ผลกระทบของการเคลือบผิวด้วยอัลคาไลซีเมนต์แบบส่วนผสมเดียวต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

Effect of One-Part Alkaline Activated Cement Treatment on Bond Strength between Steel Bars and Concrete

กมลภพ ขันธ์สัมฤทธิ์[1*] ฉัตรฑริกา เพียงพิมาย[2] ขัตติย ชมพูวงศ์[3] ชุดาภัค เดชพันธ์[4] ศตคุณ เดชพันธ์[5] และ ธนากร ภูเงินขำ[6]

[1,2,3,4,5,6] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
**Corresponding author; E-mail address: kamonphop.khansamrit@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตเมื่อใช้อัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียวเป็นวัสดุเคลือบผิวเหล็กเสริมเปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบผิวทางการค้า โดยอัลคาไลซีเมนต์แบบส่วนผสมเดียวสามารถสังเคราะห์จากจีโอโพลิเมอร์ผง, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ และน้ำประปา โดยแทนที่จีโอโพลิเมอร์ผงที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 0, 15, 20, 25 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สำหรับการเตรียมตัวอย่างดำเนินการเคลือบผิวเหล็กเสริมที่อายุ 1 วัน และทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่อายุบ่มคอนกรีตเท่ากับ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า ค่าแรงยึดเหนี่ยวมีแนวโน้มลดลงตามการแทนที่จีโอโพลิเมอร์ผงในปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามแรงยึดเหนี่ยวของการแทนที่จีโอโพลิเมอร์ผงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่เกินร้อยละ 20 มีค่าเทียบเท่ากับการเคลือบผิวด้วยส่วนผสม 100PC และ Epoxy

คำสำคัญ: แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต, อัลคาไลซีเมนต์แบบส่วนผสมเดียว, จีโอโพลิเมอร์ผงที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ, เคลือบผิวเหล็กเสริม

Abstract

This research aims to study the bond strength between steel bars and concrete using one-part alkaline-activated cement (AACP) paste as coating material to compare with commercial coating material. A combination of modified geopolymer powder (MGP), Portland cement, NaOH pellets, and tap water was used to produce AACP. The MGP was used to replace PC at the rates of 0, 15, 20, 25, and 30 by weight of binder. For specimen preparation, the AACP coated steel bars for 1 day. After 28 days, the bond strength between steel bars and concrete was tested. Test results found that bond strength tended to decrease as the proportion of MGP in PC increased. However, the bond strength of AACP having not exceed 20% MGP was comparable to those of 100PC and epoxy.

Keywords: Bond strength between steel bars and concrete, One-part alkaline-activated cement, Modified geopolymer powder, Steel bars treatment

1. คำนำ

ในปัจจุบันการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างที่ทราบกันดีว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีข้อดีคือต้นทุนการผลิตที่ต่ำ แต่ก็มีข้อเสียคือ การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตจะควบคุมยากและมีอายุการใช้งานที่จำกัด ซึ่งโดยปกติ อายุการใช้งานของคอนกรีตจะอยู่ที่ประมาณ 30-50 ปี [1] โดยเฉพาะพื้นที่สัมผัสกับสารเคมีอันตรายจะส่งผลเสียต่อความคงทนของคอนกรีตทำให้คอนกรีตเกิดความเสียหายได้เร็วขึ้น เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริมในคอนกรีตโดยปกติเหล็กเสริมจะทำหน้าที่รับกำลังดัดในคอนกรีต ถ้าเหล็กเสริมเกิดความเสียหายและเป็นสนิมจะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดัดลดลงไปด้วยและทำให้คอนกรีตไม่สามารถรับแรงได้ในที่สุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการป้องกันไม่ให้เหล็กเสริมเป็นสนิมหรือเกิดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในปัจจุบันวัสดุที่นิยมใช้เคลือบผิวหรือซ่อมแซม ได้แก่ อีพ็อกซี่ ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ใช้งานได้ง่าย สะดวก และให้กำลังที่สูงในระยะเวลาอันสั้น แต่ราคาที่ค่อนข้างจะสูง ดังนั้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจวัสดุที่สามารถทดแทนการใช้อีพ็อกซี่ในการเคลือบผิวเหล็กเสริมในงานคอนกรีต พบว่า ซีเมนต์เพสต์ เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่น่าสนใจในแง่ของความสามารถในการทำงานได้ง่ายและราคาไม่แพงเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอีพ็อกซี่ [2] แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแรงยึดเกาะระหว่างซีเมนต์เพสต์กับคอนกรีตที่ค่อนข้างต่ำ [2] รวมถึงการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ทำให้มีการปล่อย CO_2 ประมาณ 1 ตัน สู่ชั้นบรรยากาศโลก [3] จึงเป็นปัจจัยที่ต้องได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษ

เมื่อพิจารณาวัสดุชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติทั้งในด้านการยึดเหนี่ยวที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งวัสดุดังกล่าวคือ “วัสดุจีโอโพลิเมอร์” โดยวัสดุจีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมและพัฒนาอย่างจริงจังเพื่อให้สามารถใช้งานในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้าง [4-7] วัสดุจีโอโพลิเมอร์อาศัยหลักการทำปฏิกิริยาของซิลิกาและอะลูมินาจากวัสดุตั้งต้นกับสารละลายโซเดียมซิลิเกตและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในประเทศไทยนิยมใช้เถ้าลอยแคลเซียมสูงเป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตวัสดุจีโอโพลิเมอร์ ข้อดีของเถ้าลอยแคลเซียมสูงจีโอโพลิเมอร์คือ การอยู่ร่วมกันระหว่างผลผลิตโซเดียมอะลูมิโนซิลิเกตไฮเดรตหรือจีโอพอลิเมอร์เจล (N-A-S-H) กับสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และ/หรือแคลเซียมอะลูมิโนซิลิเกตไฮเดรต (C-A-S-H) ภายในระบบส่งผลให้เกิดการทำปฏิกิริยาที่ดีเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิปกติ [8] ซึ่งจะเห็นได้ว่าแคลเซียมออกไซด์จากวัสดุตั้งต้นส่งผลต่อพฤติกรรมของวัสดุจีโอโพลิเมอร์อย่างมีนัยยะสำคัญ เมื่อพิจารณาข้อดีและความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์ของวัสดุจีโอโพลิเมอร์ดังที่ได้มีการรายงานไว้ในงานวิจัยที่ผ่านมา

[9-11] พบว่า เถ้าลอยแคลเซียมสูงจีโอโพลิเมอร์มีค่ากำลังอัดและแรงยึดเกาะที่ดีมากเมื่อพิจารณาร่วมกับวัสดุยึดเกาะตามท้องตลาดแสดงถึงสามารถพัฒนาเป็นวัสดุยึดเกาะระหว่างเหล็กเส้นกับคอนกรีตได้

เมื่อพิจารณาการใช้งานในภาคสนามแสดงให้เห็นว่า วัสดุจีโอโพลิเมอร์แบบสองส่วนผสม (Two-part geopolymer materials) ค่อนข้างยุ่งยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นการพัฒนาและการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุจีโอโพลิเมอร์แบบส่วนผสมเดียว (One-part geopolymer materials) จึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้นทำนองเดียวกับการใช้ปูนซีเมนต์ในงานก่อสร้าง [12-14] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเส้นเมื่อถูกเคลือบด้วยไฮบริดอัลคาไลเพสต์แบบส่วนผสมเดียว ซึ่งผลทดสอบจะช่วยให้เข้าใจถึงกำลังยึดเหนี่ยวและพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของเหล็กที่ถูกเคลือบในคอนกรีต และเป็นแนวทางเบื้องต้นในการพัฒนาไฮบริดอัลคาไลเพสต์แบบส่วนผสมเดียวเพื่อนำไปต่อยอดงานวิจัยสำหรับการป้องกันการเกิดสนิมจากภายในโครงสร้างคอนกรีตและการกัดกร่อนจากสารเคมีต่างๆ ในอนาคต

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุตั้งต้นที่ใช้สำหรับการเคลือบเหล็กข้ออ้อย

2.1.1 จีโอโพลิเมอร์ผง

จีโอโพลิเมอร์ผงจะสังเคราะห์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูง (FA) เป็นวัสดุพลอยได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เถ้าลอยแคลเซียมสูงมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.43 โดยองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแคลเซียมสูงดังแสดงในตารางที่ 1 โดยเถ้าลอยแคลเซียมสูงมีผลรวมของซิลิกา อะลูมินา และเหล็กออกไซด์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 60.92 และมีแคลเซียมออกไซด์เท่ากับร้อยละ 25.79 จัดเป็นเถ้าลอยประเภท C ตามมาตรฐาน ASTM C 618 [15] และแหล่งให้ซิลิกาที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา

สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3, NS) โดยองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายโซเดียมซิลิเกต ประกอบด้วยโซเดียมไดออกไซด์ (Na_2O) ร้อยละ 13.45 ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 32.39 และน้ำ (H_2O) ร้อยละ 54.16 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

2.1.2 อีพ็อกซี่

อีพ็อกซี่ที่ใช้เปรียบเทียบในการศึกษาวิจัยนี้คือ Sikadur-32 TH โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 60-70 เมกะปาสคาล กำลังรับแรงดัดเท่ากับ 30-35 เมกะปาสคาล กำลังรับแรงดึงเท่ากับ 18-20 เมกะปาสคาล ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 881-78 [16]

ตารางที่ 1 องประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยแคลเซียมสูง

Chemical compositions	PC (%)	FA (%)
SiO_2	20.80	31.32
Al_2O_3	4.70	13.96
Fe_2O_3	3.40	15.64
CaO	65.30	25.79
MgO	1.50	2.94
Na_2O	0.40	2.83
K_2O	0.10	2.93
SO_3	2.70	3.29
LOI	0.90	1.30

2.1.3 วิธีการผลิตอัลคาไลซีเมนต์แบบส่วนผสมเดียว (AACP) เพื่อใช้สำหรับเคลือบเหล็ก

จะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การผลิตจีโอโพลิเมอร์ผงที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ และขั้นตอนที่ 2 นำจีโอโพลิเมอร์ผงที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ หลังจากการบดจีโอโพลิเมอร์ผงเรียบร้อยแล้วจะดำเนินการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 (150 ไมครอน) และจะได้เป็นวัสดุเคลือบผิวชนิด A1 และ A2 หรือการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 15, 20, 25 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และจะได้เป็นอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียว

สำหรับกระบวนการผสมอัลคาไลซีเมนต์แบบส่วนผสมเดียว เริ่มต้นด้วยนำจีโอโพลิเมอร์ผงที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและบดและร่อนผ่านตะแกรงเรียบร้อยแล้ว ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้เข้ากันดีก่อนประมาณ 1 นาที หลังจากนั้นเติมเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ที่ดำเนินการคำนวณให้ได้ ความเข้มข้นเท่ากับ 2 โมลาร์ หลังจากการผสมน้ำเปล่า) และน้ำเปล่าและผสมให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 2 นาที จึงนำอัลคาไลซีเมนต์เพสต์เคลือบผิวเหล็กข้ออ้อย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลือบเหล็กข้ออ้อยด้วยวัสดุเคลือบผิว

2.2 เหล็กข้ออ้อย

เหล็กข้ออ้อยใช้ขนาด 12 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ SD40 มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับร้อยละ 23 สามารถรับแรงดึงที่จุดครากได้ไม่น้อยกว่า 50 เมกะปาสคาล และรับแรงดึงประลัยสูงสุดเท่ากับ 70 เมกะปาสคาล ซึ่งมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM A996 [17]

2.3 คอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้จะดำเนินการออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 35 เมกะปาสคาล ตามมาตรฐาน ACI 211.1-91 [18] อัตราส่วนผสมของคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 2 โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 ส่วนมวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำ (RS) จากอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.63 อัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับ 0.23 และโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.40 ขณะที่มวลรวมหยาบใช้หินปูนย่อย (CA) ขนาดโตสุดไม่เกิน 10 มิลลิเมตร มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.70 อัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับ 0.19 และความหนาแน่นเท่ากับ 1547 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่มีการออกแบบกำลังอัดประลัยอายุที่ 28 วัน เท่ากับ 35 เมกะปาสคาล (kg/m^3)

PC (kg)	Water (kg)	RS (kg)	CA (kg)
470	230	805	790

2.4 กำลังอัดของอัลคาไลซีเมนต์แบบส่วนผสมเดียว (AACP)

ข้อมูลพื้นฐานด้านกำลังอัดของ AACP เมื่อแปรผันจีโอโพลิเมอร์ผงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 0, 15, 20, 25 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสานที่อายุบ่มเท่ากับ 1 และ 28 วัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กำลังอัดของอัลคาไลซีเมนต์แบบส่วนผสมเดียว (AACP)

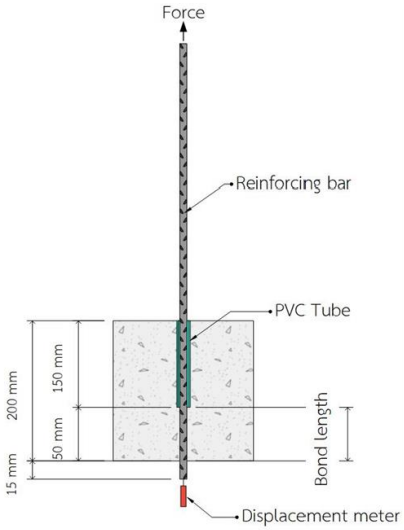
Mixes	Compressive strength (MPa)	
	1-day	28-day
100PC	20.34	35.87
Sikadur 32TH	34.89	71.76
15-A1	8.59	25.30
20-A1	5.12	21.24
25-A1	4.68	15.43
30-A1	3.37	11.47
15-A2	9.31	31.10
20-A2	6.67	22.65
25-A2	4.21	18.37
30-A2	2.70	15.10

2.5 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีต

การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กข้ออ้อยกับคอนกรีตใช้วิธีการทดสอบแบบดึงออกซึ่งปรับปรุงจากมาตรฐาน ASTM C234 [19] โดยตัวอย่างคอนกรีตจะถูกออกแบบกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 35 เมกะปาสคาล ที่อายุการบ่มเท่ากับ 28 วัน การเตรียมตัวอย่างใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 200x200x200 มิลลิเมตร และฝังเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มิลลิเมตร ตรงกลางให้มีระยะเหล็กสำหรับเกิดการยึดเกาะเท่ากับ 4d ตามหลักการและทฤษฎีของ ASTM E488 [20] และ RILEM [21] สำหรับการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตเริ่มด้วยเทคอนกรีตสดในแบบหล่อโดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆ กัน กระทุ้งด้วยเหล็กชั้นละ 30 ครั้ง และปาดหน้าผิวของชั้นสุดท้ายให้เรียบ แล้วทำการห่อหุ้มตัวอย่างด้วยแผ่นฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและเก็บตัวอย่างคอนกรีตไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิจนครบอายุการทดสอบเท่ากับ 28 วัน ส่วนลักษณะการทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2 และการคำนวณแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\tau_{pullout} = \frac{P}{\pi d L} \quad (1)$$

เมื่อ $\tau_{pullout}$ คือ แรงยึดเหนี่ยว (เมกะปาสคาล) P คือ แรงดึงสูงสุด (นิวตัน), d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กข้ออ้อย (มิลลิเมตร) และ L คือ ความยาวระยะฝังยึดของเหล็กข้ออ้อยกับคอนกรีต (มิลลิเมตร)

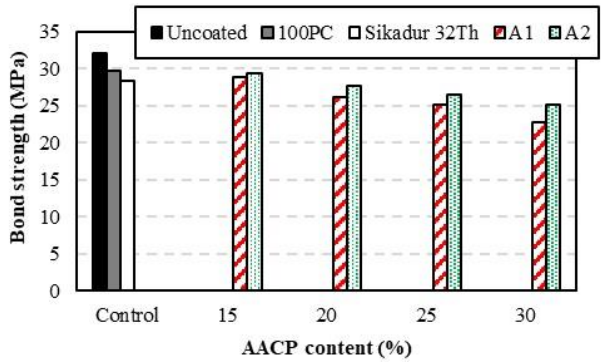


รูปที่ 2 ลักษณะการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต [2, 22]

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้อยที่ถูกเคลือบผิวด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียว (จีโอโพลิเมอร์ผงและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำเปล่าและเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์) และเปรียบเทียบกับอีพ็อกซี่ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้อยที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวควบคุม (100PC และ Epoxy Sikadur-32 TH) มีแนวโน้มลดลงร้อยละ 15-20 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเหล็กข้ออ้อยที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ซึ่งผลทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้อยที่ถูกเคลือบผิวด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียวมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดสอบกำลังอัด (ตารางที่ 3)

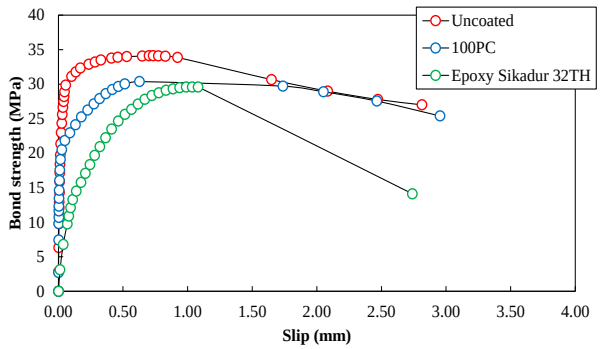
เมื่อพิจารณาผลของการเคลือบผิวเหล็กข้ออ้อยด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียว พบว่า ทุกชนิดของวัสดุเคลือบผิวที่สังเคราะห์จากจีโอโพลิเมอร์ผงจะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ การลดลงของแรงยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้ออาจเนื่องจากความสามารถในการรับแรงลดลงทำนองเดียวกันกับการแทนที่วัสดุปอซโซลานในปูนซีเมนต์ [23] กล่าวคือ การแทนที่จีโอโพลิเมอร์ผงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หมายถึงปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลดลงทำให้ผลผลิตแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้งหมดที่อายุช่วงแรกจนถึง 28 วัน ซึ่งโดยปกติการใช้วัสดุปอซโซลานที่มีองค์ประกอบของซิลิกาและอะลูมินาเป็นหลักจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นปฏิกิริยาปอซโซลานิคและส่งผลเชิงบวกในอายุปลาย [23] แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจาณาผลการทดสอบจากรูปที่ 3 ยังพบว่า ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้อยที่มีการเคลือบผิวด้วยส่วนผสมของการแทนที่จีโอโพลิเมอร์ผงในปูนซีเมนต์ซีเมนต์ร้อยละ 15 และ 20 มีค่าเทียบเท่ากับการเคลือบผิวเหล็กข้ออ้อยด้วยส่วนผสมของ 100PC และ Epoxy Sikadur-32 TH



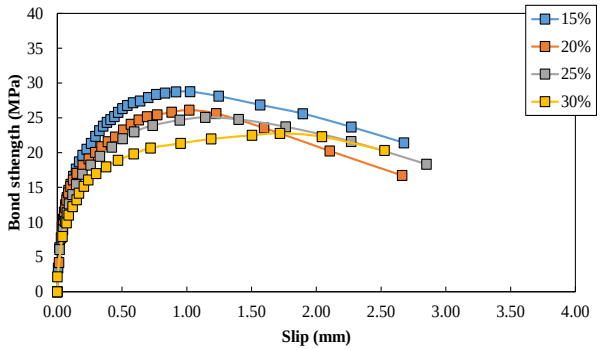
รูปที่ 3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้อยที่ถูกเคลือบด้วยอัลคาไลซีเมนต์แบบส่วนผสมเดียว

จากรูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวกับระยะการเคลื่อนตัวของเหล็กข้ออ้อยที่ถูกเคลือบผิวเหล็กด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียวเปรียบเทียบกับอีพ็อกซี่ พบว่า ค่าการเคลื่อนตัวของเหล็กข้ออ้อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่าความชันของกราฟมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการใช้จีโอโพลิเมอร์ผงแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับการผลิตด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียว จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า การเคลือบผิวด้วย 100PC มีระยะการเคลื่อนตัวน้อยกว่าและความชันของกราฟสูงกว่าการเคลือบผิวด้วย Epoxy Sikadur-32 TH อาจเนื่องจากคุณสมบัติของ Epoxy Sikadur-32 TH ซึ่งเป็นวัสดุจำพวกโพลิเมอร์และจะมีความลื่นของผิววัสดุ

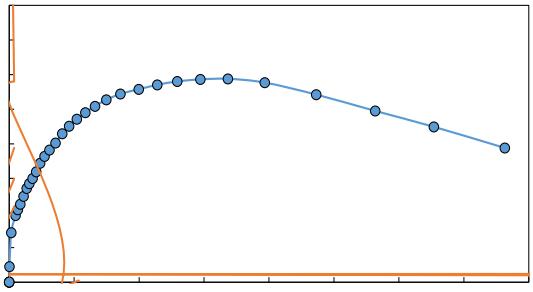
จากรูปที่ 5-6 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการเคลือบด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียวกับวัสดุเคลือบผิวควบคุม พบว่า ค่าการเคลื่อนตัวของเหล็กข้ออ้อยที่เคลือบผิวด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทำนองเดียวกับค่าความชันของกราฟจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ 100PC เพสต์ แต่มีค่าเทียบเคียงกับ Epoxy Sikadur-32 TH จากผลการทดสอบข้างต้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่าการเคลื่อนตัวของเหล็กข้ออ้อยเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มการดูดซับพลังงานก่อนการวิบัติเพื่อลดการวิบัติแบบทันทีทันใดของโครงสร้าง นอกจากนั้นประเด็นที่ควรพิจารณาก่อนการนำไปใช้งานจริงต่อไป คือ การลดลงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้อยเมื่อเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรับได้หรือไม่ ซึ่งจะดำเนินการคำนวณและวิเคราะห์ในบทความต่อไป



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวกับระยะการเคลื่อนตัวของเหล็กเสริมที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวควบคุมและที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวกับระยะการเคลื่อนตัวของเหล็กเสริมที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวชนิด A1 ที่แทนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวกับระยะการเคลื่อนตัวของเหล็กเสริมที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวชนิด A2 ที่แทนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

4. บทสรุป

1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้อยที่ถูกเคลือบด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียวมีแนวโน้มลดลงทำนองเดียวกับการใช้วัสดุเคลือบผิวควบคุม (100PC และ Epoxy Sikadur-32 TH) โดยการใช้จีโอโพลิเมอร์ผงแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวมีแนวโน้มลดลงอาจเนื่องจากผลผลิตหลักจากปฏิกิริยาภายในระบบลดลงทำนองเดียวกับการใช้วัสดุปอซโซลานในระบบของซีเมนต์

2) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กข้ออ้อยที่มีการเคลือบผิวด้วยเพสต์ที่มีการแทนที่จีโอโพลิเมอร์ผงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่เกินร้อยละ 20 มีค่าเทียบเท่ากับการเคลือบผิวด้วยส่วนผสม 100PC และ Epoxy Sikadur-32 TH

3) ค่าการเคลื่อนตัวของเหล็กข้ออ้อยที่เคลือบผิวด้วยอัลคาไลซีเมนต์เพสต์แบบส่วนผสมเดียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ 100PC เพสต์ และ Epoxy Sikadur-32 TH ซึ่งการเคลื่อนตัวของเหล็กข้ออ้อยเพิ่มขึ้นเป็นข้อดีในด้านการเพิ่มค่าการดูดซับพลังงานก่อนการวิบัติเพื่อลดการวิบัติแบบทันทีทันใดของโครงสร้าง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยงานบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคนและทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม เลขที่สัญญา B05F640178 และขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืน (SUSCON LAB) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่อนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับใช้ในการทดสอบงานวิจัยครั้งนี้ได้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] Albitar M, Mohamed Ali MS, Visintin P, Drechsler M. Durability evaluation of geopolymer and conventional concretes. Construction and Ba7 0 59iang at