

## บล็อกปูถนนด้วยวัสดุทดแทนมวลละเอียด Renewable by Fine Aggregate in Block Cement

ณรงค์ เฉลิมวัฒน์ชัย<sup>1\*</sup>, วรพันธ์ แก้วพิทยาภรณ์<sup>1</sup>  
Narong Chalermwattanachai<sup>1\*</sup>, Worapan Kaewpitthayaporn<sup>1</sup>

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ ทุ่งมหาเมฆ สาทร์ กรุงเทพมหานคร 10120

Surveying Engineering , The Faculty of Engineering at Rajamangala University of Technology Krungthep

2, Nang Linchi Rd., Thung Maha Mek, Sathon, Bangkok, Thailand, 10120

\*Corresponding author. Tel.: +66 2287 9637, E-mail: ji\_doreamon@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตบล็อกปูถนนที่มีความแข็งแรง สามารถรับแรงกดได้และเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ โดยการหล่อแบบมอร์ต้า (Morta) ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ที่ใช้วัสดุทดแทนมวลละเอียดจำนวน 2 ชนิด คือ คอนกรีตมวลเบาบดละเอียดและผงแกรนิต นำมาผสมตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ โดยใช้ปริมาณวัสดุทดแทนมวลละเอียดร้อยละ  $\pm 10$  จำนวน 9 อัตราส่วน ใช้ระยะเวลาการบ่มคอนกรีต 7, 14 และ 28 วัน ระยะเวลาละ 30 ก้อน จากการเปรียบเทียบการใช้วัสดุทดแทนมวลละเอียดที่แตกต่างกัน ได้แก่ ททราย คอนกรีตมวลเบาบดละเอียดและผงแกรนิต ที่ขนาดและสภาวะการเตรียมเหมือนกัน พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ ต่อ ส่วนผสมระหว่างคอนกรีตมวลเบาบดละเอียดกับผงแกรนิต ต่อ น้ำที่ส่วนผสมระหว่างคอนกรีตมวลเบาบดละเอียดกับผงแกรนิต เท่ากับ 50 ต่อ 50 ใช้ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน รับกำลังอัดได้ 122.52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้เป็นบล็อกปูถนน

**คำสำคัญ:** บล็อกปูถนน วัสดุทดแทนมวลละเอียด มอร์ต้า คอนกรีตมวลเบา

### ABSTRACT

The purpose of this research is to produce a high strength street-paving block. It enables to Compression Strength and to take the waste material from laboratory to recycle being a new one by Mortar Mold (size 5x5x5 cm.). It is used to compensate the Replacement Material for Fine Aggregate for two type that are Powdered Lightweight Concrete and Granite Dust to mixed by the designed ratio (increase/decrease for 10 percentages of Replacement Material for Fine Aggregate) for nine ratio. The duration of curing concrete for all of the periods of time are 7, 14 and 28 days. That is each period in 30 block to compare each category of

Received	17-09-2018
Revised	06-12-2018
Accepted	06-12-2018

Replacement Material for Fine Aggregate which is Powdered Lightweight Concrete and Granite Dust (only) for 3 samples by Mortar Mold and period of time at the same time. This is found that the ratio between cement : Powdered Lightweight Concrete mixed with the Granite Dust : water with a ratio percentage of Powdered Lightweight Concrete against the Granite Dust to be 50 : 50. It can be Compression strength to be 122.52 ksc. At 28 days curing time is most suitable for street-paving.

**Keywords:** Street-paving block, Replacement Material for Fine Aggregate, Mortar,

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ และอื่น ๆ จะเรียกว่า อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งจะประกอบด้วยคอนกรีตและเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก เพื่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบและตอบสนองต่อการใช้ประโยชน์ของอาคารนั้น ๆ ซึ่งภายในอาคารจะถูกแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ตามพื้นที่ใช้สอยตามความต้องการของเจ้าของพื้นที่ โดยการนำวัสดุชนิดนี้มากันเป็นสัดส่วน เรียกว่าผนังกันห้องหรือกำแพง ซึ่งวัสดุชนิดนั้น คือ อิฐมวลเบา หรืออิฐมวลเบา (คอนกรีตมวลเบา) และในอุตสาหกรรมก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก นิยมใช้คอนกรีตมวลเบาในการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ได้ถูกคิดค้นขึ้นถึงความก้าวหน้าของวัสดุก่อสร้าง ส่วนใหญ่จะใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันเสียง เหมาะสำหรับงานประเภทหอพักงานประเภทที่พักอาคารชุดงานอาคารบ้านเรือนทั่วไป สำนักงาน เป็นต้น คอนกรีตมวลเบาสามารถป้องกันความร้อน หนไฟได้ดีกว่าอิฐมวลเบา สามารถติดตั้งขึ้นรูปทรงได้ง่ายกว่า นอกจากนี้คอนกรีตมวลเบา มีน้ำหนักเบา สามารถก่อได้อย่างรวดเร็วประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการก่อสร้าง



ภาพที่ 1 อาคารพาณิชย์ที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตมวลเบา

เมื่อมีการปรับปรุงหรือซ่อมแซมอาคารใหม่ โดยการขยายหรือลดพื้นที่ใช้สอยหรือจัดรูปแบบแผนผังใหม่ จำเป็นต้องการรื้อถอนหรือทุบผนังห้องออก (คอนกรีตมวลเบา) ทำให้กลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ไร้ประโยชน์ การรับแรงอัด (แรงกด) ลดลง ทั้งนี้พบว่า จะมีปัญหาเรื่องการหาสถานที่ในการทิ้งอย่างมาก จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งจากการใช้ประโยชน์ (คอนกรีตมวลเบา ที่ถูกรื้อถอนแล้ว) นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับค่าแรงอัด (แรงกด) โดยการเพิ่มวัสดุบางชนิด (วัสดุมวลละเอียด) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการรับแรงอัด (แรงกด) และจัดทำเป็นบล็อกปูถนนขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ที่มีความแข็งแรงสามารถรับแรงกดได้และเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยเกิดความสนใจ และมีแนวความคิดที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งนำมาใช้ใหม่ (คอนกรีตมวลเบา) โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งมาบดละเอียดและผสมกับวัสดุบางชนิด เพื่อเพิ่มกำลังความแข็งแรงและลดมวลละเอียด (ทราย) หรืออาจจะทดแทนมวลละเอียดก็ได้ และเพื่อเป็นการผลิตบล็อกปูถนนที่มีความแข็งแรงสามารถรับแรงกดได้ และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของคอนกรีตมวลเบาจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาความแข็งแรงของมอร์ต้า (กำลังอัดของมอร์ต้า) ต้องสามารถรับแรงกดได้มากที่สุดตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งการที่จะทำ ให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและสามารถรับแรงอัดได้มากจะต้องมีการเตรียมการก่อนล่วงหน้า ดังนี้

2.1.1 การออกแบบหาค่า w/c [1] (ปริมาณน้ำต่อปริมาณคอนกรีต) เพื่อทดสอบหาความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า คือ วัดการกระจายตัวของมอร์ต้าบนโต๊ะควบคุมการไหล (Flow Table) สำหรับการวิจัยครั้งนี้จะต้องออกแบบค่าต่าง ๆ ให้สอดคล้องกัน กล่าวคือ การทดสอบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ (Compressive Strength of Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM C-109 ผสมมอร์ต้า ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน โดยน้ำหนักกับทราย มาตรฐานฮอตตาว่า (Ottawa Sand) 2.75 ส่วนค่า Water Cement Ration (w/c) เท่ากับ 0.485 สำหรับค่า w/c ที่ใช้ในงานวิจัย คือ 0.485 แต่เนื่องจากการทดสอบ ต้องมีการวัดการกระจายของปูนซีเมนต์มอร์ต้าบนโต๊ะควบคุมการไหล [2] อยู่ในขอบเขตที่กำหนดคือประมาณ 110%-115% ของเส้นผ่านศูนย์กลางเดิม จึงได้ออกแบบค่า w/c ให้ครอบคลุมจากที่กำหนดเป็น 0.45 0.485 และ 0.550 (ดังตารางที่ 3.1) จากการ

ที่ผู้วิจัยกำหนดค่า w/c เท่ากับ 0.485 นั้นเพราะต้องการทดสอบดูว่าการกระจายตัวอยู่ในช่วง 110%-115% หรือไม่ (เฉพาะทราย) ส่วนคอนกรีตมวลเบา ใช้ค่า W/C เท่ากับ 1.81 และผงหินแกรนิต ใช้ค่า W/C เท่ากับ 1.04

ตารางที่ 1 ค่า w/c และปริมาณวัสดุทดสอบ (ทราย) ที่ออกแบบ

ที่	ค่า w/c	ปริมาณวัสดุ (กรัม)		
		ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ
1	0.450	740	2,035	333.00
2	0.485	740	2,035	358.90
3	0.550	740	2,035	407.00

ตารางที่ 2 ค่า w/c และปริมาณวัสดุทดสอบ (คอนกรีตมวลเบา) ที่ออกแบบ

ที่	ค่า w/c	ปริมาณวัสดุ (กรัม)		
		ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ
1	1.46	740	2,035	1265.70
2	1.95	740	2,035	1410.00

ตารางที่ 3 ค่า w/c และปริมาณวัสดุทดสอบ (ผงแกรนิต) ที่ออกแบบ

ที่	ค่า w/c	ปริมาณวัสดุ (กรัม)		
		ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ
1	0.890	740	2,035	666.00
2	0.970	740	2,035	720.10
3	1.200	740	2,035	888.30

2.1.2 การออกแบบส่วนผสม คือ วัสดุส่วนผสม เช่น ปูนซีเมนต์ ทราย เศษผงแกรนิตน้ำ และคอนกรีตมวลเบา ผู้วิจัยจะทำการทดสอบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ (Compressive Strength of Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM C-09 ผสมมอร์ต้าซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วนโดยน้ำหนักกับทรายมาตรฐานฮอตตาว่า (Ottawa Sand) 2.75

ส่วนค่า Water Cement Ration (W/C) เท่ากับ 0.485 โดยกำหนด กลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

กลุ่มที่ 1 แบบส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ

กลุ่มที่ 2 แบบส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ : คอนกรีตมวลเบา : น้ำ

กลุ่มที่ 3 แบบส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ : อัตราส่วนวัสดุผสม : น้ำ

วัสดุผสม คือ คอนกรีตมวลเบา : เศษผงแกรนิต ที่คิดเป็นสัดส่วนตามเปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถแบ่งตัวอย่างออกได้ตามตารางที่ 4

## 2.2 การเตรียมวัสดุทดสอบ

ในการเตรียมวัสดุเพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ มีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 นำคอนกรีตมวลเบาที่เหลือทิ้ง จากการใช้ประโยชน์ มาทำความสะอาดให้เรียบร้อยตามน้ำหนักที่ออกแบบไว้

2.2.2 หลังจากทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วให้นำคอนกรีตมวลเบามาทุบให้ละเอียด เก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส

### ตารางที่ 4 การออกแบบส่วนผสม

แบบ	อัตราส่วนผสม	
ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์	คอนกรีตมวลเบา : น้ำ ผงแกรนิต
3.1	ปูนซีเมนต์	90 : 10
3.2	ปูนซีเมนต์	80 : 20
3.3	ปูนซีเมนต์	70 : 30
3.4	ปูนซีเมนต์	60 : 40
3.5	ปูนซีเมนต์	50 : 50
3.6	ปูนซีเมนต์	40 : 60
3.7	ปูนซีเมนต์	30 : 70
3.8	ปูนซีเมนต์	20 : 80
3.9	ปูนซีเมนต์	10 : 90

2.2.3 นำทรายแม่น้ำมาผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 เบอร์ 30 เบอร์ 50 และเบอร์ 100 [3]

2.2.4 นำผงหินแกรนิต มาคัดแยกเศษหินเศษไม้ ที่ปะปนรวมกันมาก

2.2.5 น้ำที่ใช้สำหรับผสม ควรทิ้งไว้ก่อนผสมประมาณ 2-3 วัน เพื่อลดปริมาณคลอรีนในน้ำ

2.2.6 ตรวจสอบแบบหล่อมอร์ต้า ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

2.2.7 ตรวจสอบอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

## 2.3 การผสมวัสดุ

การผสมวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ดำเนินการหลายขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.3.1 การทดสอบหาความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า (Test for Consistency of Cement Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM : C 230-61T โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า รวมถึงการทดสอบการไหลแฉะที่ 110% พบว่า การไหลแฉะของมอร์ต้า (ทราย) เท่ากับ 0.480 การไหลแฉะของมอร์ต้า (คอนกรีตมวลเบา) เท่ากับ 1.81 และการไหลแฉะของมอร์ต้า (ผงแกรนิต) เท่ากับ 1.04 ตามลำดับ เพื่อนำไปเป็นค่า w/c จำนวน 90 ก่อนต่อกลุ่มตัวอย่าง

2.3.2 การผสมวัสดุตามที่ได้ออกแบบ และเป็นไปตามความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า

หลังจากหาความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้าแล้วให้ดำเนินการหาค่า w/c ใหม่ เพื่อความเหมาะสมคือ ค่า w/c ของทราย คอนกรีตมวลเบา และผงแกรนิต เป็น 0.485 1.81 และ 1.04 ตามลำดับ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำใหม่ ที่ใช้สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 1 กลุ่มตัวอย่างที่ 2 และกลุ่มตัวอย่างที่ 3 จำนวนตัวอย่างละ 90 ก้อน คือ 3.64 13.58 และ 7.80 กิโลกรัม (ตามลำดับ)

สำหรับกลุ่มตัวอย่างทั้ง 9 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4) ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบตามสัดส่วนเช่นเดิม คือ 1:2.75 กล่าวคือ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน โดยน้ำหนัก กับทราย มาตรฐานออตตาวา (Ottawa Sand) 2.75 ส่วน [4] ซึ่งได้กำหนดค่า w/c เท่ากับ 1.27 ให้กับทุกกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้เป็นตัวแปรหลักในการเปรียบเทียบการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าทั้ง 9 กลุ่มตัวอย่าง สำหรับค่า w/c ที่กำหนดใช้ได้มาจากการเทียบค่า w/c ของคอนกรีตมวลเบาเป็นหลักของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 (w/c เท่ากับ 1.81) กับปริมาณน้ำหนักรวมที่ใช้ (คอนกรีตมวลเบา) เพราะฉะนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ 3.1–3.9 จะมีค่า w/c ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณน้ำที่ใช้ผสมเท่ากัน สำหรับวัสดุที่ใช้ทดแทนวัสดุมวลละเอียดในงานวิจัยครั้งนี้ คือ คอนกรีตมวลเบา กับผงแกรนิต ซึ่งจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4) เพื่อหาผลการทดสอบกำลังอัดสูงสุด

#### 2.4 ผลสมคอนกรีตตามที่ได้ออกแบบไว้

(ตัวอย่างละ 90 ก้อน ค่า w/c เท่ากับ 1.27 ปริมาณปูนซีเมนต์ เท่ากับ 7.50 กิโลกรัมและปริมาณน้ำ 9.52 กิโลกรัม)

ตารางที่ 5 ปริมาณวัสดุที่ใช้

กลุ่มที่	อัตราส่วน	ปริมาณวัสดุที่ใช้	
		คอนกรีตมวลเบา	ผงแกรนิต
3.1	90 : 10	18.56	2.06
3.2	80 : 20	16.50	4.12
3.3	70 : 30	14.44	6.18
3.4	60 : 40	12.37	8.25
3.5	50 : 50	10.31	10.31
3.6	40 : 60	8.25	12.37
3.7	30 : 70	6.18	14.44
3.8	20 : 80	4.12	16.50
3.9	10 : 90	2.06	18.56

#### 2.5 บ่มคอนกรีตตามระยะเวลาที่กำหนด

หลังจากหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บตัวอย่าง ซึ่งอยู่ในแบบหล่อไว้ในห้องบ่มชื้นโดยผิวหน้าให้สัมผัสกับความชื้น แต่ไม่ให้ถูกหยดน้ำเป็นเวลา 20–24 ชั่วโมง ถ้าต้องถอดแบบก่อน 24 ชั่วโมง ให้เก็บก่อนตัวอย่างในตู้ชื้นหรือห้องชื้น จนครบ 24 ชั่วโมง [5] แล้วจึงแช่น้ำสะอาด (ยกเว้นก่อนทดสอบที่จะทดสอบ เมื่อครบเกณฑ์ 24 ชั่วโมง) โดยคอยเปลี่ยนน้ำที่ใช้ให้สะอาดอยู่เสมอ เมื่อบ่มจนอายุตามต้องการแล้ว ก็นำไปทดสอบกำลังอัดของก้อนทดสอบ โดยอายุที่กำหนดไว้ต้องให้มีความคลาดเคลื่อนได้

ตารางที่ 6 ความคลาดเคลื่อนได้ [2]

อายุการทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนได้
24 ชั่วโมง	± ½ เซนติเมตร
3 วัน	± 1 เซนติเมตร
7 วัน	± 3 เซนติเมตร
28 วัน	± 12 เซนติเมตร

#### 2.6 ทดสอบการรับแรงกดของคอนกรีต

2.6.1 ให้ทดสอบกำลังอัดทันทีนำตัวอย่างออกจากห้องบ่ม ก่อนการทดสอบให้เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง ปิดเอาเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออกให้สะอาด [6]

2.6.2 วัดขนาดของหน้าตัด ความสูง และ ซึ่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อนไว้ เวลา นำก้อนตัวอย่างไปกดทดสอบ ห้ามใช้ด้านข้างที่มีผิวหน้าทั้งสองหน้ารับแรง ถ้าด้านบนและด้านล่างของก้อนตัวอย่างไม่เรียบ ให้ฝนให้เรียบ และขนานกัน

2.6.3 นำก้อนทดสอบเข้าเครื่องทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของเส้นทดสอบ และผิวก้อนตัวอย่างสัมผัสกับแป้นกด เดินเครื่องทดสอบในอัตราที่

เหมาะสมสม่ำเสมอ จนกระทั่งก่อนทดสอบแตก โดยใช้เวลาทดสอบประมาณ 5–30 วินาทีต่อตัวอย่าง

### 2.7 บันทึกผลการรับแรงกดและสรุปผล

การทดสอบหากำลังรับแรงอัด จะดำเนินการตามระยะเวลาการบ่มคอนกรีต คือ ที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยสรุปดังตารางที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 7 กำลังอัดเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3

ที่	อายุการบ่ม (วัน)	ค่ากำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม <sup>2</sup> )		
		ทราย	คอนกรีตมวลเบา	ผงแกรนิต
1	7	109.522	40.888	98.875
2	14	113.469	47.705	100.103
3	28	117.278	61.064	112.175

ตารางที่ 8 กำลังอัดเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ 3.1 ถึงกลุ่มตัวอย่างที่ 3.9

ตัวอย่างที่	ค่ากำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม <sup>2</sup> )		
	อายุการบ่ม 7 วัน	อายุการบ่ม 14 วัน	อายุการบ่ม 28 วัน
3.1	50.236	64.539	95.850
3.2	29.391	38.550	59.360
3.3	53.984	74.404	95.942
3.4	71.250	98.825	104.687
3.5	89.988	109.986	122.520
3.6	46.613	81.085	95.297
3.7	78.972	94.768	122.770
3.8	37.357	56.281	73.335
3.9	64.447	88.242	110.824

### 3. สรุปผลการวิจัย

**3.1 ด้านกำลังอัด (ชนิดเดียว)** จากการวิจัยทดลองพบว่า การรับกำลังอัดของบล็อกปูถนนด้วยวัสดุทดแทนมวลละเอียด (ชนิดเดียว) คือ ทราย (กลุ่มตัวอย่างที่ 1) คอนกรีตมวลเบา (กลุ่มตัวอย่างที่ 2) และผงแกรนิต (กลุ่มตัวอย่างที่ 3) โดยทางผู้วิจัยได้ทดสอบค่า w/c ในกลุ่มทดสอบจำนวน 9 ก้อน เพื่อนำค่า w/c ที่ได้มาใช้ในกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 0.485 1.810 และ 1.040 ตามลำดับ เพื่อทำการทดสอบหากำลังอัดในช่วงระยะเวลาทั้ง 3 ช่วง คือ ที่ 7 วัน ที่ 14 วัน และที่ 28 วัน จำนวนตัวอย่างช่วงระยะเวลา 30 ตัวอย่าง รวม 90 ตัวอย่าง เมื่อรวมทั้ง 3 ตัวอย่าง เท่ากับ 270 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4) พบว่า ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ดีที่สุดของการทดสอบครั้งนี้ คือ ตัวอย่างที่ 1 ทั้ง 3 ช่วงระยะเวลาในการบ่มเท่ากับ 109.522 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 113.469 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 117.278 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ สรุปผลการทดสอบถือว่า ตัวอย่างที่ 1 คือ ทราย ที่เป็นวัสดุมวลละเอียดที่สามารถรับกำลังอัดได้ดี ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน ซึ่งเป็นไปตามการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตทั่ว ๆ ไป คือ ระยะเวลาการบ่มมากขึ้น การรับกำลังอัดก็มากขึ้นตาม

**3.2 ด้านกำลังอัด (สองชนิด)** จากการวิจัยทดลองพบว่า การรับกำลังอัดของบล็อกปูถนนด้วยวัสดุทดแทนมวลละเอียด (สองชนิด) คือ คอนกรีตมวลเบาบดละเอียดกับผงแกรนิต นำมาผสมตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้โดยผู้วิจัยเพื่อที่จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้กำลังอัดที่เหมาะสม (ตารางที่ 5) และกำหนดค่า w/c เท่ากับ 1.270 เป็นค่าคงที่ (ใช้สัดส่วนของคอนกรีตมวลเบาเป็นหลัก)

เพื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดจำนวน 9 กลุ่มตัวอย่าง ในช่วงระยะเวลาทั้ง 3 ช่วง คือ ที่ 7 วัน ที่ 14 วัน และที่ 28 วัน ช่วงระยะเวลาตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง รวม 90 ตัวอย่าง เมื่อรวมทั้ง 9 ตัวอย่าง เท่ากับ 810 ตัวอย่าง (ตารางที่ 8) พบว่า ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่เหมาะสมของการทดสอบครั้งนี้ คือ กลุ่มตัวอย่างที่ 3.5 (คอนกรีตมวลเบาบดละเอียด ต่อผงแกรนิต คือ 50 : 50) สามารถรับกำลังอัด เท่ากับ 89.988, 109.986 และ 122.520 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ

#### 4. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิติ สุขคนธสุขกุล. คอนกรีต. ปทุมธานี: วรณกวี; 2556.
- [2] อุดมวิทย์ กาญจนวงศ์. ปฏิบัติการทดสอบ คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์; 2543.
- [3] พิภพ สุนทรสมัย. วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2543.
- [4] ประสิทธิ์ แก้วพิชัย, สมบูรณ์ เจริญไทย และ อนันต์ นนทศิริ. การศึกษาเพื่อใช้ทรายแม่น้ำทดแทนออกตาวาในการทดสอบกำลังอัดของ มอร์ต้า. กลุ่มทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน; 2549.
- [5] วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ ครั้งที่ 7. 2559.
- [6] ประณต กุลประสูติ. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย; 2548.
- [7] \_\_\_\_\_. ปฏิบัติการและควบคุมงาน คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2536.