 มีโอกาส ร้อยละ 90 ที่เหล็กเสริมจะเกิดสนิม ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบสภาพของสนิมที่ผิวของเหล็กเสริม ภายหลังจากการทุบก้อนตัวอย่างคอนกรีต
3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแอโนด ตามระยะห่างของจากตำแหน่งที่ ติดตั้งแอโนด พบว่าค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระยะติดตั้งแอโนดถึงระยะที่ห่างไป 50 เซนติเมตร มีค่าต่าง ศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วงระดับใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่ที่ระยะ 60 ถึง 70 เซนติเมตร มีค่าติด ลบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอันเนื่องมาจากระยะดังกล่าวเป็นพื้นที่ของเหล็กเสริมที่เริ่มพ้นจากระดับ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 4% ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนมากพอในการทำปฏิกิริยาในการเกิดสนิม โดย ออกซิเจนสามารถแพร่เข้าสู่คอนกรีตบริเวณเหล็กเสริมผ่านทางโพรงอากาศในคอนกรีต จึงมีแนวโน้มที่ค่าต่างศักย์ไฟฟ้าที่ติดลบสูงกว่าตำแหน่งของเหล็กเสริมที่อยู่ต่ำกว่าระดับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 4%
4. จากผลการทดสอบพบว่าวิธี Sacrificed Anode Type System แอโนดประเภทสังกะสีมีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาเป็นแอโนดประเภทอลูมิเนียม ส่วนแอโนดประเภทแมกนีเซียมจะมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดเนื่องจากแอโนดแมกนีเซียมเกิดการขยายตัวทำให้ก้อนตัวอย่างทดสอบแตกร้าว
5. ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 5 มีแนวโน้มที่ต้านทานคลอไรด์และป้องกันสนิมได้ดีกว่าการผสมวัสดุประสานที่นำไปผสมเพิ่มกับคอนกรีต
6. จากผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างทดสอบที่ผสมเถ้าลอย 35 เปอร์เซนต์มีแนวโน้มในการป้องกันสนิมได้ดีและทำให้รับกำลังอัดได้ดีขึ้น ในส่วนวัสดุผสมเพิ่มแกลบละเอียดพบว่าการผสมแกลบละเอียดที่ 20 และ40 เปอร์เซนต์มีแนวโน้มการป้องกันสนิมได้ดีขึ้นแต่ในเรื่องรับกำลังจะทำให้ตัวอย่างทดสอบรับกำลังอัดได้น้อยลง

6. ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ในก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ทำการเร่งปฏิกิริยาไฟฟ้าควรเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบ เพื่อสามารถวิเคราะห์แนวโน้มของค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น
2. การเขียนแผนผังแสดงพื้นที่การเกิดสนิม จากการทดสอบศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ควรเพิ่มพื้นที่ในการตรวจสอบให้มากขึ้น เพื่อสามารถวิเคราะห์แนวโน้มของค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ได้อย่างชัดเจนมากขึ้น
3. การเลือกประเภทของแอโนดควรเลือกให้เหมาะกับสภาวะสิ่งแวดล้อมของโครงสร้างที่พิจารณา
4. จากการทดสอบควรเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบการเปรียบเทียบการสูญเสียของเหล็กเนื่องจากการกัดกร่อนในก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ติดตั้งแอโนด
5. จากผลการทดสอบวัสดุประสานผสมเพิ่ม พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 มีความเหมาะสมกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณใกล้น้ำทะเล เนื่องจากมีกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่สูง, การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเสริมในคอนกรีตที่น้ำ และปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตน้อย บ่งบอกถึงสามารถป้องกันการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ดี

6. ควรทำการทดสอบการจำลองสภาวะโครงสร้างให้มีความหลากหลาย เช่น ชายฝั่งทะเล บริเวณที่มีน้ำขึ้นและน้ำลง และสภาพระหว่างการดำเนินการก่อสร้างจริง ว่าจะสามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพของสารยับยั้งอย่างไร
7. ศึกษาถึงการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ในพื้นที่จำกัดที่ดำเนินการทดสอบในบ่อบ่มคอนกรีต เปรียบเทียบกับสภาวะจริงเช่น ชายฝั่งทะเลที่มีปริมาณคลอไรด์หมุนเวียน
8. การศึกษาเรื่องระยะหุ้มที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อปริมาณของคลอไรด์และการกัดกร่อน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] พัฒนพงษ์ วงษ์เสียงดัง (2555). ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดสนิมของเหล็กและเหล็กเคลือบผิวด้วยสังกะสีในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.). มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] โตมร บุญหนุน (2556). ประสิทธิภาพของสารยับยั้งการเกิดสนิมในการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตเนื่องจากคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[3] ภาณุพงศ์ พงษ์พิทักษ์กุล (2559). การใช้เถ้าแกลบผสมปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.). มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] สลิลา รักวณิชย์ และวันชัย ยอดสุดใจ (2558). ประสิทธิภาพของระบบป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริมโดยวิธีกัลวานิกคาโทดิก. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53, กรุงเทพฯ, 3-6 กุมภาพันธ์ 2558, หน้า 516-523.

[5] สิริศิลป์ กัลป์ยาณกุล และคณะ (2555). ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบแนวโน้มการเกิดสนิมด้วยวิธี ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์. วิศวกรรมสาร มข., ปีที่ 39, ฉบับที่ 4, หน้า 401-406.