



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

ผลของความหนาแน่นและอัตราส่วนผสมที่มีต่อปริมาณช่องว่างอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก

Effects of Density and Mixed Design on Air Content of Cellular Lightweight Concrete with Superplasticizer

ธนกร ทวีวุฒิ¹ นท แสงเทียน¹ วิวัฒน์ พัวทัศนานนท์^{1*} สถาพร โภคา¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Thanabhorn Thaveevouthti¹ Note Sangtian¹ Wiwat Puatatsananon^{1*} Sdhabhon Bhokha¹

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University 34190

* Corresponding author.

E-mail: puatatsa@gmail.com; Telephone: 0 4535 3348

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เสนอผลทดสอบ และปัจจัยของความหนาแน่น และส่วนผสมในคอนกรีตที่มีต่อปริมาณช่องว่างอากาศของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากซึ่งมีความหนาแน่น 1,600 และ 1,800 กก./ม.³ โดยใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 2:1 3:1 และ 4:1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.30 0.35 0.40 และ 0.45 และปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 0.5 และ 1 จากนั้นทำการหาปริมาณของช่องว่างอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสโดยการทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสตามมาตรฐาน ASTM C128 ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่า คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากมีปริมาณช่องว่างอากาศในคอนกรีตอยู่ในช่วงร้อยละ 31.51–38.96 โดยที่ปริมาณช่องว่างอากาศในคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับปริมาณโฟมที่ใส่เข้าไปในคอนกรีตเป็นหลัก และยังขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตอีกด้วย ซึ่งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากจะมีแนวโน้มของปริมาณช่องว่างอากาศในเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่อ ก) ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง ข) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นซึ่งเกิดขึ้นเฉพาะในตัวอย่างคอนกรีตสูตรที่ใช้ปริมาณสารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 0.5 ค) อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น หรือ ง) ปริมาณสารลดน้ำปริมาณมากในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเฉพาะในตัวอย่างคอนกรีตสูตรที่ใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ

คำสำคัญ

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ความหนาแน่น ปริมาณช่องว่างอากาศ สารลดน้ำปริมาณมาก

Abstract

This paper presents the test results and the study of the effect of concrete density and mixed design on the air content of the cellular lightweight concrete with superplasticizer. In this study, the cellular lightweight concrete with 1,600 and 1,800 kg/m³ using four different water to cement ratios of 0.3, 0.35, 0.4 and 0.45, three different sand to cement

ratios of 2:1, 3:1 and 4:1, and 2 amount of superplasticizer of 0.5% and 1% are produced. Then, the air content of cellular lightweight concrete with superplasticizer is determined using ASTM C128 for the determination of concrete specific gravity. The results show that the air contents of cellular lightweight concrete with superplasticizer are found to range from 31.51–38.96%. The air content of the cellular lightweight concrete with superplasticizer depends mainly on the amount of foam used in the concrete and also mixed design. It tends to increase as a) the density of concrete decreases b) the water to cement ratio increases only in the concrete samples with mixed design using 0.5% of superplasticizer c) the sand to cement increases or d) the amount of superplasticizer increases only in the concrete samples with mixed design using low sand to cement ratios and low water to cement ratios.

Keywords

cellular lightweight concrete; density; air content; superplasticizer

1. บทนำ

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (cellular lightweight concrete หรือ CLC) เป็นคอนกรีตพรุน (aerated concrete) ประเภทหนึ่งซึ่งใช้โฟมเหลวเป็นตัวสร้างฟองอากาศและส่วนผสมพื้นฐาน (base mix) ซึ่งประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ ในการผลิตคอนกรีตพรุน คอนกรีตชนิดนี้บางครั้งเรียกว่า คอนกรีตโฟม (foamed concrete) เมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตสิ้นสุดลงโฟมเหลวก็จะสลายตัวไปเหลือเพียงโพรงอากาศภายในเนื้อของคอนกรีต จึงทำให้คอนกรีตที่ได้มีน้ำหนักเบา ปริมาณของโฟมเหลวที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมพื้นฐานของคอนกรีตจะทำให้ความหนาแน่นของส่วนผสมพื้นฐานลดลง ซึ่งทำให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นลดลงด้วย ปัจจุบันได้มีการนำเอาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าไปการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร เช่น ใช้ในงานระบบผนังและพื้นรับน้ำหนักคอนกรีตหล่อสำเร็จ เป็นต้น สำหรับงานโครงสร้าง คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1600-1800 กก./ม.³ [1-3] เนื่องจากในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีปริมาณฟองอากาศอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งฟองอากาศในคอนกรีตมีผลโดยตรงกับคอนกรีตพื้นฐานของคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นเรื่อง ความสามารถในการเทได้ กำลังรับแรงอัด [4,5] การหดตัวแห้งซึ่งเกิดขึ้นจากการสูญเสียไอน้ำภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งจะส่งผลอย่างมากต่อคอนกรีต

มวลเบาแบบเซลลูล่าเนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้มีความพรุนสูง (ร้อยละ 40–80) และมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของโพรงอากาศที่สูง (specific surface of pores) [6] รวมไปถึงเรื่องการดูดซึมน้ำ รวมถึงคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีต

เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีค่าความพรุนค่อนข้างสูง ดังนั้นการแพร่ของสารละลาย และก๊าซเข้าสู่เนื้อของคอนกรีตจะเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาต่อการวิบัติของเนื้อคอนกรีตได้ ดังเช่นปัญหาการแข็งตัวเป็นน้ำแข็งและการละลายเป็นน้ำของน้ำภายในเนื้อคอนกรีต [7]

สำหรับคอนกรีตทั่วไป ซึ่งเกิดจากปูนซีเมนต์ หิน ทราย และผสมเข้าด้วยกัน ปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตนอกจากจะเกิดจากกระบวนการจัดคอนกรีตแล้วยังขึ้นอยู่กับส่วนผสมละเอียดของคอนกรีต เช่น ทราย และปูนซีเมนต์ ซึ่งหากคอนกรีตมีส่วนผสมละเอียดเพิ่มขึ้นจะยับยั้งการเกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต [8] และในสูตรผสมของคอนกรีตที่กำหนด หากมีการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมจะทำให้ปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้นโดยฟองอากาศจะเข้าไปในส่วนผสมในขณะที่ทำการผสมคอนกรีตช่วงที่ส่วนผสมของคอนกรีตยังเป็นของเหลว โดยที่ฟองอากาศจะเข้าไปในเนื้อของคอนกรีตสดที่มีลักษณะเหลว (อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูง) ได้สูงกว่าคอนกรีตที่มีลักษณะข้น (อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ) [9]

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปเนื่องจากมีการแทนที่ของมวลรวมหยาบโดยการเพิ่มฟองอากาศด้วยฟองโฟมเข้าไปในเนื้อของคอนกรีต จึงทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีความหนาแน่นต่ำกว่า และมีปริมาณฟองอากาศสูงกว่าคอนกรีตทั่วไป

บทความนี้นำเสนอปัจจัยของส่วนผสมคอนกรีตที่มีต่อการเกิดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากภายใต้การบ่มตัวอย่างในอากาศ

2. วิธีการวิจัย

วัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายสะอาด น้ำสะอาด และสารเพิ่มฟองอากาศ (Foam agent) และสารลดน้ำปริมาณมาก จากนั้นนำวัสดุดังกล่าวมาผสมคอนกรีตโดยกำหนดให้มีความหนาแน่นของคอนกรีตสดอยู่ที่ 1,600 และ 1,800 กก./ม.³ ซึ่งเป็นช่วงความหนาแน่นสำหรับงานโครงสร้าง [1–3] และเพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยของส่วนผสมคอนกรีตที่มีต่อปริมาณช่องว่างอากาศของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใช้สำหรับงานโครงสร้าง เช่น อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ (s:c) และปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมาก ในงานวิจัยนี้ใช้ส่วนผสมคอนกรีตทั้งหมดรวม 24 สูตร โดยในแต่ละสูตรความหนาแน่นของคอนกรีตสด ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.3 0.35 0.4 และ 0.45 ใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ (s:c) เท่ากับ 2:1 3:1 และ 4:1 และสารลดน้ำปริมาณมาก โดยในงานวิจัยนี้ใช้สาร Sikament FF ของบริษัท ชิก้า (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งกำหนดให้ใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มเท่ากับร้อยละ 0.5 และ 1 โดยในแต่ละสูตรมีปริมาณของส่วนผสมต่อคอนกรีตสด 1 ลูกบาศก์เมตรดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อผสมคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการเก็บตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าขนาดเท่ากับ 50×50×50 มิลลิเมตรจำนวน 3 ตัวอย่างในแต่ละสูตรผสม หลังจากนั้น

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

สูตร	ความหนาแน่น (kg/m ³)	S:C	W/C	สารผสมเพิ่ม (ร้อยละ) ของน้ำหนักปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	น้ำ (kg)	โฟม (วินาที)
1	1,800	2:1	0.3	0.5	543.8	1,087.6	163.14	189.25
2	1,800	2:1	0.3	1	543.8	1,087.6	163.14	189.25
3	1,800	2:1	0.35	0.5	535.8	1,071.6	187.53	177.19
4*	1,800	2:1	0.35	1	535.8	1,071.6	187.53	177.19
5	1,800	3:1	0.3	0.5	417.2	1,251.6	125.16	200.76
6	1,800	3:1	0.3	1	417.2	1,251.6	125.16	200.76
7	1,800	3:1	0.35	0.5	412.5	1,237.5	144.38	191.35
8	1,800	3:1	0.35	1	412.5	1,237.5	144.38	191.35
9	1,800	4:1	0.4	0.5	332.3	1,329.2	132.92	192.66
10	1,800	4:1	0.4	1	332.3	1,329.2	132.92	192.66
11	1,800	4:1	0.45	0.5	329.3	1,317.2	148.19	185.21
12	1,800	4:1	0.45	1	329.3	1,317.2	148.19	185.21
13	1,600	2:1	0.3	0.5	482.6	965.2	144.78	254.53
14	1,600	2:1	0.3	1	482.6	965.2	144.78	254.53
15	1,600	2:1	0.35	0.5	475.5	951	166.43	243.83
16	1,600	2:1	0.35	1	475.5	951	166.43	243.83
17	1,600	3:1	0.3	0.5	370.3	1,110.9	111.09	264.77
18	1,600	3:1	0.3	1	370.3	1,110.9	111.09	264.77
19	1,600	3:1	0.35	0.5	366.1	1,098.3	128.14	256.41
20	1,600	3:1	0.35	1	366.1	1,098.3	128.14	256.41
21	1,600	4:1	0.4	0.5	294.9	1,179.6	117.96	257.55
22	1,600	4:1	0.4	1	294.9	1,179.6	117.96	257.55
23	1,600	4:1	0.45	0.5	292.2	1,168.8	131.49	250.91
24	1,600	4:1	0.45	1	292.2	1,168.8	131.49	250.91

หมายเหตุ ในการคำนวณคิดที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ทรายสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

ประมาณ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบและนำตัวอย่างคอนกรีตออกมา จากนั้นทำการบ่มแห้งตัวอย่างคอนกรีตในอากาศจนอายุครบ 56 วัน แล้วจึงนำตัวอย่างคอนกรีตมาทดสอบไปหาปริมาณฟองอากาศของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าต่อไป

ในการทดสอบเพื่อศึกษาถึงลักษณะของโครงสร้างภายในขนาดของโพรงอากาศ ลักษณะการกระจายของโพรงอากาศ และการหาค่าความพรุนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าสามารถทำได้หลายวิธี ตัวอย่างของวิธีที่

ใช้ทดสอบได้แก่ SEM (scanning electron microscopy) วิธี automatic image analysis และ Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) เป็นต้น [10] แต่วิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้

อุปกรณ์ในการทดสอบที่มีมูลค่าสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบตามงานวิจัย [11] ที่ประยุกต์วิธีทดสอบโดยนำหลักการของวิชากลศาสตร์ของดินเข้ามาช่วยในการหาปริมาณของฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสโดยการทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส (G_s) ตามมาตรฐาน ASTM C128 [12] ดังนี้

- 1) นำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมาทุบให้ละเอียด
- 2) นำตัวอย่างคอนกรีตที่ทุบแล้วมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 แล้วเก็บตัวอย่างคอนกรีตใส่ถุง
- 3) นำผงตัวอย่างคอนกรีตที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 มาจำนวน 100 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีปริมาตร 1,000 ml
- 4) เติมน้ำเข้าไปในขวดรูปชมพู่โดยให้มีระดับน้ำอยู่ประมาณคอขวดของรูปชมพู่ หลังจากนั้นเขย่าขวดเพื่อไล่ฟองอากาศที่อยู่ในผงคอนกรีตโดยใช้เวลาประมาณ 10 นาที และเติมน้ำจนถึงระดับขีด แล้วนำขวดรูปชมพู่ไปชั่งน้ำหนัก
- 5) เทตัวอย่างออกจากขวดใส่ถาด แล้วนำถาดที่บรรจุตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
- 6) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า G_s ตามมาตรฐาน ASTM C128 จากสมการดังนี้

$$G_s = \frac{W_s}{W_b + W_s - W_a} \quad (1)$$

เมื่อ G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

W_s คือ น้ำหนักของคอนกรีตแห้ง (กรัม)

W_b คือ ผลรวมของน้ำหนักน้ำ และน้ำหนักขวด (กรัม)

W_a คือ ผลรวมของน้ำหนักขวด น้ำหนักน้ำ และน้ำหนักคอนกรีต (กรัม)

- 7) จากนั้น จึงนำค่าความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ได้มาคำนวณหาอัตราส่วนช่องว่าง e ในตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจากสมการ [13]

$$e = \left[\frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} \right] - 1 \quad (2)$$

และค่าความพรุนของคอนกรีต n ได้จากสมการ

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (3)$$

เมื่อ G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของคอนกรีต

γ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (ใช้ $= 1 \text{ g/cm}^3$)

γ_d คือ ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีต (g/cm^3)

3. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 เมื่อคำนวณปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่คำนวณโดยใช้ค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM C 128 พบว่า คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากซึ่งมีความหนาแน่นตั้งแต่ 1,600–1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตร้อยละ 31.51–38.96 โดยสูตรที่มีปริมาณฟองอากาศมากที่สุด คือ สูตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 4 ต่อ 1 และปริมาณสารลดน้ำปริมาณมากเท่ากับร้อยละ 1 โดยมีปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตร้อยละ 38.96 และสูตรที่มีปริมาณฟองอากาศน้อยที่สุด คือ สูตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.30 อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 2 ต่อ 1 และปริมาณสาร

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก

ลำดับ	ความหนาแน่น (kg/m ³)	s:c	w/c	สารผสม เพิ่ม (ร้อยละ) ของน้ำหนัก ปูนซีเมนต์	Air void (ร้อยละ)
1	1,800	2:1	0.3	0.5	31.51
2	1,800	2:1	0.3	1	35.6
3	1,800	2:1	0.35	0.5	34.03
4	1,800	2:1	0.35	คอนกรีตแยกตัว	
5	1,800	3:1	0.3	0.5	33.67
6	1,800	3:1	0.3	1	37.12
7	1,800	3:1	0.35	0.5	36.76
8	1,800	3:1	0.35	1	35.99
9	1,800	4:1	0.4	0.5	36.66
10	1,800	4:1	0.4	1	36.46
11	1,800	4:1	0.45	0.5	38.83
12	1,800	4:1	0.45	1	35.82
13	1,600	2:1	0.3	0.5	33.86
14	1,600	2:1	0.3	1	35.96
15	1,600	2:1	0.35	0.5	35.43
16	1,600	2:1	0.35	1	36.65
17	1,600	3:1	0.3	0.5	37.55
18	1,600	3:1	0.3	1	38.69
19	1,600	3:1	0.35	0.5	38.07
20	1,600	3:1	0.35	1	36.13
21	1,600	4:1	0.4	0.5	37.97
22	1,600	4:1	0.4	1	38.96
23	1,600	4:1	0.45	0.5	37.16
24	1,600	4:1	0.45	1	37.28

ลดน้ำปริมาณมากเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยมีปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตเท่ากับ ร้อยละ 31.51

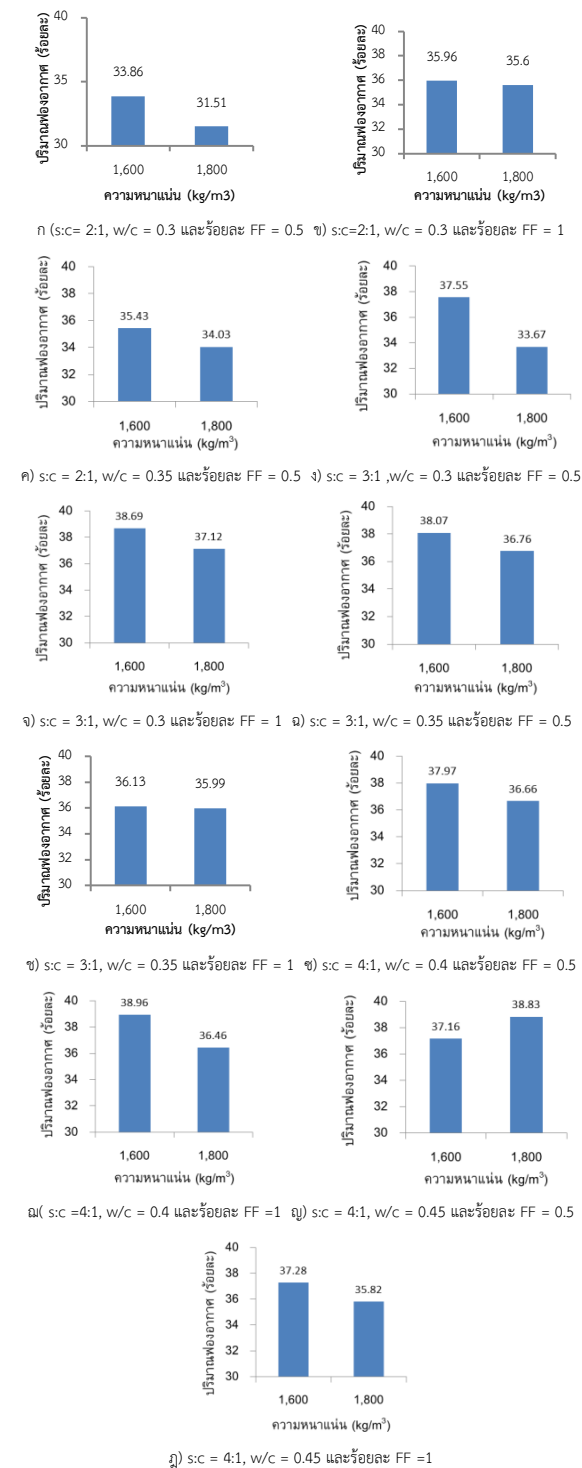
4. การอภิปรายผล

เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าต่างจากคอนกรีตทั่วไปโดยการแทนที่ของมวลรวมหยาบด้วยฟองโม่เข้าไปในเนื้อของคอนกรีต เมื่อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าแข็งตัว ฟองโม่จะเปลี่ยนเป็นฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับปริมาณฟองโม่ (ระยะเวลาฉีดโม่) ที่ใส่เข้าไปในคอนกรีตสดเป็นหลัก

ในหัวข้อนี้ จะทำการวิเคราะห์ถึงผลของปัจจัยของส่วนผสมคอนกรีตอื่นที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก ซึ่งได้แก่ 1) ความหนาแน่นของคอนกรีต 2) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 3) อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ และ 4) ปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมาก ดังนี้

4.1 ความหนาแน่นของคอนกรีต

จากตารางที่ 2 พบว่าปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,800 และ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 31.51–38.83 และ 33.86–38.96 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในบางสูตรผสมมีค่ามากกว่าปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในบางสูตรผสม ทั้งนี้เนื่องจากทั้งสองช่วงของความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีสูตรผสมตั้งแต่สูตรที่ใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ต่ำ ไปจนถึงสูตรที่ใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์สูง (ดังแสดงในตารางที่ 1) ดังนั้นการที่จะรักษาให้ความหนาแน่นของคอนกรีตให้มีค่าคงที่ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณทรายไปในส่วนผสม (ในสูตรผสมที่ใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์สูง) จำเป็นต้องลดปริมาณของปูนซีเมนต์ และน้ำลง และเพิ่มปริมาณของโม่เข้าไปในส่วนผสมคอนกรีต โดยการเพิ่มปริมาณทราย และ

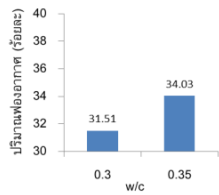
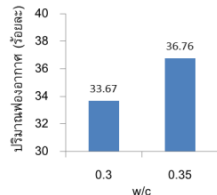
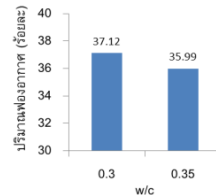
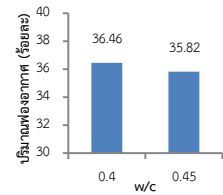
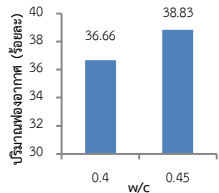
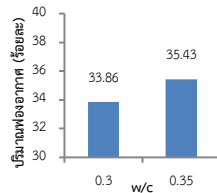
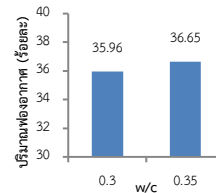
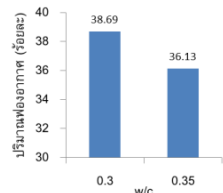
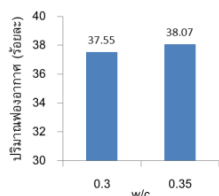
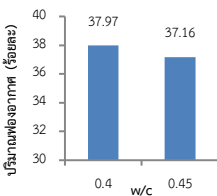
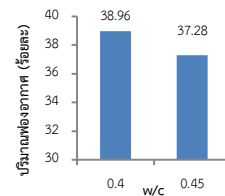


รูปที่ 1 ปัจจัยของความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก

การลดปริมาณน้ำในส่วนผสมจะส่งผลให้ปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตลดลง [8,9] ในขณะที่การลดปริมาณของปูนซีเมนต์และการเพิ่มปริมาณของโพนเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตนั้นทำให้ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตเพิ่มขึ้น [8] ดังนั้นจึงทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์สูงมีปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ต่ำได้ แสดงว่าปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตโดยตรง

ในการพิจารณาถึงผลของปัจจัยของความหนาแน่นของคอนกรีตที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก ทำได้โดยพิจารณาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในสูตรที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ (s:c) และปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากที่เท่ากัน แต่มีความหนาแน่นของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดสอบในตารางที่ 2 สามารถนำผลการทดสอบที่ได้มาแสดงผลของความหนาแน่นของคอนกรีตที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากได้ดังแสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 พบว่า สำหรับคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ (s:c) และปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากที่เท่ากัน คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีความหนาแน่นสูงจะมีแนวโน้มของปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า (ยกเว้นรูปที่ 1 ญ))

ก) 1800 kg/m³ และ s:c = 2:1ข) 1800 kg/m³ และ s:c = 3:1ก) 1800 kg/m³ และ s:c = 3:1ข) 1800 kg/m³ และ s:c = 4:1ค) 1800 kg/m³ และ s:c = 4:1ง) 1600 kg/m³ และ s:c = 2:1ค) 1600 kg/m³ และ s:c = 2:1ง) 1600 kg/m³ และ s:c = 3:1จ) 1600 kg/m³ และ s:c = 3:1ฉ) 1600 kg/m³ และ s:c = 4:1จ) 1600 kg/m³ และ s:c = 4:1

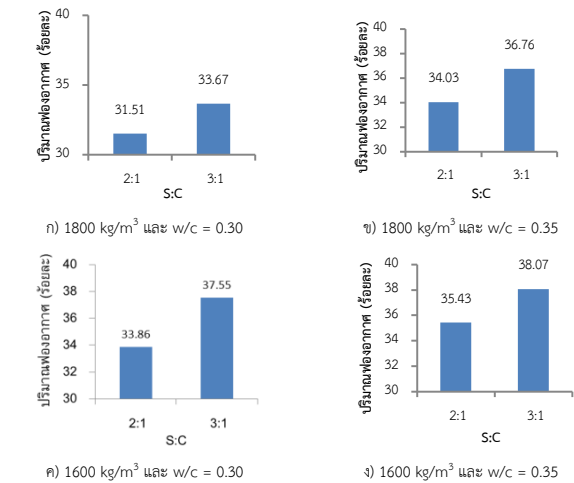
รูปที่ 2 ปัจจัยของอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ากรณีใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 0.5

รูปที่ 3 ปัจจัยของอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ากรณีใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 1.0

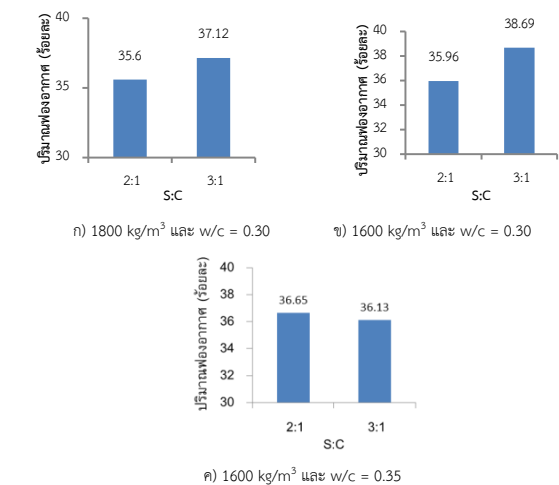
4.2 อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์

ในการพิจารณาถึงผลของปัจจัยของอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก ทำได้โดยการพิจารณาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในสูตรที่มีความหนาแน่นอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ (s:c) และปริมาณสารลดน้ำปริมาณมาก (FF) ที่เท่ากัน แต่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดสอบในตารางที่ 2 สามารถนำผลการทดสอบที่ได้มาแสดงผลของอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากได้ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3

เมื่อกำหนดให้ความหนาแน่น (density) อัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ (s:c) และปริมาณสารลดน้ำปริมาณมากของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (FF) ให้มีค่าเท่ากัน ในกรณีของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 0.5 ในรูปที่ 2 พบว่า ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่สูงจะมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณฟองอากาศในตัวอย่างคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่ต่ำกว่า (ยกเว้นรูปที่ 2ฉ) ทั้งนี้เกิดจากการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต และการที่จะรักษาความหนาแน่นของคอนกรีตให้คงที่ก็ต้องลดปริมาณทรายปูนซีเมนต์และโพนในส่วนผสมลง ซึ่งการเพิ่มปริมาณน้ำ การลดปริมาณทราย และลดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม



รูปที่ 4 ปัจจัยของอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 0.5



รูปที่ 5 ปัจจัยของอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 1.0

คอนกรีตจะทำให้ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตเพิ่มขึ้น [8,9] สูงกว่าปริมาณฟองอากาศที่ลดลงเนื่องจากการลดปริมาณของโพนในส่วนผสมของคอนกรีต

แต่ในกรณีของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 1 ในรูปที่ 3 กลับให้ผลลัพธ์ตรงกันข้ามกับกรณีแรก กล่าวคือ ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่

มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่สูงจะมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณฟองอากาศในตัวอย่างคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่ต่ำกว่า (ยกเว้นรูปที่ 3ค) ซึ่งหากดูจากตารางที่ 1 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาจะพบว่า ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตในกรณีของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 0.5 และร้อยละ 1 ในสูตรผสมที่ใช้ความหนาแน่น อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เท่ากัน จะมีปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ และโพนที่เท่ากัน แตกต่างกันเพียงปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากเท่านั้น แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าส่งผลกระทบต่อปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตทำให้ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีแนวโน้มลดลงในสูตรที่ใช้ความหนาแน่น และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์คงที่ แต่เพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ได้

4.3 อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์

ในการพิจารณาถึงผลของปัจจัยของอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากทำได้โดยการพิจารณาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในสูตรที่มีความหนาแน่น อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) และปริมาณสารลดน้ำปริมาณมาก (FF) ที่เท่ากัน แต่มีอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดสอบในตารางที่ 2 สามารถนำผลการทดสอบที่ได้มาแสดงผลของอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากได้โดยแยกตามปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากในคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5

จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่าเมื่อกำหนดให้ความหนาแน่น (density) อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ (w/c) และปริมาณสารลดน้ำปริมาณมาก (FF) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสให้มีความเท่ากัน ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสซึ่งใส่สารลดน้ำปริมาณมากที่มีอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่สูงจะมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตสูงกว่าตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสซึ่งใส่สารลดน้ำปริมาณมากที่มีอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่ต่ำกว่า (ยกเว้นกรณีรูปที่ 5ค)) ทั้งนี้ในทางทฤษฎี ถึงแม้ว่าการเพิ่มปริมาณทรายในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะช่วยลดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสก็ตาม [8] การจะรักษาให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีความหนาแน่นคงที่ได้นั้น (จากตารางที่ 1) ต้องทำการลดปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ และทำการเพิ่มปริมาณโฟมเข้าไปในส่วนผสม ซึ่งการลดปริมาณน้ำจะทำให้ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตลดลง [9] แต่การลดปริมาณปูนซีเมนต์ และการเพิ่มปริมาณโฟมทำให้ปริมาณฟองอากาศเพิ่มสูงขึ้น [8] อย่างมีนัยสำคัญจนทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสซึ่งใส่สารลดน้ำปริมาณมากที่มีอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่สูงจะมีปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตสูงกว่าตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสซึ่งใส่สารลดน้ำปริมาณมากที่มีอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่ต่ำกว่า

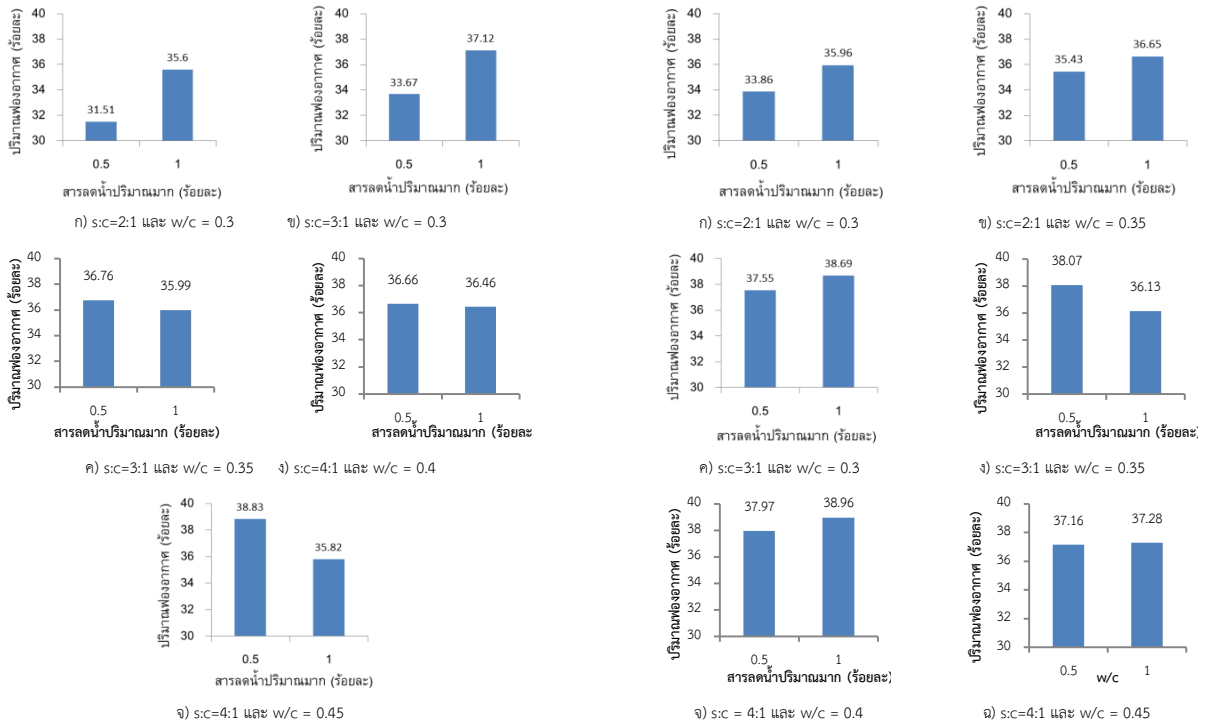
4.4 ปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมาก

การพิจารณาถึงผลของปัจจัยของปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก ทำได้เช่นเดียวกับการพิจารณาถึงผลของปัจจัยอื่นที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยการพิจารณาค่าปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในสูตรที่มี

ความหนาแน่น อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ (w/c) และอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ (s:c) ที่เท่ากัน แต่มีปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากในส่วนผสมของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดสอบในตารางที่ 2 สามารถนำผลการทดสอบที่ได้มาแสดงผลของปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก โดยแยกพิจารณาตามความหนาแน่นของคอนกรีตได้ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7

จากตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตในกรณีของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 0.5 และร้อยละ 1 ในสูตรผสมที่ใช้ความหนาแน่นอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ที่เท่ากัน จะมีปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ และโฟมที่เท่ากัน แตกต่างกันเพียงปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากเท่านั้น โดยการใส่สารลดน้ำปริมาณมากเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตทำขึ้นเพื่อให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสได้เพิ่มกำลังรับแรงอัด และเพิ่มปริมาณฟองอากาศขึ้นภายในคอนกรีตอีกด้วย ซึ่งจากการสังเกตลักษณะความชื้นของคอนกรีตสดที่ได้พบว่า คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีความหนาแน่นเท่ากับ $1,600 \text{ kg/m}^3$ จะเหลว และไหลได้ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีความหนาแน่นเท่ากับ $1,800 \text{ kg/m}^3$ และในสูตรผสมที่มีความหนาแน่นของคอนกรีตที่เท่ากัน สูตรผสมที่มีอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ที่สูงจะมีลักษณะของเนื้อคอนกรีตสดที่เหลวกว่าสูตรผสมที่มีอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ที่ต่ำกว่า

จากรูปที่ 6 และ 7 พบว่าในสูตรผสมที่ใช้ความหนาแน่นอัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ที่เท่ากัน การเพิ่มสารลดน้ำปริมาณมากจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 1 ช่วยเพิ่มปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตมวลเบาแบบ



รูปที่ 6 ปัจจัยของปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก เมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตเท่ากับ 1800 kg/m³

เซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 1 ในสูตรผสมที่มีอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต่ำ (รูปที่ 6ก)-6ข) และ 7ก)-7ค)) ซึ่งคอนกรีตสดในกรณีนี้จะมีลักษณะค่อนข้างข้น และไม่ค่อยไหล ในขณะที่มีแนวโน้มจะไม่ส่งผลต่อปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตในสูตรผสมที่มีอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่สูง (รูปที่ 6ค)-6จ) และ 7ง)-7ฉ)) ซึ่งคอนกรีตสดในกรณีนี้จะมีลักษณะค่อนข้างเหลว และไหลได้ดี

5. สรุป

จากผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ พบว่า

- 1) ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่คำนวณโดยใช้ความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน

รูปที่ 7 ปัจจัยของปริมาณสารลดน้ำปริมาณมากที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก เมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตเท่ากับ 1600 kg/m³

ASTM C 128 สำหรับคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากซึ่งมีความหนาแน่นตั้งแต่ 1,600–1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตอยู่ในช่วงร้อยละ 31.51–38.96 โดยที่ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตโดยตรง โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณฟองโม่ที่ใส่เข้าไปในเนื้อคอนกรีตเป็นหลัก

- 2) ผลของปัจจัยของความหนาแน่นและส่วนผสมอื่นในคอนกรีตนอกเหนือจากปริมาณโม่ที่มีต่อปริมาณของฟองอากาศภายในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก มีดังนี้
 - 2.1) ความหนาแน่นของคอนกรีต

เมื่อกำหนดให้ปัจจัยของส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีค่าคงที่ พบว่าเมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากมีแนวโน้มของปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาลดลง

2.2) อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์

เมื่อกำหนดให้ความหนาแน่น และปัจจัยของส่วนผสมอื่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าให้มีค่าคงที่ พบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากมีแนวโน้มลดลงเฉพาะในสูตรที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 0.5 แต่กลับให้ผลตรงกันข้ามกับสูตรที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากร้อยละ 1

2.3) อัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์

เมื่อกำหนดให้ความหนาแน่น และปัจจัยของส่วนผสมอื่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าให้มีค่าคงที่ พบว่า เมื่ออัตราส่วนทรายตอปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใส่สารลดน้ำปริมาณมากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.4) ปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมาก

เมื่อกำหนดให้ความหนาแน่น และปัจจัยของส่วนผสมอื่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าให้มีค่าคงที่ พบว่า เมื่อปริมาณของสารลดน้ำปริมาณมากในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตสูงขึ้นเฉพาะในสูตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใช้อัตราส่วนทราย

ตอปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ที่ต่ำเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 โดยได้รับการประเมินข้อเสนอจากสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะผู้เขียนขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย และขอขอบพระคุณบริษัท LCM ประเทศไทยจำกัดที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และบริษัท Sika ประเทศไทยจำกัดที่ได้ให้การสนับสนุนสารสร้างฟองโฟมและสารลดน้ำปริมาณมาก และบทความนี้ได้รับการสนับสนุนด้านเครื่องมือทดสอบจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shetty MS. *Concrete Technology: Theory and Practice*. New Delhi: S.CHAND&COMPANY; 2000.
- [2] Gambhir ML. *Concrete Technology: Theory and Practice, 5^{ed}*. New Delhi: McGraw Hill Education (India) Private Limited; 2013.
- [3] Thai Industrial Standard Institute. Ministry of Industry 2601-2556. Cellular Lightweight Concrete Blocks using Preformed Foam. TIS 2601-2556. 2556.
- [4] Robler M, Odler I. Investigations on the relationship between porosity, structure and strength of hydrated portland cement pastes: Effect of porosity. *Cement and Concrete Research*. 1985; 15: 320-30.
- [5] Hoff GC. Porosity-strength considerations for cellular concrete. *Cement and Concrete Research*. 1972; 2: 91-100.

- [6] Ziembika H. Effect of micropore structure on cellular concrete shrinkage. *Cement and Concrete Research*. 1977; 7: 323–32.
- [7] Roulet CA. Expansion of aerated concrete due to frost determination of critical saturation. In: *Wittmann FH, editor. Proceedings Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties*. Amsterdam: Elsevier; 1983. p. 157–69.
- [8] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร์. คอนกรีตเทคโนโลยี. บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด (CPAC) พิมพ์ครั้งที่ 4. 2540.
- [9] Powers TC. Topics in Concrete Technology, 3. *Mixture Containing Intentionally of Entrained Air Journal of the PCA Research and Development Laboratories*. 1964; 6(3): 19–41.
- [10] Nambiar EKK, Ramamurthy K. Air void characterisation of foam concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2007; 37: 221–230.
- [11] ธนกร ทวีวุฒิ, นท แสงเทียน, วิวัฒน์ พัวทัศนานนท์. ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส. *วิศวกรรมลาดกระบัง*. 2558; 38(2): 67–72.
- [12] ASTM C128-97. *Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken: ASTM International; 2001.
- [13] Craig RF. *Soil Mechanics*. Chapman &Hall; 1996.