

การศึกษาปัจจัยส่วนผสมที่มีผลต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์

ทินนภัทร มณีวงษ์^{1,*} และ มณฑล ศาสนนันท์¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

*ผู้ประสานงานบทความฉบับ: tinnapat.mnw@gmail.com

(รับบทความ: 7 กรกฎาคม 2566; แก้ไขบทความ: 30 กรกฎาคม 2566; ตอบรับบทความ: 4 สิงหาคม 2566)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่มีผลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์ และศึกษาระดับที่เหมาะสมของอัตราส่วนผสมหินปูนที่ทำให้ปูนมอร์ตาร์มีความต้านทานแรงอัดตามค่าที่กำหนด เป็นการวิจัยที่ใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบชนิด 4^2 กลุ่มตัวอย่าง 48 การทดลอง ผลการวิจัย พบว่า อันตรกิริยาระหว่างหินปูน 4 ประเภท ($X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4$) ไม่ส่งผลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ปัจจัยส่วนผสม X_1 (Limestone 0-0.1 mm), X_2 (Limestone 0.1-0.6 mm), X_3 (Limestone 0.6-1.15 mm) และ X_4 (Limestone 1.15-2.5 mm) มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($R^2=99.95\%$) และมีระดับที่เหมาะสมของอัตราส่วนผสมหินปูนที่ทำให้ปูนมอร์ตาร์มีความต้านทานแรงอัดตามค่าที่กำหนด (44-54 MPa) คือ $X_1 = 0$ กรัม $X_2 = 250$ กรัม $X_3 = 250.127$ กรัม และ $X_4 = 817.978$ กรัม ทั้งนี้ ในการนำไปใช้งานหรือเริ่มการผลิตจริงควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผลก่อนรวมถึงมีการปรับสภาพบริบทและปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้มีความเหมาะสมกับการผลิตจริง

คำสำคัญ: อัตราส่วนผสมของขนาดหินปูน ความต้านทานแรงอัด ปูนมอร์ตาร์ การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

การอ้างอิงบทความ: ทินนภัทร มณีวงษ์ และ มณฑล ศาสนนันท์, "การศึกษาปัจจัยส่วนผสมที่มีผลต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 4, หน้า 25-32, 2566.

Study of mixture factors on the compressive strength of the mortar

Thinnaphat Maniwong^{1,*} and Montalee Sasananan¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

* Corresponding Author: tinnapat.mnw@gmail.com

(Received: July 7, 2023; Revised: July 30, 2023; Accepted: August 4, 2023)

Abstract

The research objectives are: To study the effects of limestone Mix ratio on the compressive strength of mortar, and to determine the optimum level of limestone Mix for the desired value of compressive strength. In this study the 4^2 full factorial experiment design with 48 specimens. The results show that the interaction between limestone mixture ($X_1 * X_2 * X_3 * X_4$) has no significant effect on the compressive strength of mortar. At significance level of 0.05, it was found that mixing factors X_1 (Limestone 0-0.1 mm), X_2 (Limestone 0.1-0.6 mm), X_3 (Limestone 0.6-1.15 mm), and X_4 (Limestone 1.15-2.5 mm) have a significant effect on the compressive strength of mortar ($R^2 = 99.95\%$). As for the optimum mix ratio of limestone mixture ratio that yields the desired compressive strength (44-54 MPa), the following results have been found: $X_1 = 0$ g, $X_2 = 250$ g, $X_3 = 250.127$ g, and $X_4 = 817.978$ g. Before implementing or starting actual construction, further experiments should be performed in order to confirm the results.

Keywords: Limestone mixture ratio, Compressive strength, Mortar, Full factorial design

Please cite this article as: T. Maniwong and M. Sasananan, "Study of mixture factors on the compressive strength of the mortar," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 1, no. 4, pp. 25-32, 2023.

1. บทนำ

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานชนิดหนึ่งซึ่งเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตที่มีคุณสมบัติที่แข็งแรงและรับแรงได้สูง ถูกนำมาใช้ในวงการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย จำแนกประเภทตามคุณสมบัติและวิธีใช้งาน หนึ่งในนั้นคือปูนมอร์ตาร์ (Mortar) ที่ผลิตในรูปแบบปูนซีเมนต์สำเร็จรูป มีความสะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากมีการผสมหินทรายและสารเคมีตามอัตราส่วนที่พร้อมใช้งาน เมื่อนำปูนมอร์ตาร์ไปผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่เหมาะสมก็สามารถใช้งานได้เลย โดยที่คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมียังถูกควบคุมให้เหมือนปูนซีเมนต์ที่ผสมแบบปกติทั่วไป ปูนมอร์ตาร์ได้รับความนิยมสูงเพราะใช้งานง่ายเหมาะกับการใช้งานหลายรูปแบบทั้งช่างปูนและผู้ใช้งานทั่วไป ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตปูนมอร์ตาร์จึงเติบโตขึ้นอย่างมากและต่อเนื่อง เกิดการแข่งขันที่สูงมากทั้งในด้าน ราคา ต้นทุน คุณภาพ และลักษณะการใช้งานต่างๆ

ในการใช้งานจริงนั้นปูนมอร์ตาร์ส่วนมากใช้งานในรูปแบบคอนกรีตรับแรงต่างๆ เช่น เสา คาน พื้น ตอม่อ ดังนั้นคุณสมบัติสำคัญที่สุด คือ ความต้านทานแรงอัด (Compressive strength) ซึ่งสามารถใช้เป็นมาตรฐานในการจำแนกการใช้งานตามลักษณะงานต่างๆ ที่มีการรับแรงต่างกัน ส่วนรูปทรงของคอนกรีตมีอิทธิพลสำคัญต่อความแข็งแรงของปูนสำเร็จรูป หากสามารถหาอัตราส่วนผสมของหินปูนที่ทำให้โครงสร้างภายในเกิดรูปทรงน้อยที่สุดจะส่งผลให้ปูนมอร์ตาร์มีความต้านทานแรงอัดที่เพิ่มขึ้น [1-3]

นอกจากนั้น วัสดุมวลรวมที่มีความแข็งแรงและมีส่วนผสมที่เหมาะสมโดยมีปูนซีเมนต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานจะช่วยให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น [4, 5]

ดังนั้น งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอัตราส่วนผสมของหินปูนขนาดต่างๆ ที่มีผลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์ และหาระดับที่เหมาะสมของส่วนผสมหินปูนต่างๆ ที่ทำให้ปูนมอร์ตาร์มีความต้านทาน

แรงอัดตามที่กำหนด โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการวิจัยที่ใช้การทดลอง เพื่อให้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่มีผลต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์

2.2 เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนต่างๆ ที่ทำให้ปูนมอร์ตาร์มีความต้านทานแรงอัดตามที่กำหนด

3. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

3.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับปูนมอร์ตาร์

ปูนมอร์ตาร์ คือ ปูนซีเมนต์ที่มีวัสดุประกอบด้วย ทราย และน้ำ ปูนมอร์ตาร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับงานก่อ งานฉาบ งานเทพรับระดับพื้น รวมถึงงานซ่อมแซมพื้นผิวปูนต่างๆ ปัจจุบันปูนมอร์ตาร์นิยมผลิตในรูปแบบของ “ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป” คือเป็นผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์สำเร็จที่ผสมวัสดุประกอบต่างๆ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการใช้งานประเภทต่างๆ ไว้แล้วในถุง เมื่อต้องการใช้งานให้ผสมน้ำสะอาดกับปูนสำเร็จรูปในถุงตามอัตราส่วนน้ำต่อปูนสำเร็จรูปที่กำหนดไว้ก็จะใช้งานได้ทันที

กระบวนการผลิตปูนมอร์ตาร์มีขั้นตอนดังนี้

(1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Preparation raw material process) เริ่มจากการนำวัตถุดิบจากไซโลเก็บหิน (Storage silo) ลำเลียงเข้าเครื่องบด (Mill) เพื่อย่อยขนาดหินปูนและทำการคัดแยกด้วยเครื่องคัดขนาดจากการสั่น (Vibration screen) แล้วเก็บใส่ไซโลแยกตามขนาดต่างๆ

(2) ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ (Mixing process) วัตถุดิบแต่ละชนิดถูกชั่งด้วยเครื่องชั่ง (Balance) ในอัตราส่วนต่างๆตามสูตรที่กำหนดแล้ว วัตถุดิบจะถูกปล่อยลงสู่เครื่องผสม (Mixer) และเครื่องจะผสมวัตถุดิบต่างๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกันจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

บทความวิจัย (Research Article)

(3) ขั้นตอนการบรรจุ (Packing process) หลังจากที่ได้ผลิตก้อนแล้ว เครื่องผสม (Mixer) จะปล่อยผลิตภัณฑ์ลงสู่เครื่องบรรจุ (Roto packer) เพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ลงถุงและลำเลียงลงเครื่องเรียงถุง (Palletizer) และจัดเก็บเพื่อรอส่งจำหน่ายต่อไป

มาตรฐานการควบคุมคุณภาพปูนมอร์ตาร์ แบ่งเป็น

(1) ลักษณะทั่วไป คือ ปูนต้องเป็นผงและแห้ง ถ้าจับเป็นก้อนต้องสามารถใช้นิ้วมือบีบให้แตกได้ง่าย การทดสอบทำได้โดยการตรวจพินิจ

(2) ความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงอัดของก้อนลูกบาศก์ตัวอย่างที่มีอายุ 28 วัน ขนาดความกว้าง ความยาวและความสูงคือ 50 มิลลิเมตร 3 ก้อนเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตาม มอก.15 เล่ม 12 คือ 21MPa โดยผสมการไหลแผ่เบื้องต้น 110

(3) ความอุ้มน้ำ (Water retention) ความอุ้มน้ำของปูนต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 โดยกำหนดให้มีการไหลแผ่เบื้องต้น 110 การทดสอบให้ปฏิบัติตาม ASTM C91

3.2 การพัฒนาส่วนผสมของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์

จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยพบว่ารูปทรงของคอนกรีตมีอิทธิพลสำคัญต่อความแข็งแรง หากสามารถหาอัตราส่วนผสมของหินปูนที่ทำให้เกิดรูปทรงน้อยที่สุดจะส่งผลให้คอนกรีตมีความต้านทานแรงอัดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าวัสดุมวลรวมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงโดยตรง ทำให้เห็นภาพได้ว่าความแข็งแรงของคอนกรีตนั้นเกิดจากส่วนผสมที่เหมาะสม ดังนั้น จึงอนุมานได้ว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมที่เหมาะสมต่อสัดส่วนของปูนซีเมนต์จะทำให้เกิดความแข็งแรงของคอนกรีตได้สูงสุด [1-5]

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

การเตรียมมอร์ตาร์ การหล่อก้อนทดสอบ และวิธีการทดสอบต่างๆ ทุกขั้นตอนทำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ในหัวข้อวิธีทดสอบความต้านแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (มอก.15 เล่ม 12-2532) และการผสมซีเมนต์ไฮดรอลิก และมอร์ตาร์ในสภาพเหลวด้วยเครื่องผสม (มอก. 15 เล่ม 17-2516) ให้สอดคล้องตามข้อกำหนดทุกประการ โดยจะมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1) การเตรียมแบบ ก่อนทำการหล่อก้อนทดสอบมอร์ตาร์นั้นจะต้องเตรียมแบบให้พร้อม โดยทำความสะอาดแบบให้สะอาดไม่มีผงหรือฝุ่นในตัวแบบแล้ว เช็ดให้แห้ง จากนั้นชโลมน้ำมันบางๆ ไว้ที่ตัวแบบ

2) หาปริมาณน้ำในการผสม โดยหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่ 110 ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับผสม คือ 190 มิลลิลิตรต่อการทดลอง

3) ผสมมอร์ตาร์ด้วยเครื่องผสม นำน้ำและส่วนผสมมอร์ตาร์ตามสูตรที่ได้ออกแบบไว้ใส่ลงในเครื่องผสม จากนั้นเครื่องผสมปั่นส่วนผสมต่างๆ เข้าด้วยกันโดยควบคุมความเร็วช้า 1 นาที ปั่นความเร็ว 30 วินาที แล้วพักไว้ 1 นาที 30 วินาที จากนั้นปั่นความเร็วอีก 2 นาที

4) นำปูนมอร์ตาร์ที่ผสมเสร็จแล้วเทลงแบบหล่อที่ได้เตรียมไว้จากนั้นใช้เกลียงปาดผิวด้านบนออกให้เรียบเสมอกับตัวแบบแล้วเอาผ้าเช็ดปูนที่เปื้อนตัวแบบเพื่อป้องกันการเกาะแบบในภายหลัง

5) ทำขั้นตอนที่ 3 และ 4 ตามสูตรที่ได้ออกแบบการทดลองไว้จนครบ 48 การทดลอง แล้วเก็บพักไว้ 24 ชั่วโมง

6) แกะก้อนทดสอบออกจากตัวแบบ หลังจากพักไว้ 24 ชั่วโมงแล้วให้ทำการแกะก้อนทดสอบออกจากตัวแบบอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันก้อนทดสอบเสียหายแล้วนำไปบ่มน้ำไว้ 27 วัน

บทความวิจัย (Research Article)

7) ทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนทดสอบ หลังจากครบ 27 วัน ด้วยเครื่องทดสอบความความต้านทานแรงอัด โดยนำก้อนทดสอบมาวางบนแท่นวางที่สะอาดและไม่มีเศษฝุ่นหรือกรวด จากนั้นทำการกดทดสอบความต้านแรงอัดด้วยเครื่องกดพร้อมจดบันทึกค่าที่ได้

4.2 การกำหนดระดับปัจจัย

การหาส่วนผสมของปูนมอร์ตาร์ประกอบด้วยปัจจัยที่สามารถปรับค่าได้และคาดว่าจะมีอิทธิพลต่อผลตอบสนองของกระบวนการทดลอง ขนาด ตั้งแต่ 0.0 - 2.5 mm ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ช่วงระดับ (กรัม)
Limestone 0 - 0.1 mm (X_1)	0 - 50
Limestone 0.1 - 0.6 mm (X_2)	250 - 350
Limestone 0.6 - 1.15 mm	250 - 350
Limestone 1.15 - 2.5 mm (X_4)	750 - 850

4.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 4^2 (4^2 Factorial Experimental design)

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองเป็นแบบ 4^2 แฟคทอเรียล เพื่อศึกษาผลกระทบหลัก (Main Effect) และผลของอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย (Interaction Effect) ในแบบ 4 ปัจจัย 2 ระดับ และทำซ้ำ 3 รอบ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบหลักและผลอันตรกิริยาของการทดลองทั้งสิ้นจำนวน 48 การทดลอง ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดลองตามแบบ 4^2 แฟคทอเรียล

Runs	(X_1 :g)	(X_2 :g)	(X_3 :g)	(X_4 :g)	ความต้าน แรงอัด (Y) (MPa)
	0.0 - 0.1 mm	0.1 - 0.6 mm	0.6 - 1.15 mm	1.15 - 2.5 mm	
1	50	350	350	850	52.14
2	0	250	350	750	48.36
3	50	350	250	750	45.18
4	50	250	250	750	46.22
5	50	250	250	850	50.52
6	50	350	250	850	49.66
7	0	350	250	750	45.24
8	50	250	250	850	50.64
9	0	350	250	850	49.44
10	50	250	350	850	53.11
11	0	250	350	850	52.80
12	50	250	250	750	46.20
13	50	350	250	850	49.60
14	0	350	350	750	47.40
15	0	350	250	850	49.40
16	0	250	350	850	52.83
17	50	350	250	850	49.54
18	50	250	350	850	53.00
19	0	350	250	750	44.89
20	0	250	250	850	50.42
21	0	350	350	850	51.81
22	50	350	350	750	47.54
23	50	250	350	750	48.60
24	50	350	250	750	45.42
25	0	250	250	750	46.04
26	50	250	350	850	53.02
27	0	350	350	850	51.80
28	0	350	350	850	51.78
29	50	350	350	750	47.59
30	0	250	250	850	50.36
31	0	350	350	750	47.44
32	50	250	250	850	50.60
33	0	350	350	750	47.43
34	50	250	350	750	48.62
35	0	250	250	750	46.00

บทความวิจัย (Research Article)

Runs	(X ₁ :g)	(X ₂ :g)	(X ₃ :g)	(X ₄ :g)	ความต้าน แรงอัด
	0.0 - 0.1 mm	0.1 - 0.6 mm	0.6 - 1.15 mm	1.15 - 2.5 mm	(Y) (MPa)
36	50	350	350	850	52.00
37	0	250	350	850	52.77
38	50	250	350	750	48.54
39	50	350	250	750	45.20
40	0	350	250	750	45.00
41	50	350	350	850	51.92
42	0	250	250	850	50.40
43	50	350	350	750	47.60
44	0	250	250	750	46.12
45	0	350	250	850	49.39
46	0	250	350	750	48.44
47	50	250	250	750	46.15
48	0	250	350	750	48.40

4.4 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

1) สถิติที่ใช้วิเคราะห์ปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่มีผลต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression analysis)

2) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่ทำให้ปูนมอร์ตาร์มีความต้านทานแรงอัดตามที่กำหนด คือ การวิเคราะห์การถดถอยแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response surface regression analysis)

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 ปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่มีผลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์

1) การตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ค่าความผิดพลาดเศษเหลือ (Residual error) มีการ

แจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) และมีความเสถียรของแปรปรวน (Variance stability)

2) อิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย $X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4$ ไม่ส่งผลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์ที่ระดับ 0.05

3) เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลัก พบว่า ปัจจัยส่วนผสม X_1, X_2, X_3 และ X_4 มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สามารถรวมกันพยากรณ์ความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์ ได้ร้อยละ 99.95 ($R^2 = 99.95\%$) ดังตารางที่ 3 ได้สมการการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุสำหรับพยากรณ์ความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์ ดังนี้

$$Y = 9.61 + 0.00387X_1 - 0.00990X_2 + 0.0239X_3 + 0.0439X_4$$

ตารางที่ 3 ปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่มีผลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์

Source	Coef.	F	p
Constant	9.610	2,907.366	0.000
X ₁	0.004	84.270	0.000
X ₂	0.010	11.751	0.000
X ₃	0.024	11.751	0.000
X ₄	0.044	43236.200	0.000
X ₁ *X ₂	0.002	0.030	0.860
X ₁ *X ₃	0.004	0.140	0.710
X ₁ *X ₄	0.009	0.790	0.381
X ₂ *X ₃	-0.007	0.420	0.519
X ₂ *X ₄	-0.005	0.210	0.653
X ₃ *X ₄	0.015	1.960	0.171
X ₁ *X ₂ *X ₃	-0.009	0.660	0.424
X ₁ *X ₂ *X ₄	-0.005	0.210	0.653
X ₁ *X ₃ *X ₄	0.007	0.370	0.545
X ₂ *X ₃ *X ₄	0.000	0.000	0.984
X ₁ *X ₂ *X ₃ *X ₄	0.007	0.370	0.545
$R^2 = 99.95\% \quad R^2(\text{adj}) = 99.92\%$			

บทความวิจัย (Research Article)

5.2 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนต่างๆ ที่ทำให้ปูนมอร์ต้ามีความต้านทานแรงอัดตามที่กำหนด

ผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Regression analysis) เพื่อวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่ทำให้ปูนมอร์ต้ามีความต้านทานแรงอัดตามที่กำหนด ($Y = \text{Mean} \pm 2 * \text{SD}$) = $49 \pm 2 * 2.500 = 44 - 54 \text{ MPa}$ พบว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปัจจัย X_1 ที่ระดับ 0 กรัม ปัจจัย X_2 ที่ระดับ 250 กรัม ปัจจัย X_3 ที่ระดับ 250.127 กรัม และปัจจัย X_4 ที่ระดับ 817.978 กรัม

6. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่มีผลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ต้า พบว่า ส่วนผสม X_1 , X_2 , X_3 และ X_4 มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ต้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($R^2 = 99.95\%$) อธิบายได้ว่า ปัจจัยอัตราส่วนผสมของหินปูนที่ขนาดต่างๆ มีผลต่อการเกิดรูพรุนในโครงสร้างภายในของคอนกรีตซึ่งขนาดของหินปูนก็ยังส่งผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับแนวคิดที่ว่ารูพรุนและวัสดุมวลรวมในคอนกรีตมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ [4, 5]

ผลการศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยอัตราส่วนผสมหินปูนที่ทำให้ปูนมอร์ต้ามีความต้านทานแรงอัดตามค่าที่กำหนดคือ $X_1 = 0$ กรัม $X_2 = 250$ กรัม $X_3 = 250.127$ กรัม และ $X_4 = 817.978$ กรัม อธิบายได้ว่าสามารถจำแนกอิทธิพลของปัจจัยจากสมการพยากรณ์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุได้ 2 กลุ่ม

กลุ่มแรกได้แก่ X_1 , X_3 และ X_4 ที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงอัดตามขนาดของหินปูนโดยมีทิศทางของอิทธิพลไปในทางบวก สอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่าวัสดุมวลรวมส่งผลโดยตรงกับความแข็งแรงของคอนกรีตโดยมีความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของ

วัสดุมวลรวมแบบแปรผันตรงกับความแข็งแรงของคอนกรีต จะเห็นว่า X_1 ที่ขนาดอนุภาคที่ละเอียดที่สุดมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของคอนกรีตน้อยที่สุดในทางตรงกันข้าม X_3 และ X_4 จะมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงมากขึ้นตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากกลุ่มที่สองได้แก่ X_2 ซึ่งมีอิทธิพลในทิศทางลบ สามารถอธิบายว่าเกิดจาก X_2 มีขนาดใหญ่เกินกว่าช่องว่างหรือรูพรุนในโครงสร้างทำให้ไม่สามารถแทรกตัวไปได้ หรือกล่าวได้ว่าขนาดของ X_2 เป็นตัวขัดขวางการเรียงตัวของโครงสร้างการทำให้ประสานของปูนซีเมนต์นั่นเอง ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่าขนาดของช่องว่างหรือรูพรุนมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของคอนกรีต [1-3]

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการการศึกษาไปใช้ประโยชน์

1) ผลการวิจัยพบว่าอิทธิพลหลักของปัจจัยส่วนผสมหินปูนแต่ละขนาดส่งผลต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดของปูนซีเมนต์ ในขณะที่อิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างส่วนผสมหินปูนแต่ละขนาดไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดของปูนซีเมนต์ ดังนั้น ในการพัฒนาสูตรส่วนผสมหินปูนสามารถปรับเปลี่ยนขนาดหินปูน (0 - 2.5 mm) ได้อิสระต่อกัน

2) ในการนำอัตราส่วนผสมหินปูนที่เหมาะสมที่ทำให้ความต้านทานแรงอัดของปูนซีเมนต์มีค่าตามที่กำหนดไปใช้งานหรือเริ่มการผลิตจริงควรจะต้องทำการทดลองเพื่อยืนยันผลก่อนรวมถึงการปรับสภาพบริบทและปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้มีความเหมาะสมกับการผลิตจริง

บทความวิจัย (Research Article)

7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

1) ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาปัจจัยอื่นๆ ร่วมกับปัจจัยส่วนผสมหินปูนที่ส่งผลต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดของปูนมอร์ตาร์

2) ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความต้านทานแรงอัดและคุณสมบัติที่พึงมีพึงเป็นของปูนมอร์ตาร์ที่เกิดจากปัจจัยอื่นๆ ร่วมกับปัจจัยส่วนผสมหินปูนเพื่อให้ได้ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตปูนมอร์ตาร์ที่มีคุณภาพ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Luga and C. D. Atis, "Optimization of heat cured fly ash/slag blend geopolymer mortars designed by "Combined Design" method: Part 1," *Construction and Building materials*, vol. 178, pp. 393-404, 2018.
- [2] S. Jin, J. Zhang, and B. Huang, "Fractal analysis of effect of air void on freeze-thaw resistance of concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 126-130, 2013.
- [3] R. Sugrañez, J. I. Álvarez, M. Cruz-Yusta, I. Mármol, J. Morales, and L. Sánchez, "Controlling microstructure in cement based mortars by adjusting the particle size distribution of the raw materials," *Construction and building materials*, vol. 41, pp. 139-145, 2013.
- [4] A. M. Matos, L. Maia, S. Nunes, and P. Milheiro-Oliveira, "Design of self-compacting high-performance concrete: Study of mortar phase," *Construction and Building Materials*, vol. 167, pp. 617-630, 2018.

- [5] B. B. Mukharjee and S. V. Barai, "Statistical techniques to analyze properties of nano-engineered concrete using Recycled Coarse Aggregates," *Journal of cleaner production*, vol. 83, pp. 273-285, 2014.