

การศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าระหว่างเถ้าลอยและดินขาว

A Comparative Study on Compressive Strength of Geopolymer Mortar Containing Fly Ash and Kaolin

จิรัญต์ บรรจงศิริ¹

Jirat Bunjongsiri¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดระหว่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวและจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอยโดยมีซีเมนต์มอร์ต้าเป็นตัวเปรียบเทียบจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าแบ่งเป็น 4 อัตราส่วนโดยน้ำหนักเมื่อ สารปอซโซลานตั้งต้น : โซเดียมซิลิเกต : โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1 : 0.125 : 0.125, 1 : 0.25 : 0.25, 1 : 0.5 : 0.5 และ 1 : 1 : 1

ผลจากการศึกษาพบว่าในการผสมจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวและเถ้าลอยที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.125 : 0.125 ทำการผสมได้ยากเนื้อจะมีลักษณะยุ่ย ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.5 : 0.5 สามารถผสมได้ง่ายเนื้อเข้ากันได้ดี เช่นเดียวกับซีเมนต์มอร์ต้าที่สามารถผสมได้ง่าย เมื่อถอดแบบแล้วพบว่าซีเมนต์มอร์ต้ามีรูปร่างที่สวยงามและสมบูรณ์มากแต่จีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 0.5 ก็ค่อนข้างไม่สมบูรณ์เนื่องจากมีเนื้อบางส่วนที่ติดแบบ และจากการได้คำนวณค่าหน่วยน้ำหนักจะเห็นได้ว่าซีเมนต์มอร์ต้ามีหน่วยน้ำหนักประมาณ 1900 กก./ม³. ส่วนหน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวและเถ้าลอยมีค่าใกล้เคียงกันมากอยู่ที่ประมาณ 1600 กก./ม³. และจากการได้ทดสอบกำลังรับแรงอัดซึ่งซีเมนต์มอร์ต้ามีกำลังรับแรงอัดสูงสุดอยู่ที่ 167.78 กก./ซม². ที่อายุ 28 วัน และกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวกำลังรับแรงอัดสูงสุดอยู่ที่ 146.94 กก./ซม². อัตราส่วนผสม 1 : 1 : 1 ที่อายุ 7 วัน และกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้า เถ้าลอยกำลังรับแรงอัดสูงสุดอยู่ที่ 126.84 กก./ซม². อัตราส่วนผสม 1 : 0.25 : 0.25 ที่อายุ 3 วัน

คำสำคัญ : กำลังรับแรงอัด จีโอโพลิเมอร์ ดินขาว เถ้าลอย

ABSTRACT

This research presents the comparative study on compressive strength of geopolymer mortars containing fly ash and kaolin mixed with cement mortar. The mixing proportion were set to 1:0.125:0.125, 1:0.25:0.25, 1:0.5:0.5 and 1:1:1 ratios by weight using pozzolan, sodium silicate and sodium hydroxide mixtures

The results revealed that the geopolymer kaolin mortar with a ratio of 1:0.125:0.125 exhibited a hard mixture porous content. The mixing ratio of 1:0.5:0.5 exhibited a fine and perfect cement mortar mixture when stripping. The mixing ratio of 1:0.5:0.5 exhibited a deformed lump because some of the

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ หนองแขม กรุงเทพฯ 10160

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University, Nongkhaem, Bangkok 10160

mixtures stuck into a stripping pattern. When the unitweight calculation was applied, the cement mortar weighed approximately 1900 kg/m³ while the unit-weight of geopolymer mortars containing kaolin and fly ash had a relative value of 1600 kg/m³. With in 28 day curing period, the effective compressive strength of geopolymer reached the maximum value of 167.78 kg/cm² while the maximum compressive strength of geopolymer kaolin mortar with the mixing ratio of 1:1:1 exhibited 146.94 kg/cm² during a 7 day curing period. Geopolymer mortar fly ash had a maximum compressive strength of 126.84 kg/cm² with the mixing ratio of 1 : 0.25 : 0.25 with in a 3 day curing period.

Keywords : compressive strength, geopolymer, kaolin, Fly ash

E-mail : Jiratb@gmail.com

คำนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมากในการก่อสร้าง โดยเฉพาะในประเทศไทย คอนกรีตที่ใช้ จะมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุดของคอนกรีต เพราะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานส่วนผสมอื่นๆ ในกระบวนการการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้พลังงานอย่างสูงมาก ซึ่งทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse gas) ถึงปีละ 13,500 ล้านตันหรือประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ของก๊าซที่ปล่อยออกมาทั้งหมดบนโลกนี้ จึงได้มีความพยายามในการลดจะการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยมีการพัฒนาคอนกรีตชนิดมีสารปอซโซลานปริมาณสูง (high volume pozzolan concrete) และปัจจุบันได้มีการวิจัยพัฒนาสารซีเมนต์โดยที่ไม่ได้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เลยอย่างกว้างขวาง สารซีเมนต์ดังกล่าวได้แก่ สารจีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer)

วัสดุจีโอโพลิเมอร์ได้ถูกค้นพบครั้งแรกที่ประเทศยูเครนเรียกว่า "ดินซีเมนต์" (Soil cement) และเริ่มวิจัยในปี ค.ศ. 1976 โดย Davidovits ได้ทำการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของสารชนิดนี้ อย่างละเอียด และได้ตั้งชื่อว่า "จีโอโพลิเมอร์" เขาและผู้ร่วมงานได้ทำการเผยแพร่เอกสารและได้จดสิทธิบัตรหลายชิ้น และทำการสาธิตประโยชน์ของการนำมาใช้งานของสารจีโอโพลิเมอร์ที่สามารถผลิตขึ้นได้จากสารที่ได้จากเถ้าถ่านหินหรือจากดินขาวเผา ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 700 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicate) ที่โครงสร้างวัสดุจีโอโพลิเมอร์ประกอบด้วยซิลิกอนและอลูมิเนียม ที่เกิดโคออร์ดิเนตแบบ 4 แขน (IV-fold coordination) กับอกซิเจนและเกิดเป็นโครงสร้างรูปสามเหลี่ยมปริมาตรด้านเท่าสี่ด้าน และได้มีการพัฒนาการนำไปใช้งานอย่างหลากหลาย ขณะนี้มีการวิจัยกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกเช่น ประเทศออสเตรเลีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศนิวซีแลนด์ ประเทศในแถบยุโรป และประเทศในแถบเอเชีย

งานวิจัยนี้เป็นการกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าและกำลังรับแรงอัดนี้ซึ่งเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเมื่อใช้สารปอซโซลาน นอกจากนั้นยังทำการเปรียบเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน โดยได้แยกการทดสอบการทำปฏิกิริยานี้ออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นมอร์ต้ามาตรฐานซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109 และน้ำที่ให้ค่าการไหลแผ่ (Flow) เท่ากับร้อยละ 110 ± 5 สำหรับส่วนที่ทดสอบโดยจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้า นั้น ใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และดินขาวดิบจากจังหวัดลำปาง ซึ่งแตกต่างจากการใช้ดินขาวในงานวิจัยที่ผ่านมา เพราะดินขาวที่ใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นดินขาวเผา ซึ่งน่าจะให้ผลที่แตกต่างกัน

ระเบียบวิธีการวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบในบทความนี้แบ่งรายละเอียดการทดสอบออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1.1 วัสดุที่ใช้ในการทำซีเมนต์มอร์ต้า

- (1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
- (2) ทรายที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป
- (3) น้ำสะอาด

1.2 วัสดุที่ใช้ในการทำไอโพลีเมอร์มอร์ต้าดินขาวและเถ้าลอย

- (1) ดินขาวดิบจากอำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง
- (2) เถ้าลอยจากโรงงานผลิตไฟฟ้าอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- (3) ทรายที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป
- (4) สารละลายโซเดียมซิลิเกต
- (5) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1
- (6) น้ำสะอาด

ตารางที่ 1 อัตราความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำในการผสม

โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรด (กรัม)	ปริมาณน้ำ (กรัม)	ความเข้มข้น (โมลาร์)	น้ำที่ใช้ในการผสม (กรัม)	ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลง (โมลาร์)	อัตราส่วน
10.71	26.79	10	150	1.52	1:0.125: 0.125
21.43	53.57	10	150	2.63	1:0.25:0.25
42.86	107.14	10	150	4.17	1:0.5:0.5
85.71	214.29	10	150	5.88	1:1:1

1.3 การศึกษาเกี่ยวกับมอร์ต้า

1.3.1 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

- (1) ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์
- (2) ความถ่วงจำเพาะของดินขาว
- (3) ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย
- (4) ความถ่วงจำเพาะของทราย
- (5) การดูดซึมน้ำของทราย
- (6) โมดูลัสความละเอียดของทราย

1.3.2 การทดสอบเกี่ยวกับส่วนผสมของซีเมนต์มอร์ต้า

- (1) กำหนดส่วนผสมของมอร์ต้าตามมาตรฐาน ASTM C 311
- (2) กำหนดการไหลตัวของซีเมนต์มอร์ต้าร้อยละ 110 ± 5
- (3) ทำการหล่อตัวอย่างขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร บ่มโดยวิธีการแช่น้ำ ที่อายุ 1, 3, 7 และ

(4) ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน

(5) นำมอร์ต้าที่ได้เทลงในแบบหล่อขนาด 5×5×5 เซนติเมตร และแต่งผิวหน้าให้เรียบ

1.4 การทดสอบเกี่ยวกับส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้า

(1) จีโอโพลิเมอร์มอร์ต้า ประกอบด้วยจีโอโพลิเมอร์เฟสท์และมวลรวมปริมาณของมวลรวมในจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้า สามารถพิจารณาและใช้เช่นเดียวกับมอร์ต้าโดยประมาณ จีโอโพลิเมอร์เฟสท์ เป็นตัวกำหนดคุณภาพ โดยเฉพาะกำลังรับแรงของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้า ทำการปรับความเข้มข้นของสารละลายสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงในตารางที่ 1

(2) ทำการหล่อตัวอย่างขนาด 5 × 5 × 5 เซนติเมตร บ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °ซ ที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน

(3) ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ ที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน

ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ผลการทดลองคุณสมบัติเบื้องต้น

จากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นพบว่า

- 1.1 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 3.14
- 1.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมซีเมนต์มอร์ต้าเท่ากับ 195 กรัม
- 1.3 ความถ่วงจำเพาะของดินขาวที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 2.69
- 1.4 ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 2.54
- 1.5 ความถ่วงจำเพาะของทรายละเอียดที่ใช้ทดสอบแยกเป็น
 - (ก) ความถ่วงจำเพาะแห้งเท่ากับ 1.87
 - (ข) ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวแห้งเท่ากับ 2.12
 - (ค) ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏเท่ากับ 2.5
 - (ง) ร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 13.8
- 1.6 โมดูลัสความละเอียดของทรายที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 1.94

2. ลักษณะเนื้อของจีโอโพลิเมอร์

จากการที่ได้ทดลองผสม ซีเมนต์มอร์ต้าสามารถผสมได้ง่าย ไม่มีปัญหาในการผสม การนำลงแบบสามารถทำได้ง่ายและในการผสมจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวดังแสดงในรูปที่ 2 และเถ้าลอยแสดงในรูปที่ 3 แยกตามอัตราส่วนดังนี้

- อัตราส่วน 1:0.25:0.25 เนื้อมีความยุ่ยมากผสมยากต้องใช้มือในการผสม
- อัตราส่วน 1:0.125:0.125 เนื้อไม่สามารถจับตัวกันได้ผสมยาก ก่อตัวไว้มาก
- อัตราส่วน 1:0.5:0.5 เนื้อผสมง่าย ค่อนข้างเหลว แต่เนื้อเข้ากันได้ดี
- อัตราส่วน 1:1:1 เนื้อเหลวมาก และไม่สามารถกระทุ้งได้ ก่อตัวข้ามาก

จีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอยสามารถแบ่งตามอัตราส่วนดังนี้

- อัตราส่วน 1:0.25:0.25 เนื้อมาก ผสมยากและก่อตัวไว้มาก
- อัตราส่วน 1:0.125:0.125 เนื้อไม่สามารถจับตัวกันได้ ยู่ ผสมยาก
- อัตราส่วน 1:0.5:0.5 เนื้อผสมง่าย เหลว เทลงแบบง่าย ก่อตัวเร็ว
- อัตราส่วน 1:1:1 เนื้อเหลวมากเทลงแบบง่ายไม่สามารถกระทุ้งได้



รูปที่ 1 เนื้อของซีเมนต์มอร์ต้า



2-1 ซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวอัตราส่วน 1:0.125:0.125



2-2 ซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวอัตราส่วน 1:0.25:0.25



2-3 ซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวอัตราส่วน 1:0.5:0.5



2-4 ซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวอัตราส่วน 1:1:1

รูปที่ 2 เนื้อของซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวที่อัตราส่วน ต่าง ๆ



3-1 ซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าแก้วอัตราส่วน 1:0.125:0.125



3-2 ซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าแก้วอัตราส่วน 1:0.25:0.25



3-3 ซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าแก้วอัตราส่วน 1:0.5:0.5



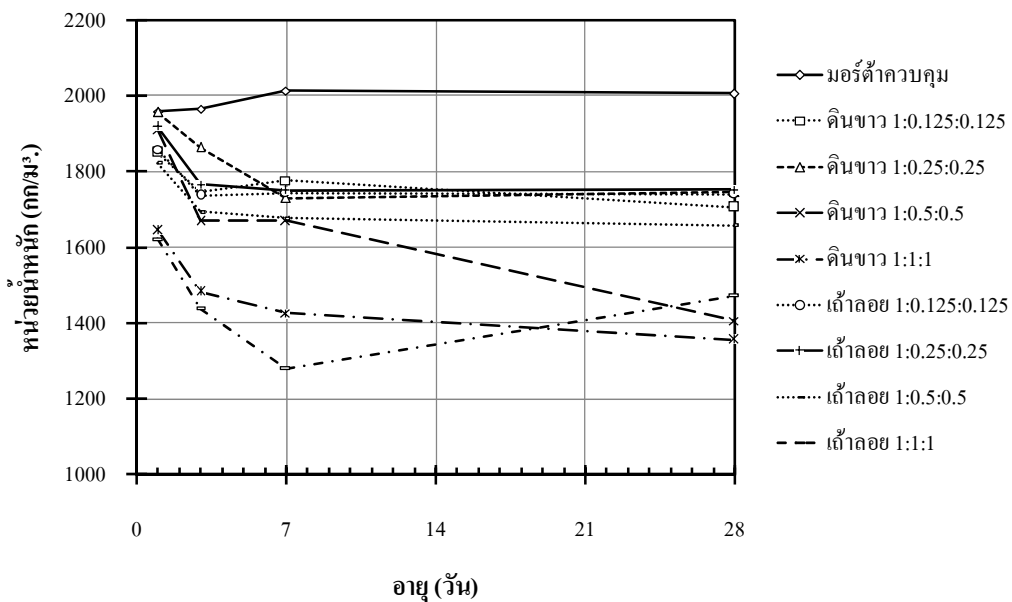
3-4 ซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าแก้วอัตราส่วน 1:1:1

รูปที่ 3 เนื้อของซีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าแก้วที่อัตราส่วน ต่าง ๆ

3. หน่วยน้ำหนักของซีอิโพลีเมอร์

ตารางที่ 2 แสดงหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้า , จีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาว และ จีโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอย

วัสดุ	อัตราส่วน	หน่วยน้ำหนัก (กก/ม ³)			
		อายุ 1 วัน	อายุ 3 วัน	อายุ 7 วัน	อายุ 28 วัน
ซีเมนต์มอร์ต้า		1959	1965	2014	2006
	1:0.125:0.125	1850	1747	1776	1706
จีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาว	1:0.25:0.25	1957	1864	1730	1746
	1:0.5:0.5	1910	1669	1669	1406
	1:1:1	1645	1483	1426	1356
จีโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอย	1:0.125:0.125	1859	1736	1744	1741
	1:0.25:0.25	1918	1766	1750	1752
เถ้าลอย	1:0.5:0.5	1822	1693	1677	1658
	1:1:1	1621	1438	1280	1472

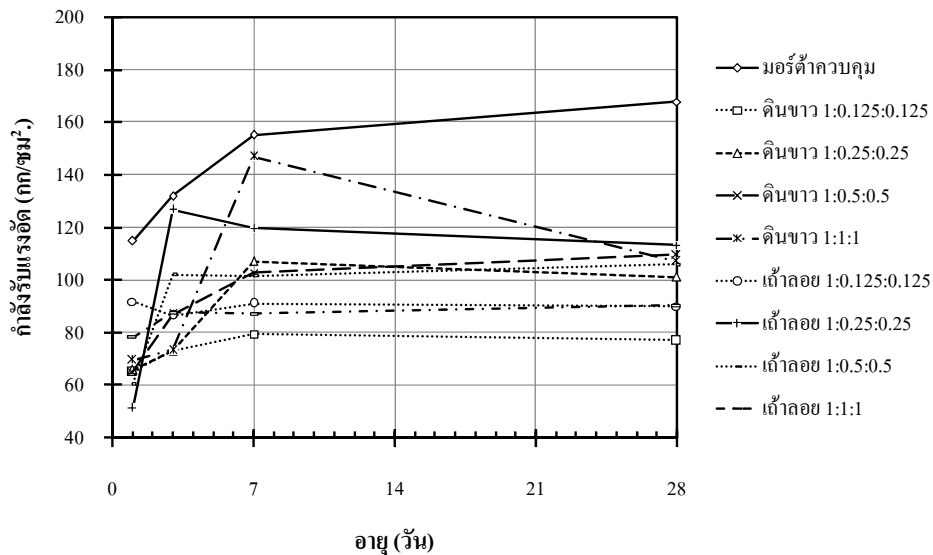


รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างหน่วยน้ำหนักและระยะเวลาระหว่างซีเมนต์มอร์ต้า , จีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาว, จีโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอย ที่อายุ 1 ,3 ,7 ,28 วัน

จากตารางที่ 2 และ รูปที่ 4 หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้า , จีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวและจีโพลิเมอร์เถ้าลอยแตกต่างจากซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้ควบคุมมีหน่วยน้ำหนักมากที่สุดในทุกอายุวัน หน่วยน้ำหนักเมื่ออายุมากกว่า 7 วันแนวโน้มจะคงที่หรือมีค่าลดลงจากการระเหยของน้ำจากการบ่มในอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานและที่ส่วนผสม 1:1:1 ในทุกอัตราส่วนผสมมีค่าหน่วยน้ำหนักต่ำ

ตารางที่ 3 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า, จีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาว และ จีโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอย

วัสดุ	อัตราส่วน	กำลังรับแรงอัด (กก/ซม ²)			
		อายุ 1 วัน	อายุ 3 วัน	อายุ 7 วัน	อายุ 28 วัน
ซีเมนต์มอร์ต้า		114.88	131.98	155.1	167.78
	1:0.125:0.125	65.1	73.05	79.37	77.04
จีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาว	1:0.25:0.25	65.76	73.07	107.09	101.2
	1:0.5:0.5	65.2	87.03	102.78	109.57
	1:1:1	69.63	73.37	146.94	107.14
จีโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอย	1:0.125:0.125	91.79	86.43	90.98	90.01
	1:0.25:0.25	51.29	126.84	119.58	113.3
เถ้าลอย	1:0.5:0.5	60.69	102.01	101.54	106.02
	1:1:1	78.32	87.64	87.06	90.43



รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำลังรับแรงอัดและระยะเวลาระหว่างซีเมนต์มอร์ต้า, จีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาว, จีโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอย ที่อายุ 1, 3, 7, 28 วัน

4 ผลทดสอบกำลังรับแรงอัด

การวิเคราะห์ผลจากการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าที่อายุ 1 วัน กำลังรับแรงอัดของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวเถ้าลอยมีค่าไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าแตกต่างกันร้อยละ 40 ที่อายุ 3 วัน กำลังรับแรงอัดของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอยที่อัตราส่วน 1:0.25:0.25 สูงขึ้นมากและยังให้ค่าแตกต่างจากซีเมนต์มอร์ต้าเมื่อเปรียบเทียบแล้วแตกต่างกันร้อยละ 32 ที่อายุ 7 วัน กำลังรับแรงอัดของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวที่อัตราส่วน 1:1:1 สูงขึ้นมากแต่ก็ยังน้อยกว่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วแตกต่างกันร้อยละ 32 ที่อายุ 28 วัน กำลังรับแรงอัดของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวและเถ้าลอยมีค่าใกล้เคียงกันแต่กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มเปรียบเทียบกันแล้วแตกต่างกันร้อยละ 40 โดยรวมซีเมนต์มอร์ต้าก็ให้กำลังดีกว่า อาจเป็นผลเนื่องจากส่วนผสมที่ยังไม่ดีพอและความเข้มข้นของสารละลายที่มีค่าต่ำรวมถึงความสามารถในการทำงานของซีเมนต์มอร์ต้าอีกด้วย

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาค้นคว้าและการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า

1. จากการผสมซีเมนต์มอร์ต้า , จีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวและเถ้าลอยเมื่อนำทั้ง 3 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบเนื้อส่วนผสมจะเห็นได้ว่าเนื้อของซีเมนต์มอร์ต้าสามารถผสมได้ง่ายเข้ากันได้ดีและเนื้อของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวและเถ้าลอยที่อัตราส่วน 1:0.125:0.125 ผสมได้ยาก เนื้อมีลักษณะยุ่ย จับตัวกันได้ยากแต่ที่อัตราส่วน 1:0.5:0.5 เนื้อของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวและเถ้าลอย ผสมง่ายเข้ากันได้ดี เพราะปริมาณน้ำพอเหมาะกับอัตราส่วนผสมนี้
2. จากก้อนตัวอย่างที่หล่อเรียบร้อยแล้วจะเห็นได้ว่า ก้อนของซีเมนต์มอร์ต้ามีความสมบูรณ์มากและรูปร่างสวยงามส่วนก้อนตัวอย่างจีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวที่อัตราส่วน 1:0.5:0.5 ด้านข้างของตัวอย่างไม่สมบูรณ์เนื่องจากเนื้อบางส่วนติดแบบ
3. หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ต้าสูงสุดอยู่ที่ 2014 กก./ม³. ที่อายุ 7 วัน หน่วยน้ำหนักของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าเถ้าลอยสูงสุดที่ 1918 กก./ม³. ที่อัตราส่วน 1:0.25:0.25 และที่อายุ 1 วัน และหน่วยน้ำหนักของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวสูงสุด 1957 กก./ม³. ที่อัตราส่วน 1:0.25:0.25 และที่อายุ 1 วัน
4. จากการได้ทดสอบกำลังรับแรงอัดซึ่งซีเมนต์มอร์ต้ามีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุดอยู่ที่ 167.78 กก./ซม².ที่อายุ 28 วัน และกำลังรับแรงอัดของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าดินขาวกำลังรับแรงอัดสูงที่สุดอยู่ที่ 146.94 กก./ซม².อัตราส่วนผสม 1 : 1 : 1 ที่อายุ 7 วัน และกำลังรับแรงอัดของจีโพลิเมอร์มอร์ต้า เถ้าลอยกำลังรับแรงอัดสูงที่สุดอยู่ที่ 126.84 กก./ซม².อัตราส่วนผสม 1 : 0.25 : 0.25 ที่อายุ 3 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณย่าแปลก เหมือนบัว และผู้ประเมินบทความ ซึ่งให้ข้อคิดเห็นและความรู้แก่ผู้เขียนบทความเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณคณะบุคคลเหล่านี้ที่ช่วยให้บทความนี้มีความสมบูรณ์ ผศ.กุลธิดา บรรจงศิริ และผศ. วราธร แก้วแสง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ประกอบด้วย นายกรกฎ สีนุญเรือง, นายกิตติ เนาวแสงศรี, นายรัตนพล นิลเหลือง และนายรุ่งเรือง เกตุเอี่ยม

เอกสารอ้างอิง

- นายกรกฎ สีนุญเรืองและคณะ.2549.การศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของจีโพลิเมอร์มอร์ต้าระหว่าง **เถ้าลอยและดินขาว**, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์
- เกียรติศักดิ์ จันทร์ศรีคง และคณะ.2548. **อิทธิพลของต่าง, อุณหภูมิผสม และอุณหภูมิบ่มของมอร์ต้าที่ทำจากเถ้าถ่านหิน**, ปรินูญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ประวิทย์ ศิโยธีและคณะ.2548. **กำลังอัดของจีโพลิเมอร์คอนกรีต**, ปรินูญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ