

## การศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์ที่ผสมด้วยขยะหลอดพลาสติก

### A STUDY ON PROPERTIES OF MORTAR MADE FROM PLASTIC STRAW WASTE

สรวิศ เอี่ยมอัมภัก<sup>1,\*</sup>, ภัม เหนือคลอง<sup>2</sup>, พิชชา จอจวิวัฒน์สกุล<sup>3</sup>, พรเพ็ญ ลิ้มปนิลชาติ<sup>4</sup>, ทศพร ประเสริฐศรี<sup>5</sup> และ สุขเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง<sup>6</sup>

<sup>1,2,3</sup> หน่วยงานปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

<sup>4</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม

<sup>5</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.กรุงเทพฯ

<sup>6</sup> ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางวิศวกรรมนิเทศน์และธรณีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ. กรุงเทพฯ

\*Corresponding author address: 6170490021@student.chula.ac.th

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันจำนวนขยะพลาสติกที่มีมากขึ้นจากการบริโภคมีมากขึ้นโดยเฉพาะขยะพลาสติกที่ใช้ครั้งเดียวทิ้งนั้นก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำขยะจากหลอดพลาสติกมาใช้ทดแทนมวลรวมละเอียดในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์และจีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ โดยแทนที่ทรายธรรมชาติในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด การทดสอบประกอบด้วย ความสามารถในการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และ กำลังรับแรงดึง ผลการทดสอบถูกนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีขยะพลาสติก จากผลการศึกษาพบว่าการใช้ขยะจากหลอดพลาสติกแทนที่ทรายธรรมชาติทำให้สมบัติทางกลของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์มีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม การใช้ขยะจากหลอดพลาสติกมาใช้แทนที่มวลรวมละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยปริมาตร สามารถช่วยพัฒนา กำลังรับแรงดึงของจีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ได้เล็กน้อย

**คำสำคัญ:** ขยะพลาสติกรีไซเคิล, ขยะหลอดพลาสติก, มอร์ตาร์, จีโพลิเมอร์

#### Abstract

Presently, an increase of plastic wastes from the consumption of plastic products, especially the single-use plastics causes a serious environmental problem. The objective of this research is to use plastic straw waste as the fine aggregate replacement in cement mortar and geopolymer mortar. The plastic straw waste was used to replace the natural sand at the levels of 5, 10, and 15 percent by volume of the fine aggregate. The testing consisted of mortar fluidity, compressive strength, flexural strength, and direct tensile strength. The test results were compared with the control samples made without the plastic waste. The results show that replacing of natural sand by plastic straw waste can reduce the mechanical properties of Portland cement mortar. However, using plastic straws as fine aggregate replacement by 5 percent slightly increased flexural strength of geopolymer mortar.

**Keywords:** Recycle plastic waste, Plastic straw waste, Mortar, Geopolymer

#### 1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อโลกล้วนเกิดจากฝีมือมนุษย์ โดยเฉพาะปัญหาด้านขยะพลาสติก เนื่องจากพลาสติกเป็นโพลิเมอร์อินทรีย์สังเคราะห์หรือกึ่งสังเคราะห์ที่มีราคาถูก น้ำหนักเบา แข็งแรง ทนทานและทนต่อการกัดกร่อน การบริโภคพลาสติกอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรม ทำให้เกิดขยะจากการใช้พลาสติกเป็นจำนวนมาก ผลที่ตามมาคือ มี

ขยะพลาสติกที่ไม่ถูกจัดการอย่างถูกต้องปล่อยลงสู่มหาสมุทรจำนวนมาก ขยะพลาสติกมีแนวโน้มที่จะแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ และจะแตกตัวลงน้ำไปอีกเมื่อสัมผัสกับรังสียูวีทั้งภายใต้แสงแดดโดยตรงหรือในทะเล อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้สำหรับการย่อยสลายพลาสติกอย่างสมบูรณ์ในสภาพแวดล้อมทางทะเลยังไม่ทราบแน่ชัดจากการศึกษาของ Wai-chin Li [1] เมื่อเศษพลาสติกเข้าสู่สิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องยากที่จะย่อยสลายทางชีวภาพและมีเพียงเศษ

เล็กเศษน้อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ ยังคงอยู่ในสภาพแวดล้อมเนื่องจากการใช้งานที่ยาวนานและความต้านทานต่อการกัดกร่อน

จากข้อมูลการรายงานของ คณะอนุกรรมการบริหารจัดการขยะพลาสติก [2] การบริโภคที่ทำให้เกิดขยะพลาสติกในปี พ.ศ. 2560 ปริมาณขยะพลาสติกประเภทหลอดพลาสติก 3,873 ตัน ซึ่งขยะพลาสติกใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง จากปัญหาข้างต้นพบว่าขยะพลาสติกบางชนิดไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำ หรือไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นปัญหาอย่างยิ่งในการจัดการ ปัจจุบันการจัดการกับขยะพลาสติกนิยมจัดการโดยการฝังกลบหรือเผา แต่ปริมาณขยะหลอดพลาสติกกำจัดที่ถาวรวิธีนั้นมีน้อยมาก การศึกษาของ Jambeck et al. [3] พบว่าแม้ประเทศไทยจะมีประชากรเพียง 65 ล้านคน แต่กลับเป็นประเทศที่ปล่อยขยะลงสู่ทะเลเป็นอันดับที่ 6 ของโลก ทำให้ตระหนักได้ว่าจัดการปัญหาเกี่ยวกับขยะอย่างถูกต้องและยั่งยืนเป็นเรื่องจริงจังและเร่งด่วน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการจัดการขยะจากหลอดพลาสติก และจากผลการศึกษาของ Boonniteewanich [4] พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกมาในวัฏจักรชีวิตของหลอดพลาสติก โดยการคำนวณแบบคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า จะมีค่ามากที่สุดอยู่ในขั้นตอนการกำจัดด้วยการเผาและฝังกลบ มีค่า 3.245 และ 2.449 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งถือเป็นสัดส่วนร้อยละ 66.67 และ 60.32 ของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการกำจัดหลอดพลาสติกในปัจจุบันมีต้นทุนการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนที่สูง

วัสดุจีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุชนิดที่ได้มาจากการสังเคราะห์วัสดุปอซโซลาน อาทิเช่น เถ้าลอย เถ้าแกลบ หรือตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น โดยขบวนการผลิตวัสดุจีโอโพลิเมอร์จะได้รับการนำวัสดุปอซโซลาน มาทำปฏิกิริยากับสารละลายที่มีความเป็นด่างที่นิยมใช้ เช่น สารละลายโซเดียมซิลิเกต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) และ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) จากนั้นนำเข้าสู่ขบวนการทางความร้อนเพื่อให้เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะได้วัสดุใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานคล้ายกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป จากงานวิจัยของ Guo et al. [5] พบว่า วัสดุจีโอโพลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอย Class C (แบ่งตามมาตรฐาน ASTM C618) [6] เมื่อนำมาทำการทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน พบว่าความสามารถในการรับกำลังอัดเท่ากับ 63.4 MPa ซึ่งถือว่ามีความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ นอกจากนี้การใช้เถ้าลอยในส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์เพื่อทดแทนวัสดุประสานที่ได้จากปูนซีเมนต์จะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสามารถประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ได้ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาคุณสมบัติทางกลและความทนทานของวัสดุจาก

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และวัสดุจีโอโพลิเมอร์ที่ใช้ขยะหลอดพลาสติกมาทดแทนมวลรวมละเอียด

## 2. วัสดุและวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 2.1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัสดุหลักซึ่งประกอบด้วย มวลรวม ได้แก่ ทรายธรรมชาติ และวัสดุทดแทนมวลรวมละเอียดจากหลอดพลาสติก และวัสดุประสาน ได้แก่ เถ้าลอย (Fly ash) สารละลายโซเดียมซิลิเกต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) เพื่อเป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน [7] โดยที่รายละเอียดของวัสดุมีดังนี้

1) เถ้าลอยแคลเซียมสูงที่ใช้ในการสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตมาจากโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ตั้งอยู่ ณ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีแสดงในตารางที่ 1 และมีค่า Loss on ignition (LOI) เท่ากับ 1.83%

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยที่ใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณ (%)
$\text{SiO}_2$	30.0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16.3
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	11.8
$\text{K}_2\text{O}$	2.1
CaO	20.7
$\text{Na}_2\text{O}$	1.7

2) สารละลายโซเดียมซิลิเกต (NS) ที่มีองค์ประกอบ  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{SiO}_2$  เท่ากับ 4.5%, 55.3% และ 30.0% ตามลำดับ

3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ที่มีความเข้มข้น 10 โมลาร์

4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

5) มวลรวมละเอียดแห้งในอากาศ (Air Dry) สำหรับทุกส่วนผสมจะใช้ทรายแม่น้ำที่มีขนาดละเอียด และใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายเท่ากับ 1 ต่อ 2.75 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C109 [8]

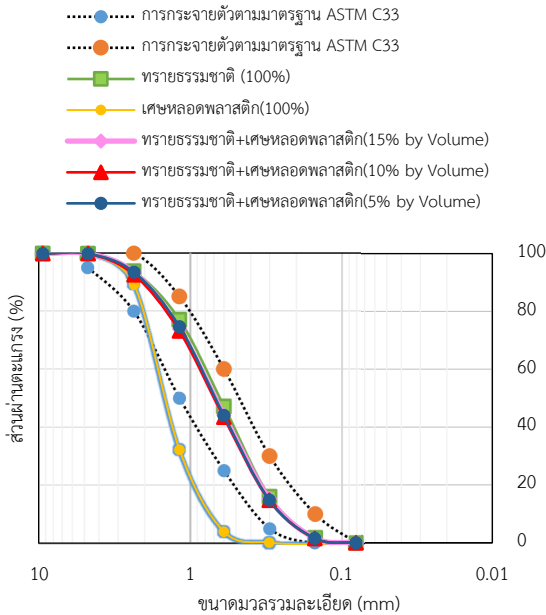
6) หลอดพลาสติกบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.76 มิลลิเมตร) ดังรูปที่ 1 และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 2



รูปที่ 1 หลอดพลาสติกบดละเอียด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของมวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียด	ความ ถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสความ ละเอียด (FM)
ทรายธรรมชาติ	2.57	2.64
หลอดพลาสติก บดละเอียด	0.86	3.75



รูปที่ 2 การกระจายตัวของทรายธรรมชาติและหลอดพลาสติกบดละเอียด

การกระจายตัวของทรายธรรมชาติและหลอดพลาสติกบดละเอียด ได้แสดงในรูปที่ 2 จากผลการทดสอบการกระจายตัวของมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33 [9] พบว่าหลอด

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของมอร์ต้าที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนผสม	ปอร์ตแลนด์		มวลรวมละเอียด		NS (g)	NH (g)	น้ำ (g)
	ซีเมนต์ (g)	เถ้าลอย (g)	ทราย (g)	หลอดพลาสติก (g)			
C-P0	100	-	275	0	-	-	60
C-P5	100	-	261.25	4.98	-	-	60
C-P10	100	-	247.5	9.96	-	-	60
C-P15	100	-	233.75	14.94	-	-	60
G-P0	-	100	275	0	35	35	-
G-P5	-	100	261.25	4.98	35	35	-
G-P10	-	100	247.5	9.96	35	35	-
G-P15	-	100	233.75	14.94	35	35	-

พลาสติกบดละเอียด มีคุณสมบัติการกระจายตัวไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 แต่เมื่อนำมวลรวมทั้งสองชนิดมาผสมกันในปริมาณที่ต้องการศึกษาจะพบว่า ทรายธรรมชาติที่ถูกแทนที่ด้วยพลาสติกบดละเอียด ในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร มีการกระจายตัวของมวลรวมละเอียดการกระจายตัวที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมากเนื่องจากหลอดมีความถ่วงจำเพาะที่ต่ำกว่าทรายมาก รวมทั้งการแทนที่ในอัตราส่วนที่น้อย ส่งผลให้อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C33

## 2.2. สัดส่วนการผสมและวิธีการผลิต

งานวิจัยนี้การศึกษาอิทธิพลของการใช้หลอดพลาสติกในการแทนที่มวลรวมละเอียดทั้งในจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์และปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ต้าร์ โดยใช้หลอดพลาสติกในการแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร โดยแสดงในตารางที่ 3 ในการผสมจะใช้อัตราส่วนในระหว่างน้ำต่อปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 สำหรับจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์ใช้อัตราส่วนระหว่าง Activator (โซเดียมซิลิเกต + โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อ เถ้าลอย เท่ากับ 0.7 เนื่องจากควบคุมอัตราการไหลของส่วนผสมเท่ากับ  $110 \pm 5\%$  ตามมาตรฐาน ASTM C109 [8]

## 2.3. การทดสอบ

สมบัติของมอร์ต้าร์ที่ทำการทดสอบได้แก่ ความสามารถในการไหลผ่าน กำลังอัด กำลังค้ำ และกำลังดึงของมอร์ต้าร์

### 2.3.1 ความสามารถในการไหลผ่านของมอร์ต้าร์

ทดสอบความสามารถในการทำงานได้ของมอร์ต้าร์จากความสามารถไหลผ่าน (Flow) ตามมาตรฐาน ASTM C1437 [10]

### 2.3.2 กำลังอัด

ทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C109 [8] โดยใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 ซม. ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

### 2.3.3 กำลังดัด

ทดสอบความสามารถในการรับกำลังดัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C348 [11] ซึ่งในการทดสอบได้ใช้ตัวอย่างขนาดหน้าตัด 4x4 ซม. ยาว 16 ซม. ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตัวอย่างถูกกดในลักษณะการกดที่จุดแบ่งสาม (Third point loading) โดยมีระยะค้ำยันเท่ากับ 12 ซม.

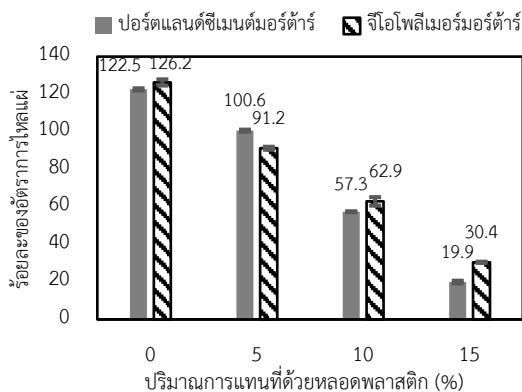
### 2.3.4 กำลังดึง

ทดสอบความสามารถในการรับกำลังดึงของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C190 [12] โดยใช้ตัวอย่างในการทดสอบรูปทรงบริคเวท ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

## 3. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

### 3.1. ความสามารถในการทำงานได้

รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบความสามารถในการทำงานได้ของมอร์ตาร์ที่ใช้ทรายธรรมชาติและหลอดพลาสติกบดละเอียด โดยวัดค่าการไหลผ่านตามมาตรฐาน ASTM C1437 เมื่อทรายธรรมชาติถูกแทนที่ด้วยหลอดพลาสติกบดละเอียดร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร พบว่าความสามารถในการทำงานได้ของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ และจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีค่าลดลงเมื่อแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยพลาสติกมากขึ้น โดยเฉพาะส่วนผสมที่แทนที่ทรายธรรมชาติด้วยหลอดบดละเอียดร้อยละ 15 โดยปริมาตร พบว่ามีอัตราการไหลผ่านที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น ๆ โดยมีค่าร้อยละของอัตราการไหลผ่านเท่ากับ 19.90 และ 30.44 ตามลำดับ

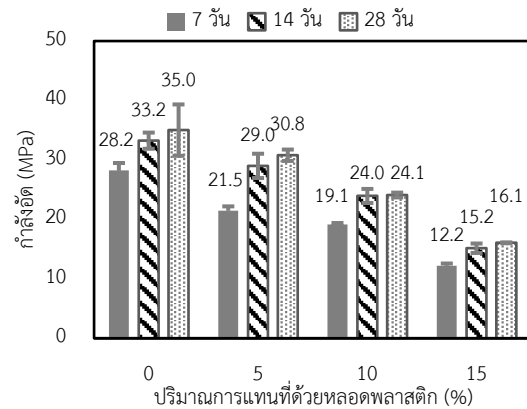


รูปที่ 3 ค่าการไหลผ่านของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์และจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

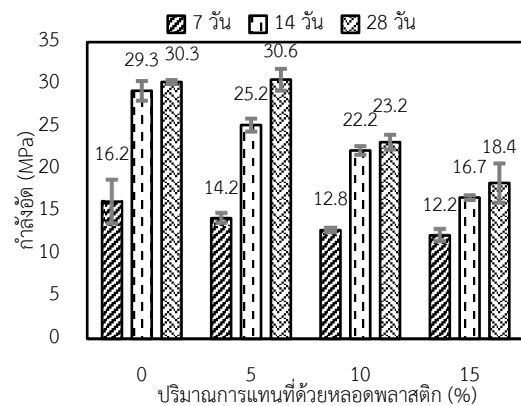
### 3.2. กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้ทรายธรรมชาติและหลอดพลาสติกบดละเอียดที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน แสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าในทุกอายุการบ่มเมื่อส่วนผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์มีการใช้หลอดพลาสติกบดละเอียดแทนที่ทรายธรรมชาติมากขึ้น ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน แสดงในรูปที่ 5 จะสรุปสามารถสังเกตเห็นได้ว่าที่อายุการบ่มที่ 7 วันกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ใช้หลอดพลาสติกแทนที่ทรายธรรมชาติในอัตราส่วน 0% (G-P0), 5% (G-P5), 10% (G-P10) และ 15% (G-P15) โดยปริมาตร มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 16.2 MPa, 14.2 MPa, 12.8 MPa และ 12.2 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการแทนที่ทรายธรรมชาติมากขึ้นกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

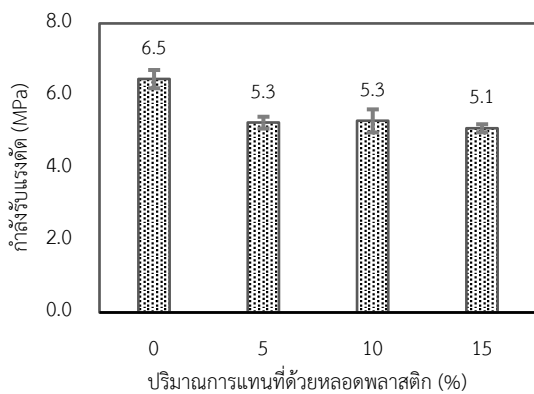


รูปที่ 5 กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

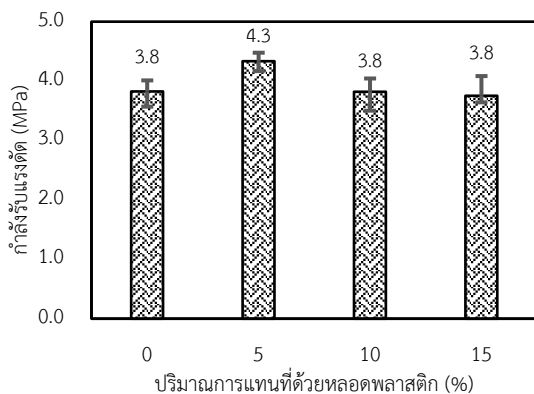
แต่อย่างไรก็ตามหลังจากที่ตัวอย่างมีอายุการบ่ม 28 วัน พบว่า จีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ในส่วนผสม G-P0, G-P5, G-P10 และ G-P15 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 30.3 MPa, 30.6 MPa, 23.2 MPa และ 18.4 MPa ตามลำดับ ซึ่งพบว่าส่วนผสม G-P5 มีกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับ G-P0 สำหรับส่วนผสม G-P10 และ G-P15 มีกำลังรับแรงอัดที่ลดลงเมื่อมีการแทนที่ทรายธรรมชาติมากขึ้น

### 3.3. กำลังรับแรงดัด

รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้ทรายธรรมชาติและหลอดพลาสติกบดละเอียดที่อายุบ่ม 28 วัน จะเห็นได้ว่าพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้หลอดพลาสติกแทนที่ทรายธรรมชาติในส่วนผสม G-P0, G-P5, G-P10 และ G-P15 มีกำลังรับแรงดัดที่ลดลงเมื่อการใช้หลอดพลาสติกบดละเอียดแทนที่ทรายธรรมชาติ แต่เมื่อมีการแทนที่มากขึ้นกำลังรับแรงดัดแทบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 6 กำลังรับแรงดัดของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 28 วัน



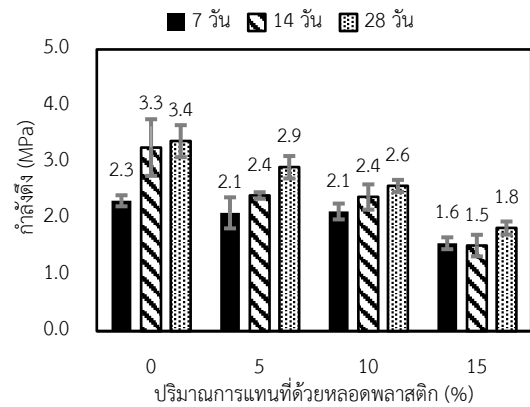
รูปที่ 7 กำลังรับแรงดัดของจีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 28 วัน

จากผลการทดสอบการรับกำลังดัดของจีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 28 วัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 7 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อมี

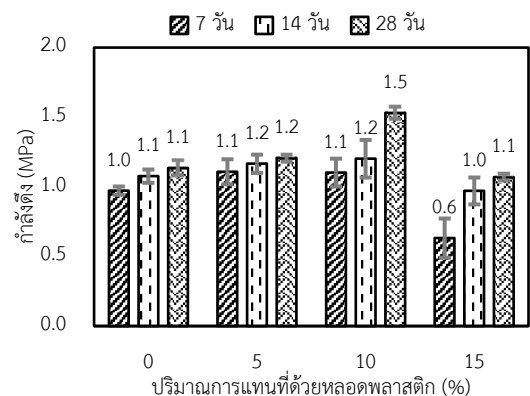
การใช้หลอดพลาสติกบดละเอียดแทนที่ทรายจีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ 5% ทำให้กำลังดัดมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับส่วนผสม G-P10 และ G-P15 มีกำลังรับแรงดัดที่ลดลงจากส่วนผสม G-P5 แต่ทั้งสองส่วนผสมนี้มีกำลังรับแรงดัดเท่ากับส่วนผสมควบคุม

### 3.4. กำลังรับแรงดึง

จากรูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้ทรายธรรมชาติและหลอดพลาสติกบดละเอียดที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน จะเห็นได้ว่ากำลังดึงของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ในทุกอายุการบ่มเมื่อมีการใช้หลอดพลาสติกบดละเอียดแทนที่ทรายธรรมชาติมากขึ้น ส่งผลให้กำลังรับแรงดึงของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ลดลงเช่นเดียวกับกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 8 กำลังรับแรงดึงของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน



รูปที่ 9 กำลังรับแรงดึงของจีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ผลการทดสอบการรับกำลังดึงของจีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน แสดงในรูปที่ 9 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่ากำลังรับแรงดึงของจีโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ใช้หลอดพลาสติก

แทนที่ทรายธรรมชาติในส่วนผสม G-P5, G-P10 และ G-P15 มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม G-P0 อย่างไรก็ตามกำลังดึง 7 วันของตัวอย่างที่แทนที่ทรายธรรมชาติร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

#### 4. สรุปผล

จากผลการทดสอบพบว่าค่าอัตราร้อยละการไหลผ่านของพอร์ตแลนดซีเมนต์มอร์ตาร์ และจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีค่าลดลงตามสัดส่วนของหลอดพลาสติกบดละเอียดที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของสมบัติทางกลของพอร์ตแลนดซีเมนต์มอร์ตาร์ พบว่าการใช้หลอดพลาสติกบดละเอียดแทนที่ทรายธรรมชาติทำให้สมบัติทางกลของพอร์ตแลนดซีเมนต์มอร์ตาร์มีค่าลดลง การที่นำหลอดพลาสติกมาแปรสภาพเป็นมวลรวมบดละเอียดและใช้ในพอร์ตแลนดซีเมนต์มอร์ตาร์จึงอาจเป็นเพียงทางเลือกในการช่วยจัดการขยะจากหลอดพลาสติกเท่านั้น อย่างไรก็ตาม พบว่าสมบัติทางกลของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ใช้หลอดพลาสติกแทนที่ทรายธรรมชาติร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงใกล้เคียงกับส่วนผสมควบคุม และมีกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สรุปได้ว่านอกจากการนำหลอดพลาสติกบดละเอียดมาใช้แทนที่เป็นทางเลือกในการช่วยจัดการขยะจากหลอดพลาสติกแล้ว การใช้อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 5 โดยปริมาตร ยังสามารถช่วยพัฒนาคุณสมบัติทางกลของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์อีกด้วย

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) – จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [Grant number B16F630071]

#### 6. การอ้างอิง

- [1] W.C. Li, H.F. Tse, L. Fok (2016). Plastic waste in the marine environment: a review of sources, occurrence and effects. *Sci. Total Environ.*, 566–567 (2016), pp. 333-349
- [2] คณะอนุกรรมการบริหารจัดการขยะพลาสติก. (2561). *ร่างแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก (2561-2580)*. เอกสารประกอบการประชุม วันที่ 26 ธันวาคม 2561
- [3] Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., and Law,

- K. L. (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Vol. 347, Issue 6223*, pp. 768-771).
- [4] Booniteewanich J., Pitivut S., Tongjy S., Lapnonkawow S., Suttiruengwong S. Evaluation of Carbon Footprint of Bioplastic Straw Compared to Petroleum based Straw Products. *Energy Procedia*, 2014, 56(C), 518-524
- [5] Guo, X., Shi, H., & Dick, W. A. (2010). Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymers. *Cement and Concrete Composites*, 32(2), 142-147.
- [6] American Society for Testing and Materials. (2012). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM C618-12. *Annual Book of ASTM Standards*, 4(2).
- [7] Zhuang, X. Y., Chen, L., Komarneni, S., Zhou, C. H., Tong, D. S., Yang, H. M., ... & Wang, H. (2016). Fly ash-based geopolymers: clean production, properties and applications. *Journal of Cleaner Production*, 125, pp. 253-267.
- [8] American Society for Testing and Materials. (2016). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. ASTM C109-16. *Annual Book of ASTM Standards*, 4(2).
- [9] American Society for Testing and Materials. (2003). Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM C33-03. *Annual Book of ASTM Standards*, 4(2).
- [10] American Society for Testing and Materials. (2015). Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. ASTM C1437-15. *Annual Book of ASTM Standards*, 4(2).
- [11] American Society for Testing and Materials. (2002). Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. ASTM C348-02. *Annual Book of ASTM Standards*, 4(2).
- [12] American Society for Testing and Materials. (1985). Standard Test Method for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars. ASTM C190-85. *Annual Book of ASTM Standards*, 4(2).