

การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9
การศึกษากำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมัน

A Study on the Compressive Strength of Geopolymer Containing Oil Palm Ash

จิรัญต์ บรรจงศิริ¹

Jirat Bunjongsiri¹

บทคัดย่อ

การศึกษากำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมันโดยเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้ามาตรฐาน อัตราส่วนผสมร้อยละของเถ้าต่อร้อยละของของเหลว 2 แบบ คือ 1 : 1 ความเข้มข้น 10 โมลาร์ และ 1 : 1 ความเข้มข้น 15 โมลาร์ ทำการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส ที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้อัตราส่วน 1 : 1

ผลการศึกษาพบว่าการทดสอบทางเคมีพบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันที่นำมาผลิตเป็นจีโอโพลิเมอร์มีคุณสมบัติเป็นวัสดุพอซโซลาน Class N ตามมาตรฐานของ ASTM C618 กำลังรับแรงอัดของ จีโอโพลิเมอร์ที่ดีที่สุด คือ เถ้า : ของเหลว เท่ากับ 1 : 1 ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสที่ 28 วัน กำลังรับแรงอัดระหว่างมอร์ต้ามาตรฐานกับจีโอโพลิเมอร์ ปรากฏว่ามอร์ต้ามาตรฐานสามารถรับกำลังอัดได้ดีกว่าจีโอโพลิเมอร์ โดยภาพรวมการพัฒนา กำลังรับแรงอัดของ จีโอโพลิเมอร์ช่วงอายุ 7 ถึง 28 วัน ไปแล้วกำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาไม่มากนัก

Abstract

The study of compressive strength of geopolymer containing oil palm ash compared to standard mortar. The mixing proportions of ash to liquid by 1 : 1 with molar concentration substances of 10 and 15. The specimens were treated in an autoclave at 65°, 75°, and 85° C for 1, 3, 7, 14 and 28 days. Ratio of the sodium silicate, sodium hydroxide was 1 : 1.

The results showed that the chemical properties of the oil palm ash for producing geopolymer did contain Class N pozzolanic materials, the standards of ASTM C618. The best compressive strength of geopolymer from the mixing proportion of oil ash to liquid by 1 : 1 with 10 molar concentrations at 65° C for 28 days. When the comparison was made on the compressive strength between the standard mortar and geopolymer. It was found that the standard mortar had better compressive strength than geopolymer. Overall, the compressive strength of the geopolymer at the ages of 7 to 28 days exhibited a minimum compressive strength development.

Keywords : Geopolymer, Compressive strength, Oil palm ash

Email : Jiratb@sau.ac.th

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ หนองแขม กรุงเทพฯ 10160

คำนำ

ชีวมวลเป็นอินทรีย์สารที่ได้จากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น แกลบ ชังข้าวโพด กะลาปาล์ม ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และเศษไม้ เป็นต้น ซึ่งล้วนเป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่สามารถหาได้ง่าย โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก และชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเผาไหม้ เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าชีวมวลได้เป็นอย่างดี ทำให้เหลือเถ้าชีวมวลทิ้งไว้เป็นปริมาณมากและมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะปัจจัยหลายประการ เช่น ความต้องการบริโภคที่สูงขึ้น และการพัฒนาเทคโนโลยีทางการเกษตร เป็นต้น บัดนี้ได้กลับกลายมาเป็นพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

บทความนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาสารซีเมนต์ใหม่ โดยไม่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เนื่องจากกระบวนการผลิตซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ใช้พลังงานสูงมาก จึงทำให้เกิดการปล่อยก๊าซ ที่มีผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Green House Effect) ถึงปีละ 13,500 ล้านตัน หรือประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซที่ปล่อยมาทั้งหมด จึงมีความพยายามลดการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยการพัฒนาคอนกรีตที่ใช้สารปอซโซลานปริมาณสูง (Height Volume Pozzolan concrete) วัสดุปอซโซลานต่าง ๆ นั้นไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานด้วยตัวมันเองจึงนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้แค่เพียงบางส่วนเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้เถ้าชีวมวลซึ่งมีสารปอซโซลาน บทความนี้เลือกใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อมาทำการทดสอบ

ความพยายามพัฒนาสารซีเมนต์ใหม่โดยไม่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งใช้สารปอซโซลานที่ประกอบด้วยสารซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบในการทำวัสดุซีเมนต์ที่เรียกว่า จีโอโพลิเมอร์ โดยใช้หลักการทำปฏิกิริยาหลอมที่มาจากซิลิกอน (Si) และอลูมินา (Al) ให้เป็นโมเลกุลหลอมในลักษณะของโพลิเมอร์ โดยการทำปฏิกิริยาหลอมที่มาจากซิลิกอนและอลูมินาจะใช้สารละลายที่เป็นด่างสูงโดยให้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้นจนได้เป็นสารจีโอโพลิเมอร์ที่สามารถรับแรงอัดได้และสามารถนำไปใช้ในงานวิศวกรรมต่อไปได้

ระเบียบวิธีการวิจัย

ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

1. หาปริมาณความชื้นของทราย
2. หาปริมาณความชื้นของเถ้าปาล์มน้ำมัน จากโรงผลิตปาล์มน้ำมัน อำเภอเคียนซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
3. หาค่าความถ่วงจำเพาะของทรายละเอียด ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง และ เถ้าปาล์มน้ำมัน จากโรงผลิตปาล์มน้ำมัน อำเภอเคียนซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

การทดสอบเกี่ยวกับส่วนผสมของมอร์ต้า

1. ทดสอบปรับอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก ของเถ้าปาล์มน้ำมัน : ทรายละเอียด อัตราส่วน 1 : 2.75
2. นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ผสมกับน้ำสะอาดตามความเข้มข้นที่ต้องการแล้วเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (NaO_3Si) ที่มาใช้ในการผลิตจีโอโพลิเมอร์มาปรับอัตราส่วนการผสม ($\text{NaO}_3\text{Si} : \text{NaOH}$) (1 : 1)

3. ทดสอบปรับอัตราส่วนผสมสารละลายต่อเก้าปาล์มน้ำมันโดยน้ำหนักทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปวัสดุที่ใช้ทำจีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer of Materials)

1. เก้าปาล์มน้ำมันจากโรงสกัดน้ำมันปาล์ม อำเภอ เคียนซา จังหวัด สุราษฎร์ธานี ร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 100
2. ททรายที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำในสภาวะผิวแห้ง ทำการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของทราย ตามมาตรฐาน ASTM C128 - 93 และทดสอบการกระจายขนาดคละและโมดูลัสความละเอียดของทราย ตามมาตรฐาน ASTM C136 - 95 และนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อน ตามมาตรฐาน ASTM 109/C, 109/M
3. สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate, NaO_3Si) ซึ่งมีองค์ประกอบของ Na_2O_2 15.32% , SiO_2 32.87% และน้ำ 51.81% โดยน้ำหนัก และ Na_2O_2 8.75% , SiO_2 27.30% และน้ำ 63.95%
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) ชนิดเกรดนำมาทำการผสมกับน้ำ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ 10 และ 15 โมลลาร์ ตามต้องการ เช่น ความเข้มข้น 10 โมลลาร์ ได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปเกล็ดขนาด 400 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร เตรียมไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนการทดลอง
5. น้ำที่ใช้ทดลองเป็นน้ำประปาสะอาด
6. เครื่องอบ ที่บ่มอุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส
7. แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม.
8. เครื่องเหล็ก
9. แท่งเหล็กกระทุ้งมาตรฐาน

วิธีการทดสอบ

1. การเตรียมอัตราส่วนของเก้าปาล์มน้ำมัน และทรายละเอียด ใช้อัตราส่วน 1 : 2.75
2. นำเก้ากะลาปาล์มน้ำมันและทรายละเอียดที่อัตราส่วนผสม 1 : 2.75 ที่เตรียมไว้ผสมให้เข้ากัน
3. นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ผสมกับน้ำสะอาดไว้แล้วที่เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (NaO_3Si) ที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 1 : 1 ในปริมาณที่กำหนด จากนั้นเทใส่ถาดหล่อแล้วผสมให้เข้ากัน
4. เมื่อผสมมอร์ต้าเก้ากะลาปาล์มน้ำมันให้เข้ากันแล้ว นำไปบรรจุลงในแบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร
5. นำพลาสติกใสมาห่อปิดทับหน้าของตัวอย่างเพื่อควบคุมการระเหยของน้ำออกจากกการเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วทิ้งตัวอย่างไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำเข้าเตาอบ
6. นำแบบหล่อทดสอบเข้าตู้อบอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วแกะแบบสังเกตการณ์ขึ้นรูปพร้อมวิเคราะห์ผล
7. นำมอร์ต้าเก้ากะลาปาล์มน้ำมัน ที่ขึ้นรูปได้แกะออกจากแบบหล่อแล้วใช้พลาสติกหุ้มมอร์ต้าไว้ แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องตามเวลาอายุวันที่กำหนด เมื่อครบเวลาวันที่กำหนดให้นำขึ้นตัวอย่างมอร์ต้าเก้ากะลาปาล์มน้ำมัน ไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดที่เครื่องทดสอบกำลังอัด บันทึกผล
8. ผสมส่วนผสมมอร์ต้าปูนซีเมนต์มอร์ต้ามาตรฐานปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งเตรียมไว้ตามมาตรฐาน ASTM 109/C, 109/M และควบคุมการไหล ตามมาตรฐาน ASTM C230

9. เมื่อผสมซีเมนต์มอร์ต้าให้เข้ากันแล้ว บรรจุในแบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM 109/C, 109/M แบบเดียวกับซีเมนต์มอร์ต้ามาตรฐาน
10. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง แล้วจึงแกะตัวอย่างมอร์ต้าออกจากแบบหล่อ นำไปบ่มน้ำที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน
11. เมื่อครบเวลาวันที่กำหนดให้นำชิ้นตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า ไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดที่เครื่องทดสอบกำลังอัด บันทึกผล

ผลและวิจารณ์

ผลการทดสอบสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะของเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้เท่ากับ 2.04

ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 3.11

ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของทรายมีค่าเท่ากับ 2.61 และร้อยละการดูดซึมเท่ากับ 2.00

ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นของเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 48.21

ลักษณะทางกายภาพของเถ้าปาล์มน้ำมัน

สำหรับภาพถ่ายขยายทางกายภาพของ เถ้ากะลาปาล์มน้ำมันที่ได้จากการถ่ายแบบ SEM โดยมีกำลังขยายที่ 100 เท่า และ 1,000 เท่า ผลการวิเคราะห์และการทดสอบเถ้ากะลาปาล์มน้ำมัน จากห้องปฏิบัติการเอกซเรย์ X-Ray Fluorescence Analysis (XRF) โดยห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จาก Figure 1 อนุภาคของเถ้าปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นก้อนซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอน ก้อนมนๆ เป็นเหลี่ยม และมีรูพรุน เมื่อทำการขยายที่ 1,000 เท่า พบว่าเถ้าปาล์มในหลายอนุภาคนั้นมีลักษณะเป็นเม็ดกลม ผิวรอบๆ ขรุขระและมีรูพรุน เป็นผลึกที่ค่อนข้างหยาบ ๆ

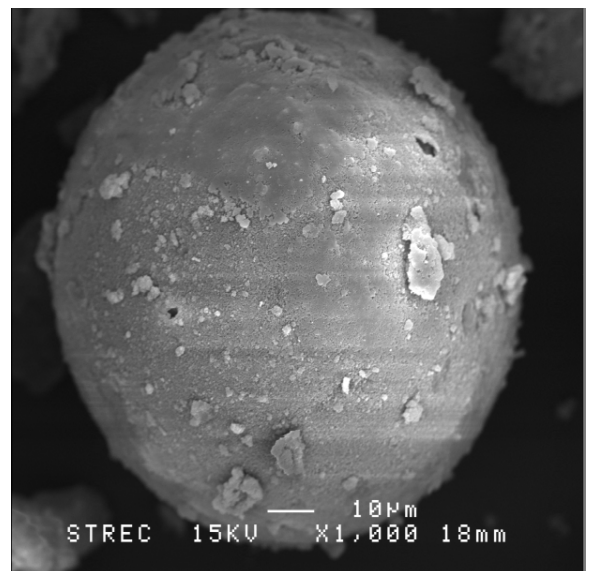
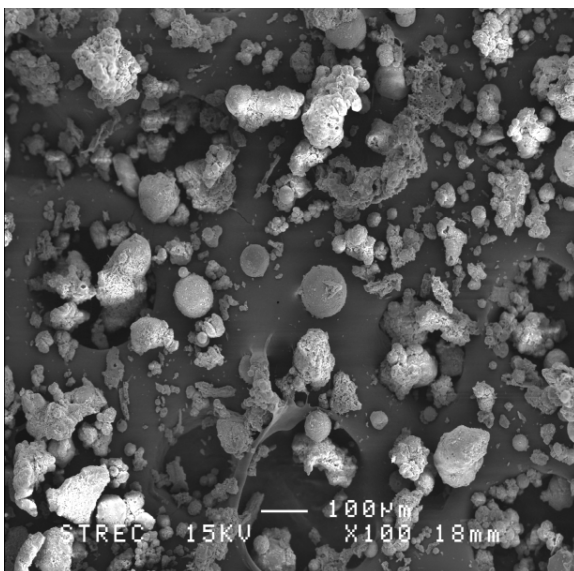


Figure 1 SEM image x100 and x1000 of Oil Palm Ash

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเถ้ากะลาปาล์มน้ำมัน โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการแสดงไว้ใน Table 1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน เมื่อพิจารณาผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่ามีปริมาณเท่ากับร้อยละ 77.16 มี SO_3 เพียง ร้อยละ 2.22 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา เท่ากับร้อยละ 10.84 ดังนั้น เมื่อพิจารณาด้านองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน ตามมาตรฐาน ASTM C 618 สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานธรรมชาติได้ การทดสอบทางเคมีวัสดุที่ใช้ในการทดสอบใน Table 1 ชื่อง * *Oil Palm Ash*

Table 1 The chemical composition of the Various Material

Oxide	Percent by weight (%)					
	Cement Type 1	Mea Moh Fly Ash	Oil Palm Ash	Silica fume	rice husk ash	* <i>Oil Palm Ash</i>
SiO_2	20	48	65	92	90	53.05
Al_2O_3	5	26	3	0.7	0.5	13.06
Fe_2O_3	3	10	2	1.2	2.0	1.05
CaO	60	5	6	0.2	0.5	7.99
MgO	1.1	2	3	0.2	0.2	5.23
SO_3	2.4	0.7	0.4	-	1.5	2.22
Other oxides	1.5	1.3	7	2.6	-	-
LOI.	2	3	10	-	4.7	10.84

* The oil palm ash used in the experiments

ลักษณะจีโอโพลีเมอร์เถ้าปาล์มน้ำมัน

เมื่อผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน ทราช และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมซิลิเกต และน้ำประปาที่เตรียมไว้ผสมให้เข้ากัน จากการสังเกตจะพบว่าจีโอโพลีเมอร์เถ้าปาล์มน้ำมันเกิดความร้อนเกิดขึ้นและเนื้อวัสดุมีความชื้นจับกันเป็นก้อนแต่เนื้อวัสดุไม่เหลวและไม่มีกรไหลแบบซีเมนต์มอร์ต้า ลักษณะเนื้อจีโอโพลีเมอร์เถ้าปาล์มน้ำมัน แสดงใน Figure 2 และเมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อถอดแบบลักษณะก้อนตัวอย่าง จีโอโพลีเมอร์ มอร์ต้าเถ้าปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะเป็นสีเทาเข้ม



Figure 2 Fresh and Hardened Geopolymer Mortar

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้ากับจีโอโพลีเมอร์มอร์ต้าเถ้าปาล์มน้ำมัน

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด จีโอโพลีเมอร์ มอร์ต้าเถ้าปาล์มน้ำมันที่ปมที่อุณหภูมิที่ 65 , 75 และ 85 องศาเซลเซียส มาเปรียบเทียบกับมอร์ต้าซีเมนต์ ค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดดังแสดงใน Table 2 และแนวโน้มของการพัฒนากำลัง แสดงใน Figure 3 เห็นการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าเถ้าปาล์มน้ำมันมีการพัฒนากำลังอัดได้ดีในช่วงอายุ 1 - 7 วัน โดยคิดเป็นร้อยละ 38.42 , 21.92 และ 20.92 ตามลำดับ แต่มอร์ต้าซีเมนต์พัฒนากำลังอัด คิดเป็นร้อยละ 43.07 ต่อมาในช่วงอายุปมที่ 7 - 14 วัน มอร์ต้าเถ้าปาล์มมีแนวโน้มการพัฒนาในช่วงนี้ต่ำ โดยการพัฒนากำลังอัดในช่วงนี้ คิดเป็นร้อยละ 3.79 , 2.52 และ 1.62 แต่มอร์ต้าซีเมนต์พัฒนากำลังอัด คิดเป็นร้อยละ 5.10 และช่วงอายุปมที่ 14 - 28 วัน มอร์ต้าเถ้าปาล์มน้ำมันมีการพัฒนากำลังอัดเกิดขึ้นน้อยมาก การพัฒนากำลังคิดเป็นร้อยละได้เพียงร้อยละ 0.19 , 1.63 และ 2.21 ซึ่งแตกต่างกับมอร์ต้าซีเมนต์ ที่มีการพัฒนากำลังต่อเนื่องขึ้นไปอีกโดยคิดเป็นร้อยละ 8.22

Table 2 Compressive Strength Result

Material	Intensity Molar	Temp. °c	Compressive Strength (ksc)				
			Age 1 day	Age 3 day	Age 7 day	Age 14 day	Age 28 day
Cement Mortar	-	-	147.06	182.72	155.1	221.14	239.32
Geopolymer Mortar	10	65	70.71	95.50	97.88	101.59	101.78
	10	75	93.19	94.95	112.69	114.52	116.59
	10	85	94.97	95.50	97.88	101.59	101.78
Oil Palm Ash	15	65	72.44	73.34	78.01	83.36	89.79
	15	75	70.73	73.79	78.76	78.98	80.91
	15	85	114.76	131.33	139.92	143.45	146.62

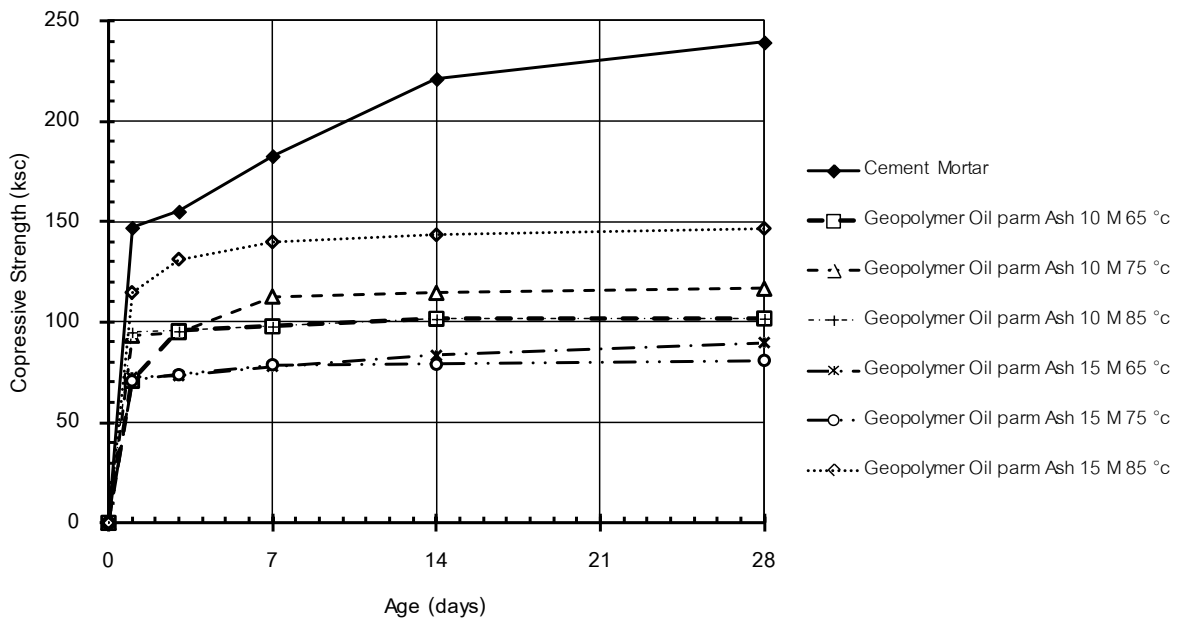


Figure 3 Compressive strength of various mixes

สรุปผลการศึกษา

เมื่อวัสดุจีโอโพลีเมอร์ผ่านกระบวนการบ่มให้ความร้อน เพื่อเร่งปฏิกิริยาเคมีให้เกิดการแข็งตัวพบว่าสามารถแข็งตัวได้ดีหลังจากผ่านการบ่มให้ความร้อน และเกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นของก้อนวัสดุจีโอโพลีเมอร์มอร์ต้าเก่าปาล์มน้ำมัน ประมาณ 2 - 5 % โดยเฉลี่ย

การรับกำลังอัดเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้า 1 พบว่าเมื่อนำมอร์ต้าเก่าปาล์มน้ำมันมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดไปเทียบกับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าแล้ว ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้ยังน้อยกว่ามอร์ต้าซีเมนต์อยู่ค่อนข้างมาก โดยยังมีช่วงที่ห่างกันมากที่สุดที่ร้อยละ 50 อายุการบ่มที่ 28 วัน

การทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารละลาย 15 โมลลาร์ นำไปบ่มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จีโอโพลีเมอร์มอร์ต้าเก่าปาล์มน้ำมันจะทำให้กำลังรับแรงอัดได้สูงที่สุด กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเก่าปาล์มน้ำมัน ที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นมากในช่วง 1 - 7 วันแรกและรับกำลังอัดได้เกือบสูงสุด ในช่วง 7 - 10 วัน หลังจากการบ่มให้ความร้อนแต่หลังจากนั้นไปจนถึง 28 วัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก และพบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิในการบ่มมีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดไม่มากนักในการทดสอบครั้งนี้

การเปรียบเทียบกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ต้าเก่าปาล์มน้ำมัน ที่อัตราส่วนสารละลาย 1 : 1 โดยน้ำหนักเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้า พบว่าการรับกำลังอัด ของวัสดุทั้ง 2 ประเภท จะเพิ่มขึ้นมากในช่วง 7 วันแรก และหลังจาก 7 วัน กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าซีเมนต์จะยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และกำลังรับแรงอัดสูงสุดได้ที่ 28 วัน ในขณะที่กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าเก่าปาล์มน้ำมันไม่พบการเปลี่ยนแปลงของกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณย่าแปลก เหมือนปิว สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ และผู้ประเมินบทความ ซึ่งให้ข้อคิดเห็นและความรู้แก่ผู้เขียนบทความเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณคณะบุคคลเหล่านี้ที่

ช่วยให้บทความนี้มีความสมบูรณ์ ผศ.กุลธิดา บรรจงศิริ และผศ.วราธร แก้วแสง และนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ประกอบด้วย นายธวัชชัย แสงผล นายปิยณัฐ สีพล นายวิศิษฐ์ กอชัชวาล และนางสาวสุภาวดี ศรีกลิ่นสุวรรณ

เอกสารอ้างอิง

เจริญชัย ฤทธิรุทธ, การศึกษาจีโอโพลีเมอร์มอร์ต้าจากดินขาวระนองเผา, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2550.

แสง ทรงแหม้, การศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน, การอัดตัวของอนุภาค และปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้และเถ้าปาล์มน้ำมัน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, วัสดุปอซโซลานในอนาคตสำหรับคอนกรีต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี , 2546.

นายธวัชชัย แสงผลและคณะ, การศึกษากำลังรับแรงอัดของจีโอโพลีเมอร์จากเถ้าปาล์มน้ำมัน, ปริญญา นิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์, พ.ศ.2553

ปริญญา จินดาประเสริฐ, เถ้าลอยในงานคอนกรีต, ฉบับปรับปรุง. ศูนย์วิจัยและพัฒนา โครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปริญญา จินดาประเสริฐ, เถ้าลอยในงานคอนกรีต, กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตไทย อาคารสมาคม. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2547.

ภากร ไตรศิริวานิชย์, การศึกษาจีโอโพลีเมอร์จากกันเตา, วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2550.

อโณรัตน์ ภูตระกูล, การเตรียมโซเดียมซิลิเกตจากเถ้าแกลบ โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัล, วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.