



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

หน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอย จีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่า

Unit weight and compressive strength of water treatment sludge improved with sand and fly ash lightweight cellular geopolymer

เสริมศักดิ์ ดิยะแสงทอง เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์*

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

Serm Sak Tiyasangthong Cherdsak Suksiripattanapong*

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhon Ratchasima 30000

* Corresponding author.

E-mail: cherdsak.su@rmuti.ac.th; Telephone: 08 1760 7722

วันที่รับบทความ 3 กันยายน 2562; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 16 ธันวาคม 2562; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 1 พฤษภาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 15 พฤษภาคม 2563

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาหน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่า ตะกอนดินประปาได้จากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน เถ้าลอยได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง งานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนเถ้าลอยต่อมวลรวมละเอียด (ตะกอนดินประปา และทราย) เท่ากับ 30:70 อัตราส่วนตะกอนดินประปาต่อทรายเท่ากับ 70:0, 60:10, 50:20, 40:30, 30:40, 20:50, 10:60 และ 0:70 สารกระตุ้น (Liquid alkaline activator, L) เป็นส่วนประกอบของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 5 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) อัตราส่วน NaOH: Na_2SiO_3 เท่ากับ 30:70, 50:50 และ 70:30 ปริมาณโฟมเท่ากับร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 ของน้ำหนักเถ้าลอย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่าแปรผันตามอัตราส่วนตะกอนดินประปา:ทราย ปริมาณสารกระตุ้น และปริมาณโฟม หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่ามีค่าลดลงผกผันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนดินประปา ปริมาณสารกระตุ้น และปริมาณโฟม ขณะที่กำลังอัดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณทราย และปริมาณสารกระตุ้นที่เพิ่มขึ้น กำลังอัดสูงสุดของตัวอย่างพบที่อัตราส่วนตะกอนดินประปา:ทราย:เถ้าลอยเท่ากับ 0:70:30, อัตราส่วน NaOH: Na_2SiO_3 เท่ากับ 30:70, อัตราส่วน L/B เท่ากับ 0.95 และปริมาณโฟมร้อยละ 1 ซึ่งให้กำลังอัดเท่ากับ 12.8 MPa

คำสำคัญ

ตะกอนดินประปา สารกระตุ้น เถ้าลอย จีโอโพลิเมอร์

Abstract

This research investigates unit weight and compressive strength of water treatment sludge improved with sand and fly ash lightweight cellular geopolymer. The water treatment sludge (SL) was obtained from the Metropolitan Waterworks Authority of Thailand (MWA). Fly ash (FA) was collected from Mae Moh power plant of the Electricity Generating Authority

of Thailand (EGAT) at Lampang Province. The fly ash : fine aggregate (SL and sand (SA)) ratio was fixed at 30:70, while the SL:SA ratios of 70:0, 60:10, 50:20, 40:30, 30:40, 20:50, 10:60 and 0:70 were investigated. Liquid alkaline activator (L) is a mixture of sodium hydroxide solution (NaOH) and sodium silicate solution (Na_2SiO_3) which is 30: 70, 50: 50 and 70: 30, respectively. The NaOH concentration was 5 Molars. Foam content was 0, 1, 3 and 5 % by weight of FA. Test results show that the unit weight of SL improved with sand and fly ash lightweight cellular geopolymer varied with SL and SA ratios, L content and foam content. The unit weight of SL improved with sand and fly ash lightweight cellular geopolymer decreases with increasing in the SL content, L content and foam content. The compressive strength of sample increases with the increase of SA and L content. The maximum compressive strength of sample was found at SL:SA:FA of 0:70:30, NaOH: Na_2SiO_3 ratio of 30:70, L/B ratio of 0.95 and foam content of 1%, which gave the compressive strength of 12.8 MPa.

Keywords

water treatment sludge; liquid alkaline activator; fly ash; geopolymer

1. บทนำ

การผลิตน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร (1,000 ลิตร) จะมีปริมาณตะกอนดินประปาประมาณ 25 - 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความขุ่นของน้ำดิบเท่ากับ 30 - 40 หน่วยเอ็นทียู ในการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขนใน 1 วันจะมีปริมาณตะกอน (ประมาณวันละ 3 ล้านลูกบาศก์เมตร) เท่ากับ 75,000 - 105,000 กิโลกรัมต่อวัน หรือ 75 - 105 ตันต่อวัน หรือประมาณ 100 ตันต่อวัน [1] ปริมาณตะกอนดินประปาข้างต้นสร้างภาระให้กับโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ที่ต้องขนตะกอนดินประปาไปทิ้ง ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะนำตะกอนดินประปามาผลิตบล็อกอิโพลีเมอร์มวลเบาเซลลูล่า เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบอีกทางหนึ่ง

วัสดุอิโพลีเมอร์เป็นวัสดุประสานชนิดใหม่ที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบ แต่อาศัยหลักการของการใช้วัสดุพอลิไซลัน หรือวัสดุที่มีซิลิกาและอะลูมินาในปริมาณสูงมาสังเคราะห์ร่วมกับสารละลายต่างเข้มข้น เพื่อให้เกิดเป็นโมเลกุลลูกโซ่ของซิลิกาโดยใช้อะตอมออกซิเจนร่วมกัน ซึ่งทำให้วัสดุอิโพลีเมอร์มีกำลัง และความคงทนสูง [2-8]

ทรายเป็นมวลรวมชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุเฉื่อย และราคาต่ำ การใช้ทรายเป็นส่วนผสมในอิโพลีเมอร์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณสารตั้งต้นอิโพลีเมอร์ และยังช่วยให้อิโพลีเมอร์มีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (Volume Stability)

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอย และทรายปรับปรุงคุณสมบัติของตะกอนดินประปา เพื่อพัฒนาวัสดุมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยไม่ใช้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้น

เนื่องจากการใช้ความร้อนทำให้ต้นทุนสูงขึ้น งานวิจัยนี้มีประโยชน์อย่างมากในการนำตะกอนดินประปา และเถ้าลอยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาพัฒนาเป็นวัสดุในงานก่อสร้าง และยังลดมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อโลกร้อน

2. วิธีการทดสอบ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตะกอนดินประปาเก็บจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร การเตรียมตะกอนดินประปาเริ่มจากการนำตะกอนดินประปาไปตากให้แห้ง (ปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 0) จากนั้นนำตัวอย่างตะกอนดินไปบดด้วยเครื่องบดหยาบ ก่อนนำเข้าเครื่องบดละเอียด ตัวอย่างดินประกอบด้วยทรายร้อยละ 0.2 ดินตะกอนร้อยละ 58.4 และดินเหนียวร้อยละ 41.4 และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.61

เถ้าลอย (Fly ash, FA) ได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้แสดงในตารางที่ 1 พบว่าผลรวมของปริมาณธาตุ SiO_2 , Al_2O_3 , และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 77.15 ซึ่งจัดอยู่ใน Class F ตามมาตรฐาน ASTM C618 การกระจายขนาดของอนุภาคเถ้าลอยซึ่งทดสอบโดย Laser particle size analysis แสดงในรูปที่ 1 พบว่าขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (D_{50}) ของเถ้าลอยเท่ากับ 15.17 ไมครอนและค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย 2.35 ตามลำดับ

ทรายที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือทรายหยาบ จากบ่อทรายชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness

Modulus) และค่าความถ่วงจำเพาะของทรายมีค่าเท่ากับ 2.6 และ 2.64 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางสารเคมีของเถ้าลอย และตะกอนดินประปา

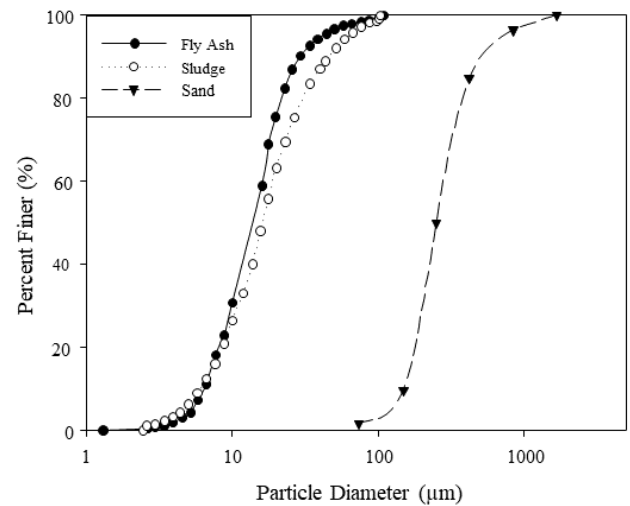
องค์ประกอบทางเคมี	เถ้าลอย (%)	ตะกอนดินประปา (%)
SiO ₂	43.10	61.84
Al ₂ O ₃	18.95	24.8
Fe ₂ O ₃	15.10	9.52
CaO	16.09	0.6
MgO	N.D.	N.D.
SO ₃	3.66	0.59
Na ₂ O	0.73	N.D.
K ₂ O	1.76	1.9
LOI	0.61	0.75

หมายเหตุ N.D = Not detected

สารเพิ่มฟองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ Sika Poro40 โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Foam Generator หรือเครื่องผลิตฟองโฟม อัตราส่วนสารเพิ่มฟองต่อน้ำเท่ากับ 50 ซีซี ต่อน้ำ 1 ลิตร จะถูกเติมลงในเครื่องผลิตโฟม จากนั้นเขย่าเครื่องผลิตโฟมจนน้ำและสารเพิ่มฟองรวมตัวกัน ลักษณะของโฟมที่ได้จะคล้ายเนื้อครีมเป็นฟองอากาศขนาดเล็ก

สารกระตุ้น ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 5 โมลาร์และมีสารละลายโซเดียมซิลิเกต โดยมี อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อโซเดียมซิลิเกต (Na₂SiO₃) เท่ากับ 30:70, 50:50 และ 70:30 ตามลำดับ

เมื่อได้ปริมาณสารกระตุ้นที่เหมาะสมจากการทดสอบค่าการไหลแผ่ ตัวอย่างเถ้าลอย ทราย ตะกอนดินประปา และปริมาณสารกระตุ้นที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะถูกผสมเข้ากับปริมาณโฟมร้อยละ 0, 1, 3, และ 5 ของน้ำหนักเถ้าลอย จากนั้นตัวอย่างจะถูกเทลงในแบบทรงลูกบาศก์ที่มีขนาดเท่ากับ 50x50x50 มิลลิเมตร และบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องจนได้อายุบ่ม 7 วัน เมื่อครบอายุบ่มที่กำหนด ตัวอย่างจะนำมาทดสอบหน่วยน้ำหนักแห้ง, กำลังอัด และโครงสร้างจุลภาค ตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-11a [9]



รูปที่ 1 การกระจายขนาดของตะกอนดินประปา เถ้าลอยและทราย

3. ผลการทดสอบ

3.1 การไหลแผ่ของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์

ตารางที่ 2 ถึง 4 แสดงค่าการไหลแผ่ของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วนเถ้าลอย:ทราย:ตะกอนดินประปา, อัตราส่วน NaOH:Na₂SiO₃ และปริมาณสารกระตุ้นต่าง ๆ พบว่า ปริมาณสารกระตุ้นต่อปริมาณตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอย (L/B) ของจีโอโพลิเมอร์มีค่าลดลงตามปริมาณทรายที่เพิ่มขึ้นสำหรับทุกค่าการไหลแผ่ และทุกอัตราส่วน NaOH:Na₂SiO₃ ยกตัวอย่างเช่น ค่า L/B ที่ค่าการไหลแผ่ร้อยละ 110 อัตราส่วน NaOH:Na₂SiO₃ เท่ากับ 70:30 มีค่าเท่ากับ .074, 0.91, 1.16, 1.38, 1.51, 1.71, 1.95 และ 2.05 สำหรับปริมาณทรายเท่ากับ 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 และ 0 ตามลำดับ ค่า L/B ที่ลดลงนี้เนื่องจากตะกอนดินประปามีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำสูง และมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าทราย (พื้นที่ผิวสัมผัสสูงกว่าทราย) เมื่อเพิ่มปริมาณทรายเข้าไปทำให้ช่วยลดความต้องการปริมาณสารกระตุ้นลง

ตารางที่ 2 ปริมาณสารกระตุ้นต่อปริมาณตะกอนดินประปา-ทราย-เถ้าลอย (L/B) จีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วน $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ เท่ากับ 70:30, ที่การไหลแต่ละอย่าง

อัตราส่วนเถ้าลอย: ทราย:ตะกอนดิน ประปา	L/B		
	การไหลแต่ละ 105 %	การไหลแต่ละ 110 %	การไหลแต่ละ 115 %
30:70:0	0.74	0.74	0.75
30:60:10	0.90	0.91	0.92
30:50:20	1.15	1.16	1.18
30:40:30	1.35	1.38	1.40
30:30:40	1.49	1.51	1.53
30:20:50	1.69	1.71	1.73
30:10:60	1.92	1.95	1.98
30:0:70	2.02	2.05	2.08

ตารางที่ 3 ปริมาณสารกระตุ้นต่อปริมาณตะกอนดินประปา-ทราย-เถ้าลอย (L/B) ของจีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วน $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ เท่ากับ 50:50 ที่การไหลแต่ละอย่าง

อัตราส่วนเถ้าลอย: ทราย:ตะกอนดิน ประปา	L/B		
	การไหลแต่ละ 105 %	การไหลแต่ละ 110 %	การไหลแต่ละ 115 %
30:70:0	0.87	0.88	0.9
30:60:10	1.01	1.02	1.04
30:50:20	1.24	1.26	1.28
30:40:30	1.45	1.47	1.50
30:30:40	1.58	1.60	1.62
30:20:50	1.71	1.73	1.75
30:10:60	1.96	1.99	2.01
30:0:70	2.05	2.08	2.11

3.2 หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลส

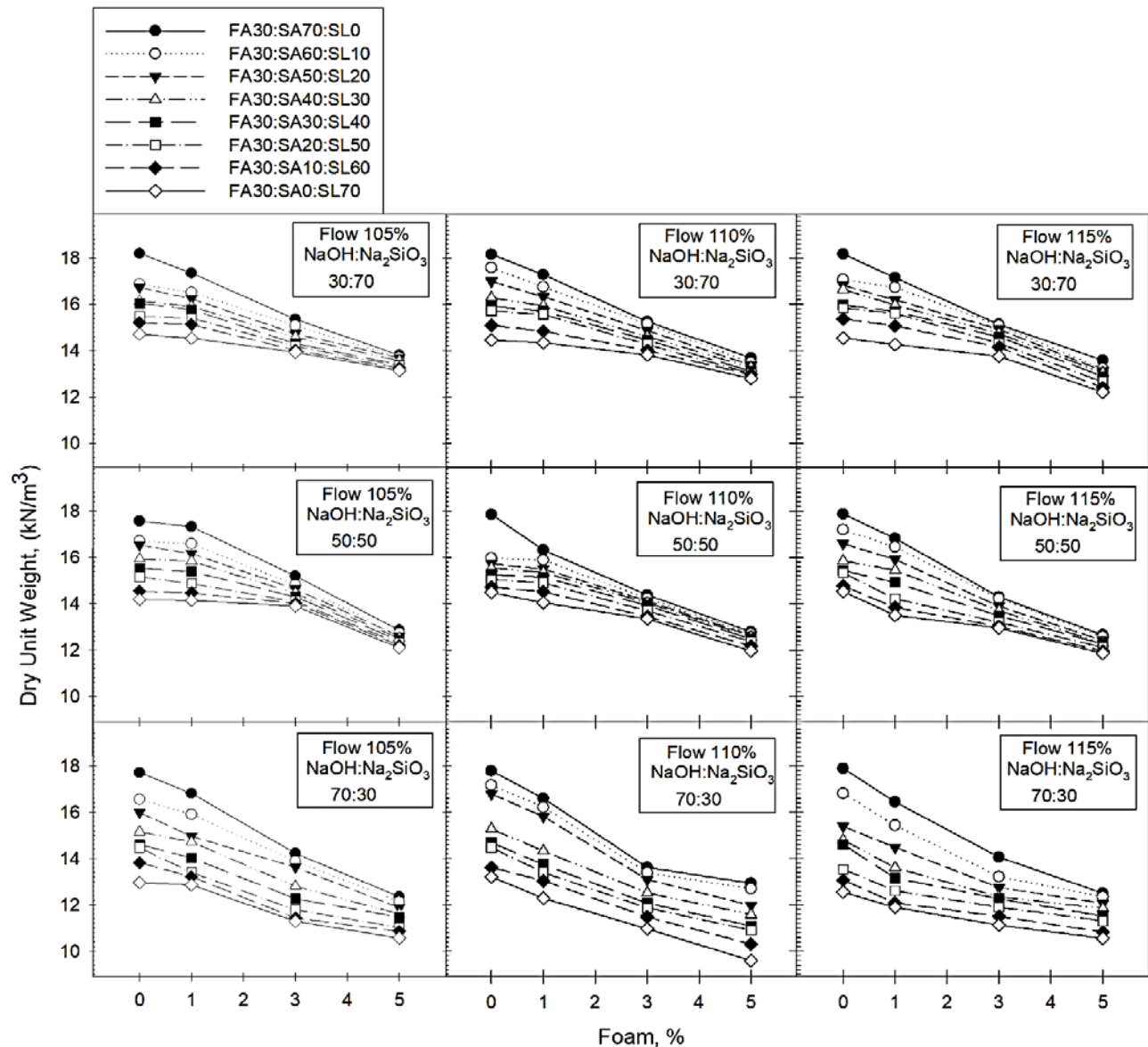
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณโพลิเมอร์ของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลส ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสมีค่าลดลงผกผันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพลิเมอร์สำหรับทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจาก

ปริมาณโพลิเมอร์สามารถแทรกเข้าในช่องว่าง ในขณะที่หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสมีค่าลดลงตามปริมาณตะกอนดินประปาที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากตะกอนดินประปามีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าทรายแต่ตะกอนดินประปามีการดูดซึมน้ำสูงกว่าทราย เมื่อตัวอย่างสูญเสียความชื้น จะทำให้เกิดช่องว่างในตัวอย่าง

ตารางที่ 4 ปริมาณสารกระตุ้นต่อปริมาณตะกอนดินประปา-ทราย-เถ้าลอย (L/B) ของจีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วน $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ เท่ากับ 30:70 ที่การไหลแต่ละอย่าง

อัตราส่วนเถ้าลอย: ทราย:ตะกอนดิน ประปา	L/B		
	การไหลแต่ละ 105 %	การไหลแต่ละ 110 %	การไหลแต่ละ 115 %
30:70:0	0.94	0.95	0.97
30:60:10	1.10	1.12	1.14
30:50:20	1.26	1.28	1.30
30:40:30	1.46	1.48	1.52
30:30:40	1.67	1.69	1.72
30:20:50	1.84	1.86	1.88
30:10:60	1.98	2.00	2.02
30:0:70	2.11	2.15	2.21

อิทธิพลของอัตราส่วน $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ต่อหน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลส พบว่าปริมาณสารละลายโซเดียมซิลิเกตสูง ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 > 50$) มีผลต่อหน่วยน้ำหนักน้อย เนื่องจากซิลิกาที่สูงในสารละลายโซเดียมซิลิเกตทำปฏิกิริยากับซิลิกา และอลูมิเนียมออกไซด์จากเถ้าลอย ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว และเกิดเป็นจีโอโพลิเมอร์เจล (Sodium aluminosilicate hydrate, N-A-S-H) ปฏิกิริยาดังกล่าวขัดขวางปริมาณโพลิเมอร์ในระบบซึ่งทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักลดลงไม่มาก เมื่อปริมาณโพลิเมอร์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ การไหลแต่ละ (ปริมาณ L/B) ไม่ส่งผลต่อหน่วยน้ำหนักของตัวอย่าง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณ L มีค่าน้อย



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณสารเพิ่มฟองของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทราย และเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่า

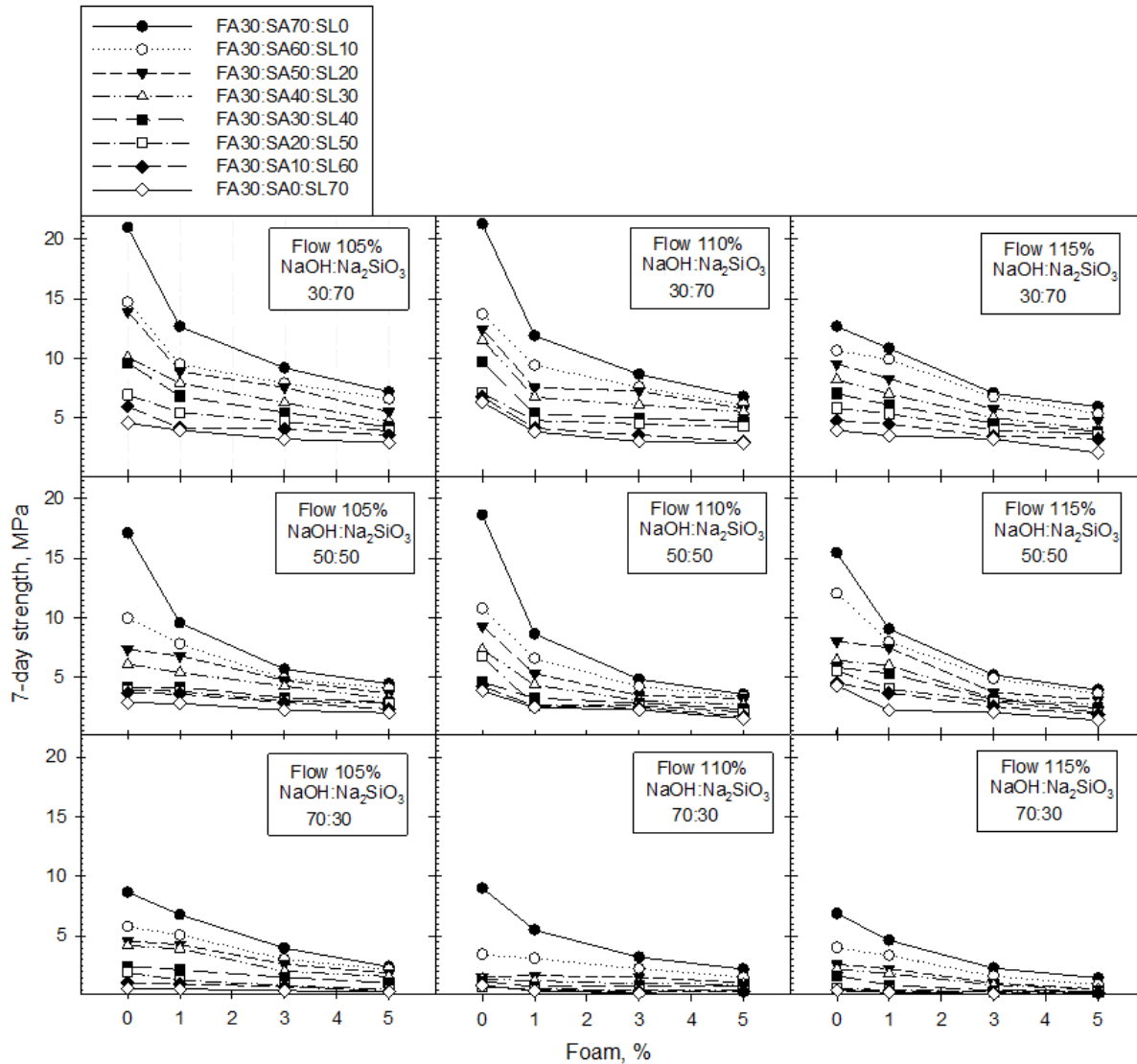
3.3 กำลังอัดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่า

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณโพร้มของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทราย และเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่า ที่อัตราการไหลแห้งที่ร้อยละ 105, 110 และร้อยละ 115, อัตราส่วนตะกอนดินประปา:ทราย:เถ้าลอยเท่ากับ 0:70:30, 10:60:30, 20:50:30, 30:20:30, 40:30:30, 50:20:30, 50:10:30 และ 70:0:30, อัตราส่วน NaOH:Na₂SiO₃ เท่ากับ 30:70, 50:50 และ 70:30 และปริมาณโพร้มเท่ากับร้อยละ 1, 3 และ 5 พบว่า กำลังอัดของ

ตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณทราย และปริมาณสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่เพิ่มขึ้น กำลังอัดสูงสุดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูล่าพบที่อัตราส่วนตะกอนดินประปา:ทราย:เถ้าลอยเท่ากับ 0:70:30, อัตราส่วน NaOH:Na₂SiO₃ เท่ากับ 30:70, และอัตราส่วน L/B เท่ากับ 0.95 ซึ่งให้กำลังอัดเท่ากับ 12.8 MPa กำลังอัดที่สูงนี้เนื่องจากปริมาณสารกระตุ้น (NaOH:Na₂SiO₃) และปริมาณโซเดียมซิลิเกต (Na₂SiO₃) เพียงพอต่อการกระตุ้นปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชัน (Geopolymerization) อย่างไม่

ตามปริมาณโซเดียมซิลิเกตต่ำเช่นที่อัตราส่วน $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3=30:70$ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำหน้าที่ชะละลายซิลิกาและอลูมินาออกจากเกล็ดลอยเพื่อทำปฏิกิริยา Geopolymerization กับสารละลาย Na_2SiO_3 แต่

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงเกินไปจะทำให้เม็ดเกล็ดลอยเกิดการแตก จึงทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดลดลง [6,7] เช่นเดียวกันกับการไหลแผ่ การไหลแผ่ (ปริมาณ L/B) ที่มากเกินไปจะทำให้กำลังอัดของตัวอย่างลดลง



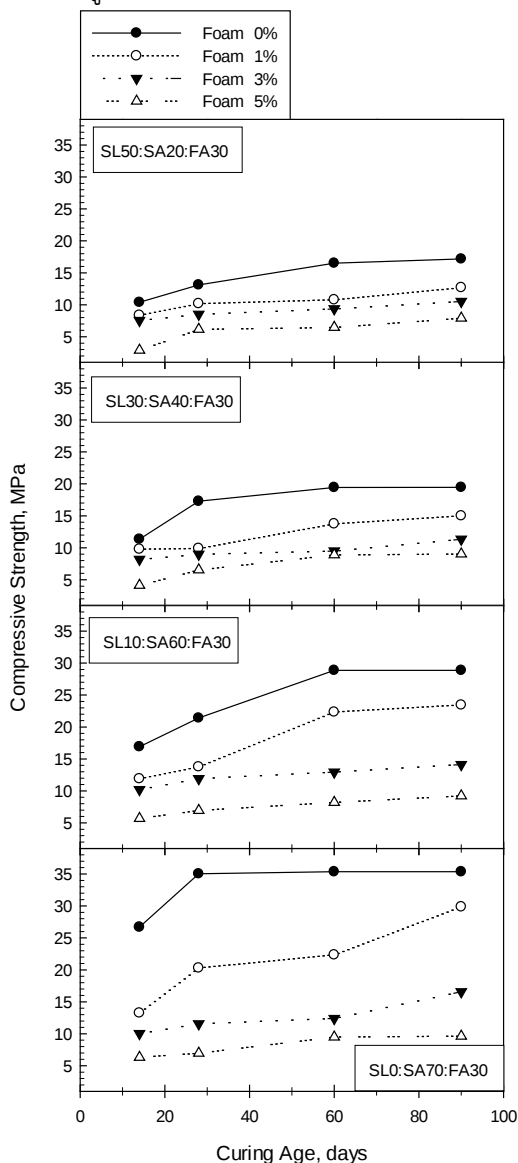
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณสารเพิ่มฟองของตะกอนดินประปา-ทราย-เกล็ดลอย จีโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลส

3.4 การพัฒนากำลังรับอัดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเกล็ดลอยจีโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลส

รูปที่ 4 แสดงกำลังอัดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเกล็ดลอยจีโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสที่อายุบ่มเท่ากับ 14, 28, 60 และ 90 วันพบว่า ตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเกล็ดลอยจีโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสที่อัตราส่วน SL:SA:FA เท่ากับ 0:70:30 มีการพัฒนากำลังอัด

ตามอายุบ่มที่เพิ่มขึ้น การพัฒนากำลังอัดในช่วงแรก (อายุบ่ม <28 วัน) กำลังอัดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการใช้โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ส่งผลให้การพัฒนา กำลังอัดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การพัฒนากำลังอัดในช่วงอายุ บ่มมากกว่า 28 วัน กำลังอัดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเพียง เล็กน้อย กำลังอัดสูงสุดที่อายุบ่ม 28 วันของตัวอย่างมี ค่าประมาณ 35.04 MPa ที่อัตราส่วน SL:SA:FA เท่ากับ

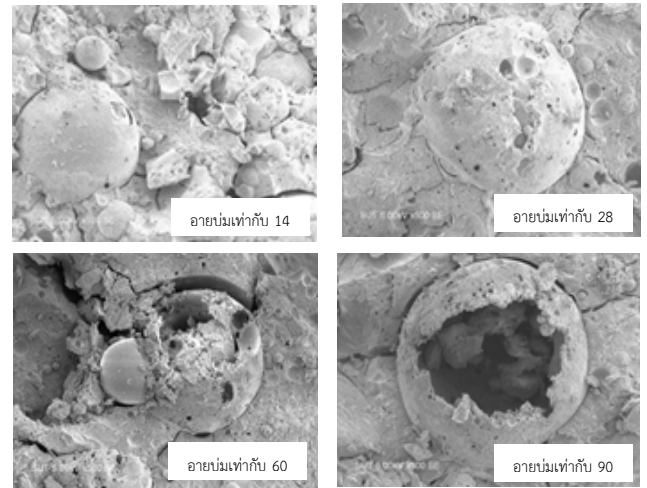
0:70:30, อัตราส่วน NaOH:Na₂SiO₃ เท่ากับ 30:70, อัตราส่วน L/B เท่ากับ 0.95 และปริมาณโฟมร้อยละ 0 เมื่อแทนที่ทรายด้วยตะกอนดินประปาร้อยละ 10, 30 และ 50 พบว่ากำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วันของตัวอย่างจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของตะกอนดินประปา ยกตัวอย่างเช่น กำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วันของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 35.04, 22.42, 17.30 และ 13.11 MPa สำหรับสำหรับตะกอนดินประปาร้อยละ 0, 10, 30 และ 50 ตามลำดับ กำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วันลดลงเนื่องจากอนุภาคของตะกอนดินประปาเล็กกว่าทราย เมื่อนำมาแทนที่ทรายซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยจะส่งผลให้ตัวอย่างดูดซึมน้ำมากขึ้น



รูปที่ 4 การพัฒนากำลังอัดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลส

3.5 การวิเคราะห์ผลทดสอบด้วยโครงสร้างทางจุลภาค

รูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสที่อัตราส่วน SL:SA:FA เท่ากับ 10:60:30 และปริมาณโฟมร้อยละ 1 รูปถ่าย SEM แสดงให้เห็นว่าช่วงอายุบ่มที่ 14 วัน การทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์เรซินยังไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นไม่มาก การทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์เรซินสมบูรณ์เกิดที่อายุบ่ม 90 วัน ซึ่งส่งผลให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด เนื่องจากตะกอนดินประปาสามารถดูดซึมสารกระตุ้นเอาไว้แล้วค่อย ๆ คายสารกระตุ้นออกมาทำปฏิกิริยาตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากเม็ดของเถ้าลอยถูกเจาะเพิ่มขึ้นตามอายุบ่มที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณโฟมที่ผสมกับตัวอย่างส่งผลให้สารกระตุ้นเจือจางลง ซึ่งทำให้กำลังอัดลดลง



รูปที่ 5 ภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสที่อัตราส่วน SL:SA:FA เท่ากับ 10:60:30 และปริมาณโฟมร้อยละ 1

4. สรุป

การพัฒนา กำลังอัดและโครงสร้างทางจุลภาคของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทรายและเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสสามารถสรุปได้ดังนี้

1) หน่วยน้ำหนักของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทราย และเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสแปรผกผันกับปริมาณตะกอนดินประปาและปริมาณโฟม หน่วยน้ำหนักของ

ตัวอย่างมีค่าลดลงตามปริมาณตะกอนดินประปาและปริมาณโพลีที่เพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักค่าสุดท้ายเท่ากับ 8 kN/m^3 ที่อัตราส่วนตะกอนดินประปา: ทราย: เถ้าลอยเท่ากับ 70:0:30, อัตราส่วน $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ เท่ากับ 70:30 และปริมาณโพลีร้อยละ 5

2) กำลังอัดสูงสุดของตะกอนดินประปาปรับปรุงด้วยทราย และเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์มวลเบาเซลลูโลสที่อัตราส่วนตะกอนดินประปา: ทราย: เถ้าลอยเท่ากับ 0:70:30, อัตราส่วน $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ เท่ากับ 30:70, อัตราส่วน L/B เท่ากับ 0.95 และปริมาณโพลีร้อยละ 1 ซึ่งให้กำลังอัดเท่ากับ 12.8 MPa

3) การพัฒนากำลังอัดในช่วงแรก (อายุบ่ม <28 วัน) กำลังอัดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการใช้ โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ส่งผลให้การพัฒนาการกำลังอัดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การพัฒนากำลังอัดในช่วงอายุบ่มมากกว่า 28 วัน กำลังอัดของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

4) ช่วงอายุบ่มที่ 14 วัน การทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์เซชันยังไม่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นไม่มาก การทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์เซชันสมบูรณ์เกิดที่อายุบ่ม 90 วัน ซึ่งส่งผลให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด เนื่องจากตะกอนดินประปาสามารถดูดซึมสารกระตุ้นเอาไว้แล้วค่อย ๆ คายสารกระตุ้นออกมาทำปฏิกิริยาตามระยะเวลาที่บ่ม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนงบประมาณรายจ่ายจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Suksiripattanapong C, Horpibulsuk S, Chanprasert P, Sukmak P, Arulrajah A. Compressive strength development in fly ash geopolymer masonry units manufactured from water treatment sludge. *Construction and Building Materials*. 2015;82:20-30.
- [2] อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์. วัสดุจีโอโพลิเมอร์. กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย; 2560.

- [3] Horpibulsuk S, Suksiripattanapong C, Samingthong W, Chinkulkijniwat A, Rachan R, Arulrajah A. Durability against wet-dry cycles of water treatment sludge– fly ash geopolymer. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2015;28.
- [4] Suksiripattanapong C, Horpibulsuk S, Boongrasan S, Udomchai A, Chinkulkijniwat A, Arulrajah A. Unit weight, strength and microstructure of a water treatment sludge– fly ash lightweight cellular geopolymer. *Construction and Building Materials* 2015;94:254-257.
- [5] Suksiripattanapong C, Srijumpa S, Horpibulsuk S, Sukmak P, Arulrajah A, Du JY. Compressive strength of water treatment sludge– fly ash geopolymer at various compression energies. *Lowland Technology International Journal*. 2015;17:147-156.
- [6] Sukmak P, Horpibulsuk S, Shen SL. Strength development in clay– fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials*. 2013;40:566-574.
- [7] Sukmak P, Horpibulsuk S, Shen SL, Chindaprasirt P, Suksiripattanapong C. Factors influencing strength development in clay- fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials*. 2013;47:1125-1136.
- [8] American Society for Testing and Material. ASTM C230/C230M-08 Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. *Annual Book of ASTM Standard 4. 02 vols*. Philadelphia; 2008.
- [9] American Society for Testing and Material. ASTM C109/ C109M- 11a Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens.

Annual Book of ASTM Standard 4. 02 vols.

Philadelphia; 2008.