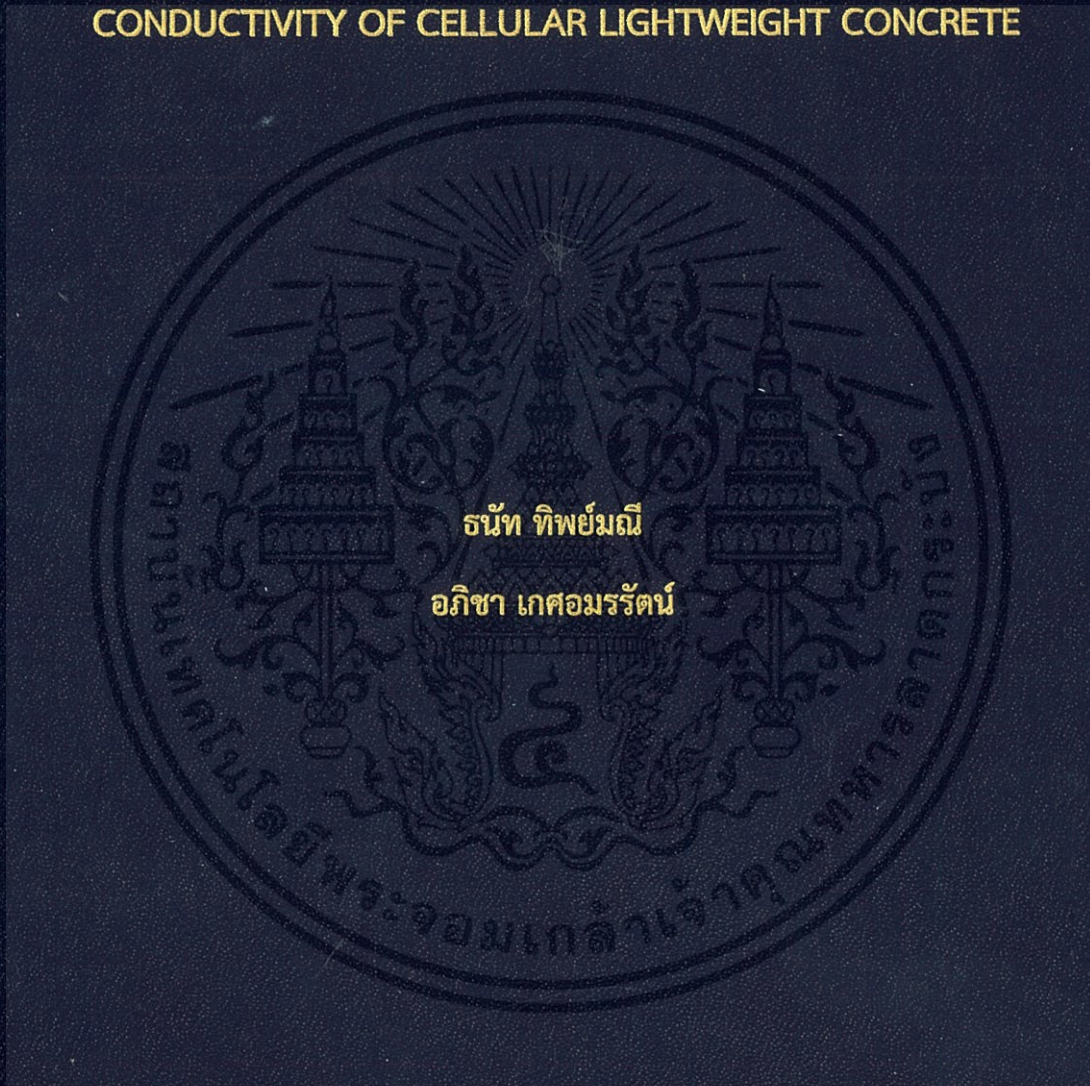


การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปั่นฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีต  
กับกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อนของ  
คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

THE RELATIONSHIP OF MIXING TIME WITH COMPRESSIVE  
STRENGTH, DENSITY, WATER ABSORPTION AND THERMAL  
CONDUCTIVITY OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE



ธนัท ทิพย์มณี

อภิชา เกศอมรรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการบ่มโฟมใหญ่เข้ากับคอนกรีต  
กับกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อนของ  
คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

THE RELATIONSHIP OF MIXING TIME WITH COMPRESSIVE  
STRENGTH, DENSITY, WATER ABSORPTION AND THERMAL  
CONDUCTIVITY OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE RELATIONSHIP OF MIXING TIME WITH COMPRESSIVE  
STRENGTH, DENSITY, WATER ABSORPTION AND THERMAL  
CONDUCTIVITY OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE



Tanat Thipmanee  
Apicha Ketamornrat

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปั่นพองโฟมให้เข้ากับ  
คอนกรีตกับกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการนำ  
ความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า



นักศึกษา นาย อภิชา เกศอมรรรัตน์ รหัสประจำตัว 58011405

นาย ธนัท ทิพย์มณี รหัสประจำตัว 58010532

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อำพน จรัสจรวงเกียรติ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร	
รศ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
ผศ.ดร. อำพน จรัสจรวงเกียรติ	
ผศ.ดร. อัญญาวิทย์ สุจริตพงศ์	
อาจารย์ ทรงกลด แซ่อึ้ง	
ดร. ณิชฐิตนัย สนิสมุทรมดวง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปั่นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตกับกำลังรับ  
แรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบ  
เซลลูโลส

นาย อภิชา เกศอมรรตน์ รหัสประจำตัว 58011405

นาย ธนัท ทิพย์มณี รหัสประจำตัว 58010532

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา : อ.อำพน จรัสจรุงเกียรติ

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปั่นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตกับกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส เนื่องจากในปัจจุบันคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเริ่มเป็นที่รู้จักและนิยมมากขึ้น แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์การผลิตที่ตายตัว ดังนั้นจึงได้จัดทำการศึกษาวิจัยนี้ขึ้นโดยทำการหล่อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสขึ้น โดยใช้เวลาในการปั่นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ต่างกันไป และนำไปทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ หาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดังกล่าวกับเวลาในการปั่นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีต เพื่อนำไปอ้างอิงและพัฒนาในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: อิฐมวลเบา, CLC, เวลาในการปั่นโพน

# THE RELATIONSHIP OF MIXING TIME WITH COMPRESSIVE STRENGTH, DENSITY, WATER ABSORPTION AND THERMAL CONDUCTIVITY OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE

Tanat Thipmanee, Student ID 58010532

Apicha Ketamornrat Student ID 58011405

Advisor Dr.-Ing.Amphon Jarasjarungkiat

Academic year 2018

## Abstract

This research aims to find the relationship of mixing time with compressive strength, density, water absorption and thermal conductivity of Cellular Lightweight Concrete. Because nowadays, Cellular Lightweight Concrete is more known and more popular but there is no exactly fixed formula. So, this research was conducted by casting Cellular Lightweight Concrete with different mixing time and testing the compressive strength, density, water absorption and thermal conductivity. Then, Analyse and find the relationship of mixing time with such properties to improve Cellular Lightweight Concrete's production and be referenced in future research.

Keywords: CLC, Lightweight concrete, Mixing Time

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของ  
ทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อำพน จรัสจรวงเกียรติ ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอย  
แนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเรา  
ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้ง  
ด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดี  
ยิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำ  
โครงการ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน  
และเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าว  
มา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ธนัท ทิพย์มณี

อภิชา เกศอมรรัตน์

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มา และความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานในงานวิจัย.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	4
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 คอนกรีตมวลเบา.....	6
2.1.1 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา.....	6
2.1.2 โฟมคอนกรีต.....	8
2.1.3 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด.....	9
2.2 ประเภทของคอนกรีตมวลรวมเบาตามการผลิต.....	10
2.2.1 คอนกรีตมวลรวมที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูง.....	10
2.2.2 คอนกรีตมวลรวมที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูง.....	11
2.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา.....	12
2.4 การบ่มคอนกรีต.....	12
2.4.1 การบ่มที่อุณหภูมิปกติ.....	13
2.4.2 การบ่มที่อุณหภูมิสูง.....	15
2.5 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา.....	16
2.6 การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบา.....	17
2.7 การหดตัวของคอนกรีต.....	18
2.7.1 การหดตัวแบบอโตจีเนียส.....	18

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7.2 การหัดตัวแบบแห้ง.....	18
2.8 การประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในปัจจุบัน.....	18
2.9 มาตรฐานคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า.....	19
2.10 จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา.....	21
2.11 ข้อเสนอจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	26
3.1 บทนำ.....	26
3.2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....	26
3.2.1 ปูนซีเมนต์.....	26
3.2.2 มวลรวมละเอียด.....	26
3.2.3 น้ำ.....	26
3.2.4 น้ำยาสร้างฟองโฟม.....	26
3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา.....	27
3.4 การทดสอบเพื่อช่วยในการออกแบบการทดลอง.....	29
3.4.1 การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของทราย.....	29
3.5 การออกแบบการทดลอง.....	30
3.6 วิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า.....	30
3.6.1 เตรียมอุปกรณ์ และส่วนผสมตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ให้พร้อม.....	30
3.6.2 เริ่มทำการผสมคอนกรีต.....	30
3.6.3 เทคอนกรีตลงแบบหล่อ.....	31
3.6.4 แกะแบบหล่อ.....	31
3.7 การทดสอบคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า.....	31
3.7.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด.....	31
3.7.2 การทดสอบหาความหนาแน่นแห้ง.....	32
3.7.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ.....	32
3.7.4 การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพนำความร้อน.....	32
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	34
4.1 บทนำ.....	34
4.2 วิเคราะห์ลักษณะของผิวตัวอย่าง และปริมาณฟองโฟมภายในตัวอย่างทดสอบ.....	34

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3.1 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด.....	41
4.3.2 อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด.....	42
4.3.3 เวลาในการบั่นคอนกรีตมวลเบา ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต.....	43
4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของคอนกรีตเซลลูล่า.....	44
4.4.1 อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อความหนาแน่น.....	48
4.4.2 เวลาในการบั่นคอนกรีตมวลเบา ที่มีผลต่อความหนาแน่น.....	49
4.5 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า.....	50
4.5.1 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ.....	54
4.5.2 อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ.....	55
4.5.3 เวลาในการบั่นคอนกรีตมวลเบา ที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ.....	56
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 การผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า.....	58
5.2 การวิเคราะห์แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการบั่นฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีตและอัตราส่วนน้ำ ตอปูนซีเมนต์กับคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความ ร้อน.....	58
5.2.1 ผลต่อคุณสมบัติการรับแรงอัด.....	59
5.2.2 ผลต่อคุณสมบัติความหนาแน่น.....	59
5.2.3 ผลต่อคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ.....	60
5.3 การสรุปผลการศึกษาคงสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำ ความร้อน.....	61
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน.....	4
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง CLC และ AAC.....	12
2.2 ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่วิธีการทดสอบแบบต่างๆ [1].....	17
2.3 ชนิดของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 [2].....	20
2.4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 [2].....	20
2.5 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 [2].....	21
4.1 กำลังรับแสงอัดของคอนกรีตมวลเบาเซลล์ูล่าที่เวลาต่าง ๆ.....	38
4.2 ผลการทดสอบของหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต.....	45
4.3 ผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเซลล์ูล่า.....	51
5.1 ความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด เมื่อเวลาในการปั้นเปลี่ยนไป.....	59
5.2 ความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติความหนาแน่น เมื่อเวลาในการปั้นเปลี่ยนไป.....	59
5.3 ความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ เมื่อเวลาในการปั้นเปลี่ยนไป.....	60
5.4 ผลการทดสอบสูงสุด และต่ำสุดของคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน.....	61

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ.....	6
2.2 มวลรวมเบาที่ได้จากการผลิต.....	7
2.3 ภาพตัดของโฟมคอนกรีต.....	9
2.4 ภาพคอนกรีตที่ไม่มีสัดส่วนละเอียด (no fines concrete).....	10
2.5 ความสัมพันธ์ของอายุคอนกรีตกับกำลังรับแรงอัด.....	13
2.6 การบ่มโดยเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต / การชั่ง หรือหล่อ น้ำ / การคลุมด้วยวัสดุเปียกชื้น.....	14
2.7 การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต / การบ่มในแบบหล่อ / การใช้กระดาษกันน้ำซึม / การใช้แผ่นพลาสติกคลุม / การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต.....	15
2.8 เครื่องบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำความดันสูง.....	16
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเปอร์เซ็นต์โฟมที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ.....	23
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเปอร์เซ็นต์โฟมที่ค่าซีเมนต์ต่อทรายต่าง ๆ.....	23
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับปริมาณโฟมที่ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ.....	24
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำของเปอร์เซ็นต์โฟมที่ค่าปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ.....	24
3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา / ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท / ทรายสะอาดความละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 60.....	27
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ / ไม้ผสมคอนกรีต / แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 cm. / เครื่องชั่งน้ำหนัก / แบบหล่อคอนกรีตขนาดขนาด 20x20x5 cm.....	28
4.1 ลักษณะของตัวอย่างที่เวลาในการบ่ม 1 นาที่ / ผิวปริมาณฟองโฟมภายใน.....	34
4.2 ลักษณะของตัวอย่างที่เวลาในการบ่ม 3 นาที่ / ผิวปริมาณฟองโฟมภายใน.....	35
4.3 ลักษณะของตัวอย่างที่เวลาในการบ่ม 5 นาที่ / ผิวปริมาณฟองโฟมภายใน.....	36
4.4 ลักษณะของตัวอย่างที่เวลาในการบ่ม 7 นาที่ / ผิวปริมาณฟองโฟมภายใน.....	36
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับกำลังรับแรงอัด.....	41
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัด.....	42
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการบ่มกับกำลังรับแรงอัด.....	43
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัด.....	48
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการบ่มกับกำลังรับแรงอัด.....	49
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ.....	54
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ.....	55
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ.....	56
<b>รูปผนวก</b>	
ข.1 ลักษณะการชำรุดของทรงกระบอกคอนกรีตรับแรงอัดประลัย.....	68
ข.2 ลักษณะการชำรุดของลูกบาศก์คอนกรีตในการทดสอบกำลังประลัย.....	69

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มา และความสำคัญ

ในปัจจุบัน คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในวงการก่อสร้างอย่างมาก และต่อไปในอนาคตก็ยังคงเป็นคอนกรีตที่เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างต่างๆ ซึ่งได้มีการศึกษา วิจัย และพัฒนาคอนกรีตมาตลอดอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เหมาะสมสำหรับงานต่างๆ และพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตขึ้นไปเรื่อยๆ ซึ่งตัวคอนกรีตจะมีน้ำหนักค่อนข้างมาก ทำให้ตัวโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างจะมีน้ำหนักในตัวมาก หรือก็คือทำให้มีน้ำหนักมาก จึงได้มีการคิดค้นวิธีการทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาลง เพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างอาคาร จึงได้เกิดคอนกรีตมวลเบาขึ้น ซึ่งคอนกรีตมวลเบาสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามวัสดุที่ใช้ผลิตได้ คือ คอนกรีตมวลเบาแบบไม่มีส่วนผสมมวลรวมละเอียด คอนกรีตมวลเบาแบบใช้มวลรวมเบา และคอนกรีตพรุน ซึ่งในคอนกรีตพรุนสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามกรรมวิธีในการผลิต คือ คอนกรีตมวลเบาแบบประเภทมีฟองอากาศและผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved Aerated Concrete : AAC) และคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส (Cellular Lightweight Concrete : CLC) สำหรับคอนกรีตมวลเบาแบบประเภทมีฟองอากาศและผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงในประเทศไทยได้มีมาตรฐานการผลิตแล้ว ซึ่งคือ ม.อ.ก.1505-2541 และ ม.อ.ก.1510-2541 ซึ่งเป็นการผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และมีการลงทุนสูง แต่สำหรับคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ใช้ต้นทุนต่ำ และผลิตได้ง่าย ยังไม่มีสูตรการผลิตที่แน่นอน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้จัดทำการศึกษาวิจัยที่มุ่งเน้นไปที่หนึ่งในปัจจัยของการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ซึ่งก็คือเวลาในการบ่มโพนให้เข้ากับคอนกรีต โดยโครงการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่ความสัมพันธ์ของเวลาในการบ่มโพนกับกำลังรับแรงอัด การนำความร้อน ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของเวลาในการปั่นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ากับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.2.2 เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของเวลาในการปั่นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ากับความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.2.3 เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของเวลาในการปั่นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ากับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.2.4 เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของเวลาในการปั่นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ากับการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.2.5 เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ และใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิจัย และพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าต่อไป

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ข้อกำหนดของตัวแปรที่สำคัญสำหรับงานวิจัย ได้แก่

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีเวลาในการปั่นโม่ให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1 3 5 และ 7 นาที

1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีเวลาในการปั่นโม่ให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1 3 และ 5 นาที

1.3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

1.3.4 ทรายสะอาด ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 60

1.3.5 อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1

1.3.6 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.7 น้ำยาสร้างฟองโฟม ( High Performance Foaming Agents ) PLP Foam A80 โดยผสมน้ำยาสร้างฟองโฟมกับน้ำในอัตราส่วน 1:80 ของบริษัท โพลีคอนพลัส จำกัด และใช้ผสมในปริมาณร้อยละ 60 ของปริมาตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

#### 1.4 สมมุติฐานในงานวิจัย

1.4.1 เวลาในการป่นโฟมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะแปรผกผันกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

1.4.2 เวลาในการป่นโฟมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะแปรผกผันกับความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

1.4.3 เวลาในการป่นโฟมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะแปรผันตรงกับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

1.4.4 เวลาในการป่นโฟมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน

แผนงาน	เดือน									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	พ.ค.	
กำหนดหัวข้อโครงการงานวิจัย วัตถุประสงค์										
ประชุม และปรึกษาโครงการงาน - ผลการดำเนินงานตามแผนการดำเนินงาน - ปัญหา และอุปสรรคในการดำเนินงาน - การปรับแผนงานให้เข้ากับการดำเนินงานปัจจุบัน										
ศึกษาโครงการงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
ออกแบบการทดลอง พร้อมกำหนดขอบเขตการทดลอง										
นำเสนอหัวข้อโครงการงาน										
จัดหาวัสดุ อุปกรณ์ และแลปทำการทดสอบ										
เริ่มทำการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่เวลาในการปั้นโฟมต่างกัน พร้อมหล่อตัวอย่างทดสอบ										
นำเสนอรายงานความก้าวหน้าของโครงการงาน										
ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุบ่ม 28 วัน และทำการหาความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ										
ส่งตัวอย่างไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน										
วิเคราะห์ผลการทดสอบ และสรุปผลการทดสอบ										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ทราบความสัมพันธ์ของเวลาในการปั่นโพนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ากับกำลังรับแรงอัด การนำความร้อน ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1.6.2 คาดว่าผลการศึกษามีประโยชน์ และสามารถนำไปต่อยอดในการวิจัย และพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าได้ต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete)

คอนกรีตมวลเบาคือคอนกรีตที่มีมวลรวมเบามากกว่าคอนกรีตปกติ คอนกรีตปกติมีน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ 2200-2600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เราจึงหาวิธีทำให้คอนกรีตปกติมาทำให้น้ำหนักเบาโดยการหาวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยมาแทนวัสดุที่มีความหนาแน่นมากและเกิดคุณสมบัติที่พิเศษมากกว่าคอนกรีตมวลเบาปกติ เช่น วัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทนต่อไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียงตัดแต่งรูปทรงให้เหมาะกับการใช้งานง่าย ลดต้นทุนของงานโครงสร้างโดยรวม โดยแบ่งตามประเภทการใช้งานได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

##### 2.1.1 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate Concrete)

มีน้ำหนักแห้งระหว่าง 60-1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เทียบกับ 1,000-1,750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ของมวลรวมปกติ โดยใช้วัสดุที่มีมวลเบาและมีรูพรุนอยู่ภายใน แทนมวลรวมหยาบ ทำให้คอนกรีตมวลรวมเบามีน้ำหนักน้อย รับน้ำหนักไม่ได้มาก และดูดซับน้ำได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา เราสามารถจำแนกมวลรวมเบาออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

(1) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หิน Vermiculite, Pumice และ Scoria ซึ่งเป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ เกิดขึ้นใช้ผสมทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมากนักและมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก



ภาพที่ 2.1 มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) มวลรวมเบาที่ได้จากการผลิต มวลรวมเบาที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

- Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศแล้วนำไปเผาในหม้อเผา ที่ 1,200 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้จะมีการขยายตัวลักษณะของหินพวกนี้จะมีรูปร่างกลม แข็ง ผิวเรียบ แต่เนื้อในเป็นโพรงอากาศ

- Expanded Shale Aggregate ได้จากการนำดินดาน (Shale) มาผสมถ่านที่บดละเอียดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสวัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกันจะเป็นหินที่มีความแข็งมากหลังจากที่เผามวลรวมทั้งสองนี้ได้ทีแล้ว นำมวลรวมที่ได้ไปย่อยสลายให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ มวลรวมชนิดนี้นิยมจะใช้ผลิตคอนกรีตเบา

- Sintered Fly Ash ได้จากการนำเอา Fly Ash หรือ PFA ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินไปทำเป็นเม็ดก่อนแล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 ° C ณ อุณหภูมินี้อุณหภูมิของ Ash จะเกาะกันผิวของมวลรวมเบาชนิดนี้ค่อนข้างเรียบ



ก

ข

ค

ภาพที่ 2.2 มวลรวมเบาที่ได้จากการผลิต (ก) Expanded Clay Aggregate (ข) Expanded Shale Aggregate

(ค) Sintered Fly Ash

(3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือวัสดุเหลือใช้พวกพลาสติกบางชนิด ใส่ผสมเข้าไปคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) มวลรวมที่ได้จากของเหลือของการผลิต พวก Furnace Bottom ได้จากโรงงานไฟฟ้าถ่านหิน

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมเบา

- หน้หน่วยน้ำหนัก หรือ ความหนาแน่น 300 – 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 4 – 480 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ในปริมาณความสามารถเท่าได้เท่ากัน คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา จะมีค่ายุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป
- การนำความร้อนต่ำ เหมาะที่จะนำไปใช้ทำเป็นฉนวนความร้อน รวมทั้งยังมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ
- การดูดซึมน้ำสูง
- ค่า Modulus of Elasticity ต่ำ
- ความสามารถทนไฟได้ดี
- ความเค้นแรงดึงมากกว่าคอนกรีตปกติ
- Creep จะเหมือนกับคอนกรีตปกติ

(2) โฟมคอนกรีต (Aerated or Foam Concrete)

(3) คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)

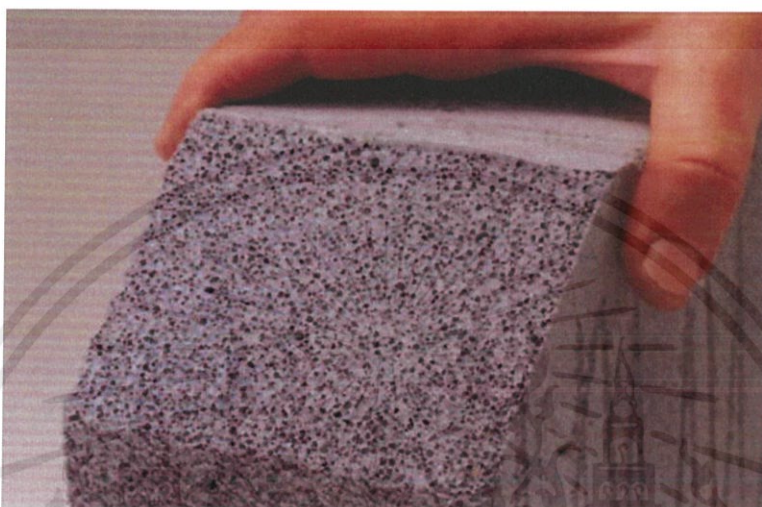
### 2.1.2 โฟมคอนกรีต (Aerated Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้จะผสมโฟมที่มีขนาด 0.1-1 มิลลิเมตรลงไปคอนกรีต ทำให้น้ำหนักของคอนกรีตเบา ในการผสมโฟมคอนกรีตมีการผสมแบ่งได้ 3 วิธี ได้แก่

(1) การผสมสารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming Mixture) เป็นการใส่สารกักการกระจายของฟองอากาศผสมลงไปคอนกรีต ฟองอากาศจะกระจายตั้งสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตนี้จึงเต็มไปด้วยฟองอากาศทำให้น้ำหนักของคอนกรีตโฟมเบากว่าคอนกรีตปกติ

(2) การผสมโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Aerating) การใช้สารเคมีพวก ผงอลูมิเนียมผสมกับคอนกรีต หลังจากการบ่มเข้าด้วยกันแล้ว จะทำให้เกิด Aerated Concrete โดยการทำให้เกิดฟองอากาศเล็กๆจำนวนมากในเนื้อคอนกรีต

(3) การผสมโดยทำให้เกิดโฟมก่อนแล้วผสมกับมอร์ต้า เป็นวิธีการสร้างฟองก่อนแล้วจึงผสมร่วมกับซีเมนต์เฟลสต์ (Preformed foam) อาจเรียกคอนกรีตประเภทนี้ว่า Foam Aerated Concrete หรือ Cellular Lightweight Concrete



ภาพที่ 2.2 โฟมคอนกรีต

คุณสมบัติที่สำคัญของโฟมคอนกรีต

- กำลังอัดและความสามารถนำความร้อนจะแปรผันโดยตรงต่อหน่วยน้ำหนัก
- กำลังอัดจะเพิ่มขึ้น ถ้าทำการบ่มโดยวิธีที่ใช้ไอน้ำที่มีความดันสูง
- มีความสามารถทนไฟได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ
- การดูดซึมน้ำสูง
- สามารถเลื่อยหรือตอกตะปูได้

### 2.1.3 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)

คือคอนกรีตที่ไม่ผสมมวลรวมละเอียดลงไปคอนกรีต เพื่อไม่ให้มวลรวมละเอียดไปอุดอันในช่องว่างที่เกิดภายในของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา คอนกรีตประเภทนี้จึงไม่มีทรายผสมอยู่ ทำให้มีโพรงหรือช่องว่างอยู่มากในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดค่อนข้างต่ำ มักไม่ใช้เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กกำลังอัดของคอนกรีตประเภทนี้อยู่ระหว่าง 18 – 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโดยตรงต่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ มวลรวมหยาบหลักที่ใช้ในการทำคอนกรีต

ชนิดนี้ คือ Gravel, Crushed stone, Coarseclinker, Sintered pulverized-fuel ash, Expanded clay และ Expanded slate



ภาพที่ 2.4 คอนกรีตที่ไม่มีสัดส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมละเอียด

- เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี
- ลดน้ำหนักของโครงสร้าง
- แรงดันที่เกิดขึ้นกับไม้แบบน้อย
- การดูดซึมน้ำมาก

## 2.2 ประเภทของคอนกรีตมวลรวมเบาตามการผลิต

### 2.2.1 คอนกรีตมวลรวมเบาที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูง (Non-Autoclaved Concrete)

(1) คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC (Cellular Lightweight Concrete) ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์, ทราย, น้ำ และน้ำยา Foaming Agent ที่มาผสมกันในอัตราส่วนที่กำหนด โดยโฟมจะมาจาก การเอาโฟมผสมกับน้ำแล้วใช้เครื่องอัดอากาศที่มีแรงดันสูงทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็ก แล้วแทรกเข้าไปอยู่ในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา จึงมีคุณสมบัติพิเศษที่ต่างจากคอนกรีตมวลรวมเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไป ดูดซึมน้ำน้อยมาก สามารถนำไปก่อนผนัง ตอกตะปูได้ ไม่เกิดเชื้อรา ลดน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร ประหยัดเวลาและแรงงานช่วยลดต้นทุน

(2) ใช้วัสดุเบาเข้ามาทดแทน เช่น ซีลี้อย ซีโก้ ชานอ้อย หรือเม็ดโฟม แทนวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง

## 2.2.2 คอนกรีตมวลรวมเบาที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูง (AAC: Autoclaved Aerated Concrete)

เป็นวัสดุที่นิยมมากในปัจจุบันเนื่องจากเป็นวัสดุที่ป้องกันความร้อนได้ดีกว่าวัสดุที่มีมา เพราะมีรูพรุนไม่ต่อเนื่องที่อยู่ในเนื้อวัสดุประมาณ 75 % ซึ่งผลจากความเบาจะทำให้ประหยัดค่าโครงสร้างอีกทั้งพองอากาศเหล่านี้ช่วยเป็นฉนวนความร้อนที่ดี แต่พบปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้างจะมีการแตกร้าวของผนังหลังปูนฉาบแห้ง และมีการดูดซึมน้ำมากทำให้เกิดเชื้อราได้ ซึ่งประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทราย ปูนขาว ยิปซัม สารการกระจายพองอากาศ และถูกทำให้แข็งด้วยการอบไอน้ำภายใต้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และมีสัดส่วนการผสมคอนกรีตมวลเบาดังนี้

- ทรายละเอียดสัดส่วน 50 %
- ยิปซัม สัดส่วน 9 %
- ปูนขาว สัดส่วน 9 %
- ซีเมนต์ 30 %
- ผงอลูมิเนียมสัดส่วน 2 %

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง CLC และ AAC

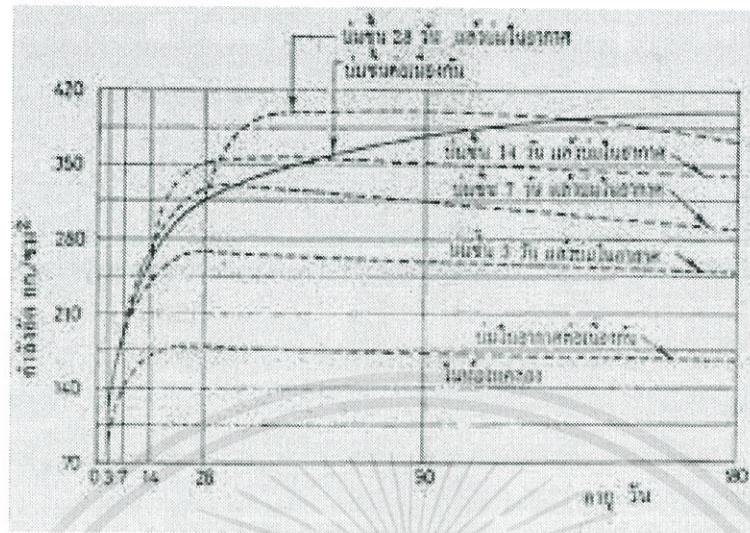
	AAC	CLC
ข้อดี	<ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำหนักเบา</li> <li>- แข็งแรงกว่าCLCที่มีความหนาแน่นเท่ากัน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การดูดซึมน้ำต่ำ</li> <li>- ใช้ปูนก่อฉาบชนิดธรรมดา</li> <li>- ต้นทุนการผลิตต่ำ</li> <li>- ผลิตง่าย</li> </ul>
ข้อเสีย	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การดูดซึมน้ำสูง</li> <li>- ใช้ปูนก่อฉาบชนิดพิเศษ</li> <li>- ต้นทุนการผลิตสูง</li> <li>- ขั้นตอนการผลิตยุ่งยาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำหนักมากกว่า</li> <li>- ไม่มีความแข็งแรงเท่า AAC ที่มีความหนาแน่นเท่ากัน</li> <li>- ไม่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้หรือในสภาพที่มีซัลเฟตเจือปนอยู่</li> </ul>

### 2.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งขนาดและรูปร่างของชิ้นตัวอย่าง ทิศทางของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ อายุของคอนกรีต วิธีการบ่ม ปริมาณน้ำในส่วนผสม และโครงสร้างของฟองโฟมในเนื้อคอนกรีต กับสภาพเชิงกล ปริมาณ ขนาด และการกระจายตัวของฟองโฟม) ของผนังฟองโฟมมีผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงอัด โดยที่ในคอนกรีตที่มีการกระจายตัวของฟองโฟมในช่วงแคบๆ จะมีค่ากำลังรับแรงอัดสูง ในขณะที่คอนกรีตที่มีปริมาณโฟมในส่วนผสมมาก จะมีการรวมตัวกันของฟองโฟมทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดใหญ่ และมีการกระจายตัวของฟองโฟมในช่วงกว้าง จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ

### 2.4 การบ่มคอนกรีต [1]

การบ่มคอนกรีต คือวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต และรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสม กำลังรับแรงอัดที่ต้องการ อุณหภูมิที่ชื้นบ่ม เป็นต้น



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของอายุคอนกรีตกับกำลังรับแรงอัด

วิธีการบ่มคอนกรีตแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามอุณหภูมิ ได้แก่

#### 2.4.1 การบ่มที่อุณหภูมิปกติ

(1) การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต เป็นการบ่มที่เพิ่มความชื้นให้ผิวคอนกรีตโดยตรง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

- การขังหรือหล่อน้ำ (Ponding)
- การฉีดน้ำ หรือรดน้ำ (Sprinkling or Spraying)
- การคลุมด้วยวัสดุเปียกชื้น (Wet Covering)



ก



ข



ค

ภาพที่ 2.6 การบ่มโดยเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต (ก) การขัง หรือหล่อหน้า (ข) การฉีดย้ำ หรือรดน้ำ  
(ค) การคลุมด้วยวัสดุเปียกชื้น

(2) การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นจากคอนกรีตระเหยออก ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

- การบ่มในแบบหล่อ (Curing The Mold)
- การใช้กระดาษกันน้ำซึม (Waterproof Paper)
- การใช้แผ่นพลาสติกคลุม (Plastic Sheeting)
- การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต (Curing Compound)

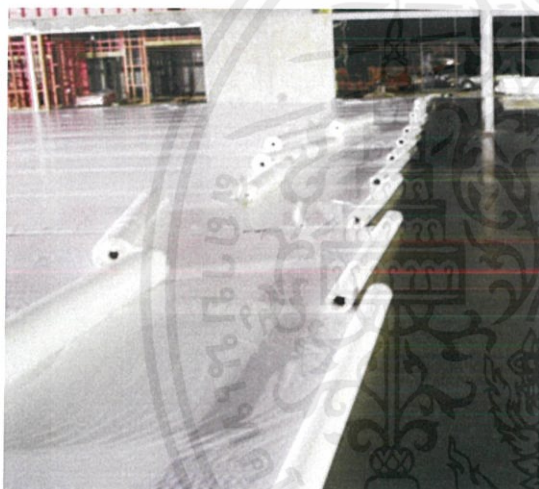
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 2.7 การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต (ก) การบ่มในแบบหล่อ (ข) การใช้กระดาษกันน้ำซึม

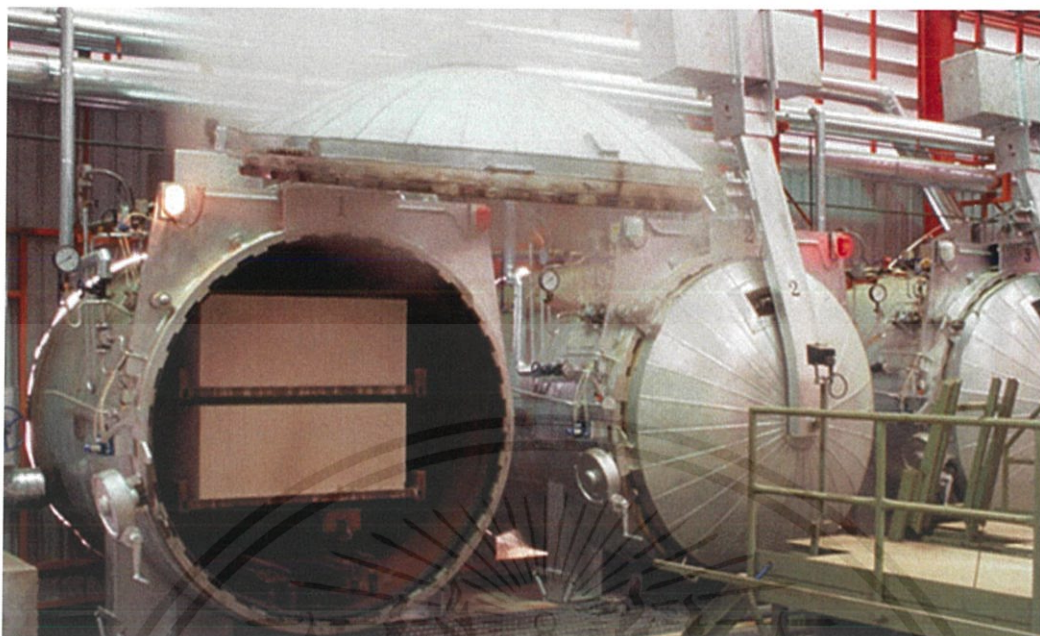
(ค) การใช้แผ่นพลาสติกคลุม (ง) การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต

#### 2.4.2 การบ่มที่อุณหภูมิสูง

การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูง หรือการบ่มแรงกำลัง สามารถเร่งอัตราการเพิ่มกำลังได้อย่างรวดเร็ว โดยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- (1) การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ (Low Pressure Stream Curing)
- (2) การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันสูง (High Pressure Stream Curing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 เครื่องต้มคอนกรีตด้วยไอน้ำความดันสูง

## 2.5 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

ค่าการดูดซึมน้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับไว้ภายในคอนกรีต ตามช่องว่างเล็กๆ การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำนั้นมีหลากหลายวิธีดังตารางที่ 2.2 แต่วิธีที่นิยมที่สุดก็คือ วัดน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง จุ่มน้ำ และวัดน้ำหนักที่เพิ่ม

ตารางที่ 2.2 ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่วิธีการทดสอบแบบต่างๆ [2]

วิธีการอบแห้ง	วิธีการแช่น้ำ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสำหรับคอนกรีตอัตราส่วนผสมต่างๆ					
		ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
100 °C (212 °F)	แช่น้ำ 30 นาที	4.7	3.2	8.9	12.3		
100 °C (212 °F)	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง	7.4	6.9	9.1	12.9		
100 °C (212 °F)	แช่น้ำ 48 ชั่วโมง	7.5	7.0	9.2	13.1		
100 °C (212 °F)	แช่น้ำ 48 ชั่วโมง และ ต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง	8.1	7.3	14.1	18.2		
65 °C (149 °F)	ต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง	6.4	6.4	13.1	17.2		
105 °C (221 °F) ถึงน้ำหนักคงที่	1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง 7 วัน					3.0 3.4 3.5	7.4 7.7 7.8

คอนกรีตมวลเบามีความพรุนสูง น้ำและฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติการซึมผ่านและการดูดซับน้ำของคอนกรีตมวลเบา น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและเป็นส่วนทำให้คอนกรีตมีความชื้นเหลว สามารถเทได้ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ที่สภาวะแห้งน้ำในรูปพรุนและฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตจะระเหยออกหมด แต่หากอยู่ในสภาวะชื้นรูปพรุนและฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตสามารถกักเก็บน้ำได้

## 2.6 การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบา

สัมประสิทธิ์การเป็นตัวนำอุณหภูมิ (Coefficient of Thermal Conductivity) ใช้ตัวย่อเป็นอักษร K หมายถึง อัตราการไหลของความร้อนอย่างสม่ำเสมอหนึ่งหน่วยผ่านวัสดุที่มีความหนาหนึ่งหน่วย และมีพื้นที่หน้าตัดแต่ละด้านเท่ากับหนึ่งหน่วย ในซีเมนต์เพสต์จะมีค่า K อยู่ที่ประมาณ 1-1.5 วัตต์ต่อเมตร.องศาเซลวิน ในส่วนของมวลรวม หินทั่วไปจะมีค่า K อยู่ประมาณ 3 วัตต์ต่อเมตร.องศาเซลวิน

รูปพรุน และฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีตมวลเบาจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ K เมื่อมีรูปพรุน และฟองอากาศกระจายอยู่สม่ำเสมอทั่วบริเวณภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งฟองอากาศเหล่านี้จะทำหน้าที่ลดทอน หรือยืดหยุ่นพลังงานความร้อนเอาไว้ไม่ให้ผ่านจากภายนอกเข้าสู่ภายใน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงตัวกลางตลอดเวลา ระหว่างเนื้อคอนกรีตและช่องว่างอากาศ จึงช่วยลดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัววัสดุได้เป็นอย่างดี

## 2.7 การหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดจากซีเมนต์เพสต์ แล้วทำให้เกิดการลดตัวของปริมาตรของคอนกรีต ซึ่งอาจทำให้เกิดรอยแตกร้าวได้ ถ้าเกิดไม่มีการยึดรั้งการหดตัวทั่วไปที่พบจากการออกแบบคอนกรีตได้แก่ การหดตัวของบ่อโตะเจีเนียส และการหดตัวของแบบแห้ง โดยการหดตัวของบ่อโตะเจีเนียสจะเกิดช่วงต้น แต่การหดตัวของแบบแห้งมักเกิดเมื่อผิวของคอนกรีตแห้งตัวแล้วหลังจากการบ่ม ทำให้การออกแบบคอนกรีตจะต้องคำนึงถึงการหดตัวทั้ง 2 แบบ

### 2.7.1 การหดตัวของบ่อโตะเจีเนียส (Autogenous Shrinkage)

เกิดจากผลรวมของการหดตัวทางเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดชั่นรวมกับการสูญเสียความชื้นในช่องว่างคาปิลารีในเพสต์ ทำให้เกิดแรงดึงในช่องว่างคอนกรีตจึงหดตัว

### 2.7.2 การหดตัวของแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

เกิดขึ้นเมื่อคอนกรีตอยู่ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่องว่างและโพรงอากาศในคอนกรีตทำให้คอนกรีตสัมผัสกับอากาศแล้วสูญเสียความชื้นที่บริเวณผิวคอนกรีตให้กับสิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดการหดตัว โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมถ้าถึงแม้ให้ความชื้นกับคอนกรีตขึ้นมาใหม่ก็ตาม คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงจะมีช่องว่างคาปิลารี และมีปริมาณน้ำอิสระมากทำให้น้ำระเหยจากคอนกรีตได้เป็นอิสระมากขึ้น

## 2.8 การประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในปัจจุบัน

คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติที่สภาวะอากาศทั่วไปเป็นกระบวนการผลิตที่เกิดจากการลดแรงดึงผิวโดยทั่วไปใช้โปรตีนจากสัตว์ซึ่งผ่านการย่อยสลายทาเคมี (Protein Hydrolyzed) เป็นพื้นฐานหรือใช้สารเคมีสังเคราะห์อื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากันเป็นพื้นฐานศูนย์พัฒนานวัตกรรมเทคโนโลยีที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการวิจัยของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศตคุณ เดชพันธ์ สามารถสังเคราะห์สารกำเนิดโฟมระบบเซลลูล่าที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีคุณภาพเป็นที่น่าพึงพอใจมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของผู้นำไปใช้งาน

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้การออกแบบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่ในปัจจุบันและเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับธรรมชาตินอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆที่น่าสนใจต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

- สามารถใช้ปูนก่อฉาบทั่วไปในการก่อ ก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดแรง
- ราคาประหยัด ประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลาย เช่น แผ่นพื้น งานถนน งานลาดฟ้า เสา ผนัง ระบบสลิป คอนกรีตสำเร็จรูป
- เป็นวัสดุฉนวนความร้อน และกันความเย็นได้ดีสร้างอาคารประหยัดพลังงาน
- ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
- สามารถตอกตะปู เลื่อย ฝักทุ้งทั่วไปได้
- ทนไฟ ทึบน้ำ ไม่เกิดเชื้อรา รับแผ่นดินไหว ยึดเหนี่ยว

## 2.9 มาตรฐานคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูโลส

สำหรับประเทศไทย ได้ประกาศจากกระทรวงอุตสาหกรรมเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก.2601-2556 ด้วยคุณสมบัติ 3 ประการ

- (1) ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง
- (2) ความต้านทานแรงอัด
- (3) อัตราการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 2.3 ชนิดของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 [3]

ชนิด	ความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )
C6	2.0 (20.4)
C7	
C8	
C9	2.5 (25.5)
C10	
C12	
C14	5.0 (51.0)
C16	

ตารางที่ 2.4 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 [3]

ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ย (kg/m <sup>3</sup> )
C6	501 ถึง 600
C7	601 ถึง 700
C8	701 ถึง 800
C9	801 ถึง 900
C10	901 ถึง 1000
C12	1001 ถึง 1200
C14	1201 ถึง 1400
C16	1401 ถึง 1600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 [3]

ชนิด	อัตราการดูดซึมน้ำ ไม่มากกว่า % (เศษส่วนโดยมวล)
C6	25
C7	
C8	
C9	23
C10	
C12	
C14	20
C16	

## 2.10 จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา

สุเมธ สันต์วัฒนา [4] ได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีต CLC ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต พบว่าถ้าคอนกรีตมีความหนาแน่นมาก คอนกรีตมวลเบาก็จะสามารถรับแรงอัดได้มาก มีการหดตัวน้อย มีค่าการดูดซึมน้ำน้อย และความสามารถในการป้องกันความร้อนได้น้อยและค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ก็มีผลต่อคุณสมบัติด้วยเช่นกัน

อภิษฎา ชากิรัมย์ [5] คุณสมบัติกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต CLC มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณฟองอากาศ ความหนาแน่น การบ่ม วิธีการทำฟองอากาศ เป็นต้น คอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสจะมีสัดส่วนของฟองอากาศค่อนข้างมาก ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตมวลเบา ซึ่งพบว่ายังฟองอากาศมากทำให้ความหนาแน่นแห้งน้อย

คุณสมบัติการดูดซึมน้ำ การที่คอนกรีตมวลเบาชนิดเซลลูโลสมีฟองอากาศที่สูงนั้น ทำให้คอนกรีตชนิดนี้มีความสัมพันธ์กับน้ำค่อนข้างมาก โดยการเคลื่อนตัวของน้ำสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท การแพร่กระจายและและการดูดซับผ่านช่องว่างคาปิลารีโดยการแพร่กระจายจะเกิดตอนที่มีความชื้นสูง การดูดซับจะเกิดตอนคอนกรีตสัมผัสกับน้ำ โดยค่าการดูดซึมน้ำจะมีค่าความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นที่ลดลง พบว่าคอนกรีตเซลลูโลสจะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตทั่วไปจะมีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกิน 10% ภายใต้อุณหภูมิและความดันชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจะมีค่าต่างจากคอนกรีตธรรมดาเล็กน้อย และเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นที่ลดลง แต่ถ้าให้น้ำไปต้มแล้วนำมาทดสอบอีกครั้งจะพบว่าค่าดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าจะสูงกว่าคอนกรีตปกติอย่างเห็นได้ชัด ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 10-15% แต่เนื่องจากรูพรุนแต่จากรูพรุนที่ที่ซึมผ่านได้ค่อนข้างเล็กทำให้ไม่มีการซึมผ่านได้ที่ความดันปกติจำเป็นต้องใช้ความร้อนเข้าช่วยถึงจะเห็นผลได้ชัดเจน

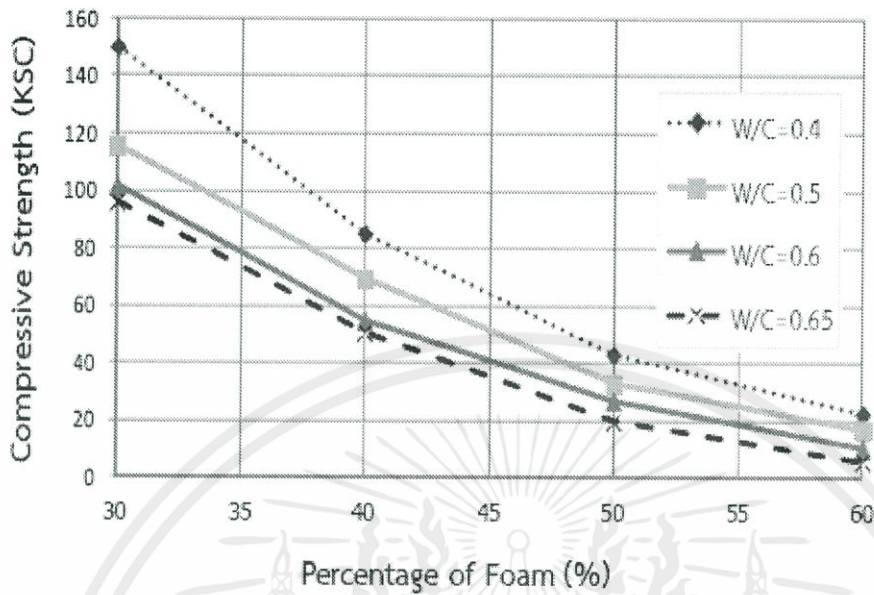
การหดตัวแห้ง เกิดจากการสูญเสียน้ำในเนื้อคอนกรีต ส่วนใหญ่พบว่าค่าการหดตัวแห้งในคอนกรีตมวลเบาจะมีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีรูพรุนและความชื้นภายในค่อนข้างสูง มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่าการหดตัว ในกรณีสัดส่วนของปูนขาวต่อปูนซีเมนต์มีค่าหดตัวต่ำกว่าแบบไม่ใช้ปูนขาว ทั้งกรณีการบ่มก็มีผลต่อการหดตัวเช่นกัน โดยคอนกรีตที่มีการบ่มด้วยอุณหภูมิและความดันสูง จะมีค่าการหดตัวแห้งต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาที่บ่มที่อุณหภูมิปกติ

คุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน คุณสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแปรผันโดยตรงกับปริมาณฟองอากาศภายในคอนกรีต พบว่าการที่คอนกรีตมวลเบาที่มีปริมาณฟองอากาศที่สูงจะทำให้เป็นฉนวนความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาปกติ คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีปริมาณฟองอากาศที่สูงทำให้ส่งต่อความร้อนได้ช้ากว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูง

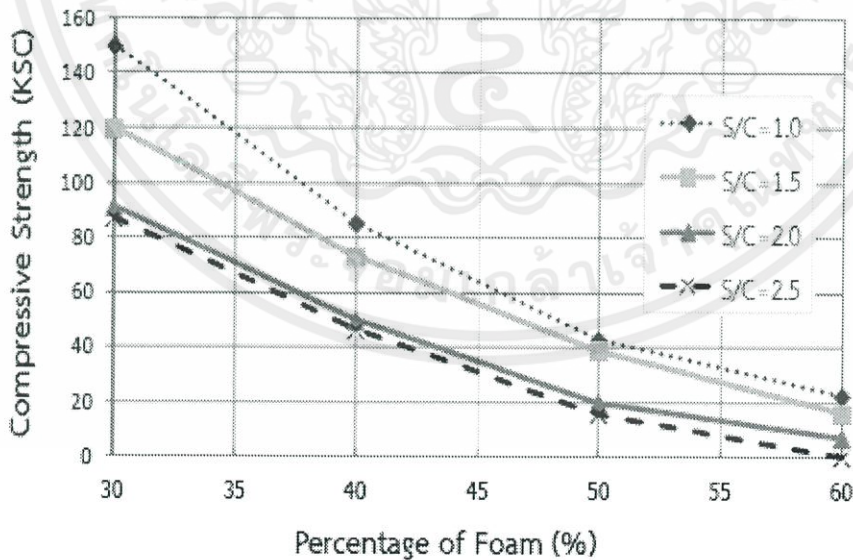
การทนไฟ โดยทั่วไปคอนกรีตมวลเบาชนิดเซลลูล่านั้นจะทนความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดามาก ภายใต้ความร้อนที่สูงคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าจะส่งผ่านความร้อนได้ต่ำกว่าและอัตราการสูญเสียกำลังด้วย ภายใต้ความร้อนสูงคอนกรีตธรรมดาก็เกิดการขยายตัวของวัสดุแต่ละชนิดที่ไม่เท่ากันทำให้เกิดความเค้นภายในเกิดความแตกร้าวและสูญเสียกำลังการรับน้ำหนัก

นิตยรัตน์ ดอเสาะ [6] ได้ทำการศึกษาวัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานในอุตสาหกรรมก่อสร้าง จากการศึกษาด้านงานก่อนผนังพบว่าอิฐมวลเบาถือว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ที่เหมาะสมและนิยมมาใช้ในงานก่อแทนอิฐมอญและอิฐแดง เนื่องจากอิฐมวลเบาที่มีคุณสมบัติพิเศษที่เหมาะสมมากกว่าอิฐชนิดอื่นๆ อาทิ การดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าอิฐมอญ 4 เท่า และป้องกันการความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญ 6-8 เท่า มีความคงทนไม่ติดไฟ กันเสียงได้ดี

ณัฐวุฒิ เต่งศิริธรรม [7] (2558) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดคะเนหาสัดส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลเบาCLC ได้ทำการทดสอบคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ซีเมนต์ต่อทราย และเปอร์เซ็นต์โฟมกับกำลังรับแรงอัด

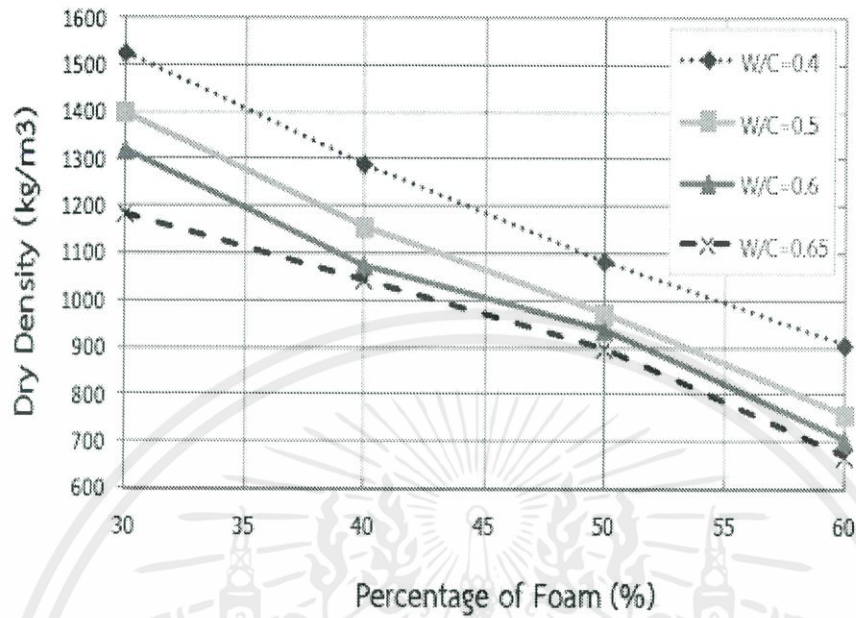


กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเปอร์เซ็นต์โฟมที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ

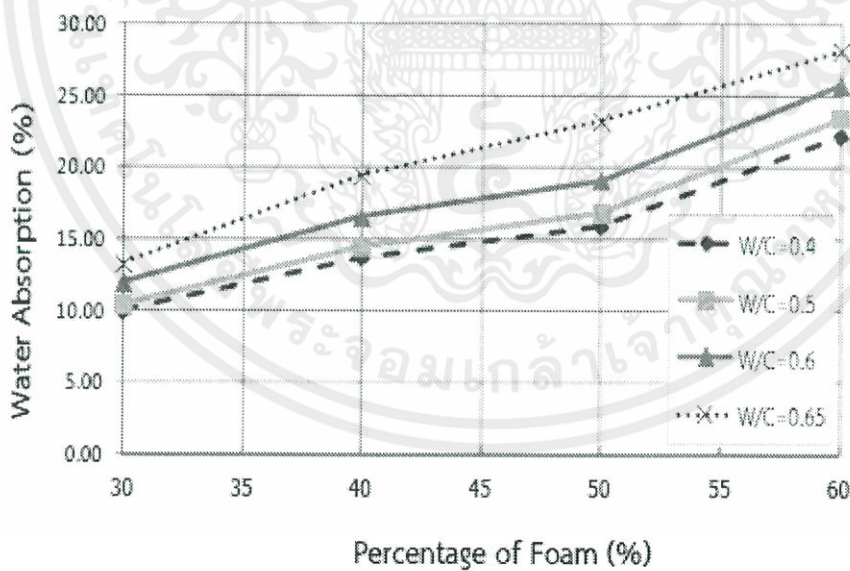


กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับเปอร์เซ็นต์โฟมที่ค่าซีเมนต์ต่อทรายต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับปริมาณโฟมที่ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับเปอร์เซ็นต์โฟมที่ค่าปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 ข้อสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สามารถสรุปได้ดังนี้ จากที่กล่าวมาตอนต้น การวางจำหน่ายของอิฐมวลเบาในประเทศไทยมี 2 ชนิด AAC และ CLC เป็นวัสดุสำหรับการก่อผนังเนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย เช่น วัสดุที่มีน้ำหนักเบา สามารถทนความร้อน ฉนวนความร้อน ป้องกันเสียง ตะปูสามารถตอกผ่านได้ สามารถตัดแต่งให้เข้ารูปสำหรับงานก่อ ทำงานได้รวดเร็ว และประหยัดต้นทุนของโครงสร้างโดยรวม จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตนั้นยังไม่มีการศึกษาและวิจัย เนื่องจากเวลาในการบ่มโฟมนั้นมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของเนื้อคอนกรีต ทำให้จำนวนฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตต่างออกไปด้วยมีผลต่อความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด การนำความร้อน ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ



## บทที่ 3

### วิธีการศึกษา

#### 3.1 บทนำ

รายละเอียดในบทนี้ประกอบด้วยวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา การออกแบบการทดลอง วิธีการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า วิธีหล่อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และรวมไปถึงวิธีการทดสอบ

#### 3.2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

##### 3.2.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่1(type-I Portland cement หรือOPC) ตามมาตรฐาน(ASTM C150-2000)

##### 3.2.2 มวลรวมละเอียด

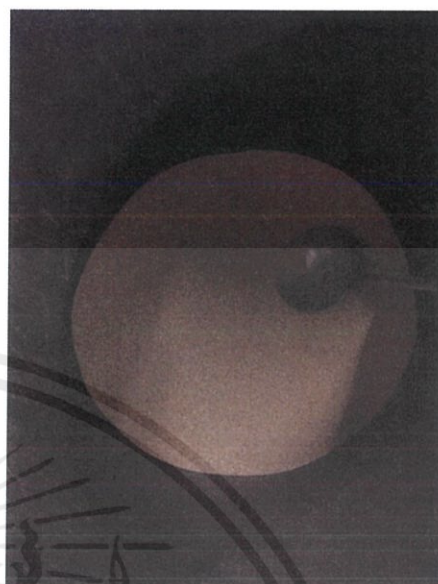
มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการศึกษาจะใช้ทรายสะอาดความละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 60

##### 3.2.3 น้ำ

น้ำสะอาด โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำประปา

##### 3.2.4 น้ำยาสร้างฟองโฟม ( High Performance Foaming Agents )

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้น้ำยาสร้างฟองโฟม PLP Foam A80 โดยผสมน้ำยาสร้างฟองโฟมกับน้ำ ในอัตราส่วน 1:80 ของบริษัท โปลิคอนพลัส จำกัด



ก

ข

ภาพที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา (ก) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ข) ทรายสะอาดความละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์

60

### 3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 โม่ผสมคอนกรีต

3.3.2 แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด  $5 \times 5 \times 5$  cm.

3.3.3 แบบหล่อคอนกรีต ขนาด  $20 \times 20 \times 2.5$  cm.

3.3.4 สว่านมือสำหรับปั่นฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีต

3.3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

3.3.6 ชุดเครื่องทำฟองโฟมและเครื่องอัดอากาศ

3.3.7 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

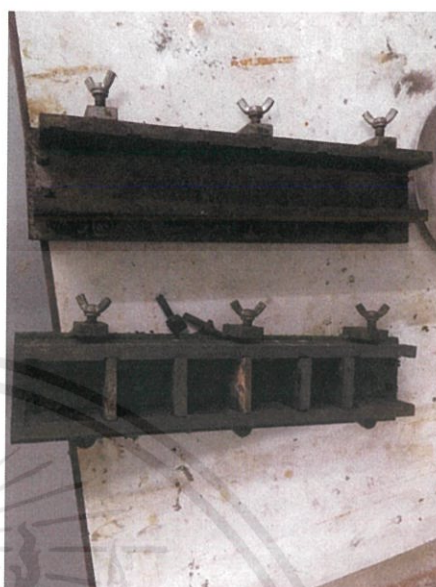
3.3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 kg

3.3.9 เวอร์เนียคาร์ิปเปอร์

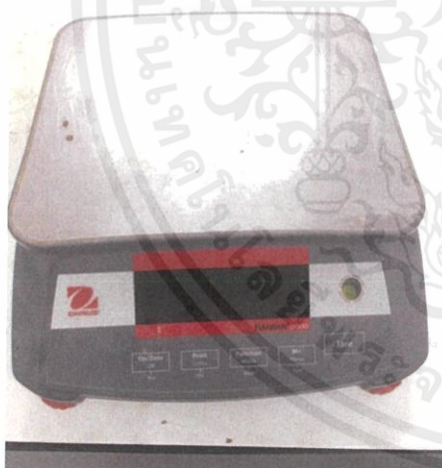
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ (ก) โม่ผสมคอนกรีต (ข) แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 cm.

(ค) เครื่องชั่งน้ำหนัก (ง) แบบหล่อคอนกรีตขนาด 20x20x5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การทดสอบเพื่อช่วยในการออกแบบการทดลอง

#### 3.4.1 การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของทราย

ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมวลรวมในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมวลรวมละเอียดที่ใช้ในประเทศไทยมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.65 โดยจะหาค่าความถ่วงจำเพาะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C128 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- (1) ชั่งน้ำหนักทรายตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งประมาณ  $500 \pm 10$  กรัม บันทึกค่าน้ำหนัก
  - (2) เติมน้ำใส่ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) จนถึงขีดที่กำหนดแล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า B
  - (3) เททรายลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) และเติมน้ำลงไป 90% ของปริมาตรขวด
- ทดลอง
- (4) หมุนและเขย่าขวดทดลอง เพื่อให้ฟองอากาศออกให้หมด
  - (5) ใช้น้ำฉีดล้างทรายที่บริเวณคอขวดด้านใน และเติมน้ำจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่าเป็นค่า C
  - (6) เททรายออกจากรวตทดลองใส่ภาชนะทั้งหมด นำไปอบจนน้ำหนักทรายคงที่ ที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส
  - (7) ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา  $1 \pm 0.5$  ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเป็น A
  - (8) นำผลที่ได้นำมาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของทราย  $A/(B+A-C)$

### 3.5 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1 3 5 และ 7 นาที และศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1 3 และ 5 นาที เนื่องจากเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตควรใช้เวลาไม่เกิน 5 นาที เพราะถ้าเกิดใช้เวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตเกิน 5 นาที จะทำให้ฟองโฟมในเนื้อคอนกรีตถูกตีแตกได้ เราจึงทำการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1 3 5 และ 7 นาที เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการใช้เวลาในการบ่มที่นานเกินไป แต่ในการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส จะทดสอบกับคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตเฉพาะ 1 3 5 นาทีเท่านั้น เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบมีราคาสูง จึงไม่จำเป็นต้องทดสอบกับคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีต 7 นาที โดยอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 [8] อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1 [9] และใส่ปริมาณฟองโฟมเท่ากับ 60% โดยปริมาตร ซึ่งในการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะเลือกอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีค่าคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 81 ตัวอย่าง ปริมาตรทั้งหมด 18000 ลบ.ซม.

### 3.6 วิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

#### 3.6.1 เตรียมอุปกรณ์ และส่วนผสมตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ให้พร้อม

โดยจัดเตรียมอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน เพื่อให้เกิดการดำเนินงานโดยไม่ติดขัด พร้อมกับเตรียมปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำให้พร้อมตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ และเตรียมฟองโฟมโดยการผสมน้ำยาสร้างฟองโฟมเข้ากับน้ำในอัตราส่วน 1 : 80

#### 3.6.2 เริ่มทำการผสมคอนกรีต

เริ่มทำการผสมโดยเทปูนซีเมนต์ และทราย ลงในโม่ผสมคอนกรีต เมื่อปูนซีเมนต์ และทรายคลุกเคล้าเข้ากันดีแล้ว เริ่มใส่น้ำลงไปให้ครบตามอัตราส่วนที่เตรียมไว้ เมื่อส่วนผสมเริ่มเข้ากันดี ให้ฉีดฟองโฟมที่

เตรียมไว้ตามปริมาณที่ออกแบบไว้ ทำจับเวลาในการบ่มฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีต เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดในแต่ละรอบ (1 3 5 และ 7 นาที)

### 3.6.3 เทคอนกรีตลงแบบหล่อ

เมื่อจับเวลาครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว ให้เทคอนกรีตลงแบบหล่อทั้งหมด 2 แบบ โดยจะมี แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด  $5 \times 5 \times 5$  cm. จำนวน 6 ตัวอย่าง และแบบหล่อขนาด  $20 \times 20 \times 2.5$  cm. จำนวน 3 ตัวอย่าง ทั้งหมด 9 ตัวอย่างต่อ 1 รอบในการผสม

### 3.6.4 แกะแบบหล่อ

แกะแบบหล่อออกเมื่ออายุครบ 24 ชม. และนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นค่อยนำไปทำการทดสอบ

## 3.7 การทดสอบคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

### 3.7.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39 [10] โดยมีขั้นตอนทดสอบดังนี้

- (1) เมื่อได้ตัวอย่างขนาด  $5 \times 5 \times 5$  cm. ที่ทำการบ่มครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว ให้นำมาวัดขนาดทั้งสองด้านของตัวอย่างทรงลูกบาศก์
- (2) นำก้อนตัวอย่างวางลงบนกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่นตัวอย่างทดสอบ
- (3) เปิดเครื่องทดสอบ โดยต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอ
- (4) กดก้อนตัวอย่างจนเกิดการเสียรูป บันทึกค่าสูงสุดที่ได้
- (5) กำลังรับแรงอัดประลัย = น้ำหนักกดประลัย/พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง (หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
- (6) ทำการทดสอบทั้งหมด 6 ตัวอย่าง เพื่อนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.2 การทดสอบหาความหนาแน่นแห้ง

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C495-99 โดยมีขั้นตอนทดสอบดังนี้

- (1) เมื่อได้ตัวอย่างขนาด  $5 \times 5 \times 5$  cm. ที่ทำการบ่มครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำไปอบให้แห้งในตู้อบเป็นเวลา 24 ชม.
- (2) เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำมาชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดเพื่อหาปริมาตร
- (3) ความหนาแน่น = น้ำหนัก/ปริมาตร (หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- (4) ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ตัวอย่าง เพื่อนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

### 3.7.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C642-97 โดยมีขั้นตอนทดสอบดังนี้

- (1) เมื่อได้ตัวอย่างขนาด  $5 \times 5 \times 5$  cm. ที่ทำการบ่มครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำก้อนตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 48 ชม.
- (2) เมื่อครบกำหนด นำคอนกรีตขึ้นจากน้ำพร้อมซับน้ำส่วนเกินรอบผิวก้อนตัวอย่าง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักภายใน 30 วินาที หลังขึ้นจากน้ำ บันทึกค่า น้ำหนักเปียก (W<sub>w</sub>)
- (3) นำเข้าตู้อบเป็นเวลา 24 ชม. เมื่อครบกำหนดนำออกจากตู้อบ แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชม. จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า น้ำหนักอบแห้ง (Dry Weight , W<sub>D</sub>)
- (4) เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ โดยน้ำหนัก =  $(W_w - W_D) / W_D \times 100$
- (5) ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

### 3.7.4 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C518 ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ ของศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร (Center of Building Innovation and Technology, CBIT) สาขาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยมีขั้นตอนทดสอบดังนี้

- (1) นำตัวอย่างขนาด 20 x 20 x 2.5 cm. มาทำการทดสอบการนำความร้อนด้วยเครื่องทดสอบค่าสภาพการนำความร้อน
- (2) กำหนดให้อุณหภูมิเพลทร้อน (Hot surface temperature หรือ Hot surface assembly) เท่ากับ 50 °C และอุณหภูมิเพลทเย็น (Cold surface temperature หรือ Cold surface assembly) เท่ากับ 20 °C
- (3) ทำการทดสอบ และบันทึกค่าสภาพการนำความร้อนของตัวอย่างทดสอบทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- (4) ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย



## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### 4.1 บทนำ

ผลการศึกษาของคอนกรีตเซลลูล่าที่เวลาในการบ่มตามกำหนดประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้ การวิเคราะห์ลักษณะของผิวตัวอย่าง และปริมาณฟองโฟมภายในตัวอย่างทดสอบในหัวข้อที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในหัวข้อที่ 4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่น (Density) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และการดูดซับน้ำของตัวอย่างทดสอบ (Water Absorption) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในหัวข้อที่ 4.4 โดยใช้เวลาในการบ่ม 1 3 5 และ 7 นาที่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 โดยทำการทดสอบ 6 ตัวอย่าง ต่อ 1 กรณีการศึกษารวมเป็น 72 ตัวอย่างทดสอบ

#### 4.2 วิเคราะห์ลักษณะของผิวตัวอย่าง และปริมาณฟองโฟมภายในตัวอย่างทดสอบ

จากการทดสอบเวลาในการบ่ม 1 3 5 และ 7 นาที่ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 0.5 และ 0.6 พบว่า ลักษณะของผิวตัวอย่าง และปริมาณฟองโฟมภายในเนื้อของคอนกรีตต่างกัน ทำให้ที่คุณสมบัติของคอนกรีตนั้น ต่างกันตามลักษณะของคอนกรีต



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของตัวอย่างที่เวลาในการบ่ม 1 นาที่ (ก) ผิว (ข) ปริมาณฟองโฟมภายใน

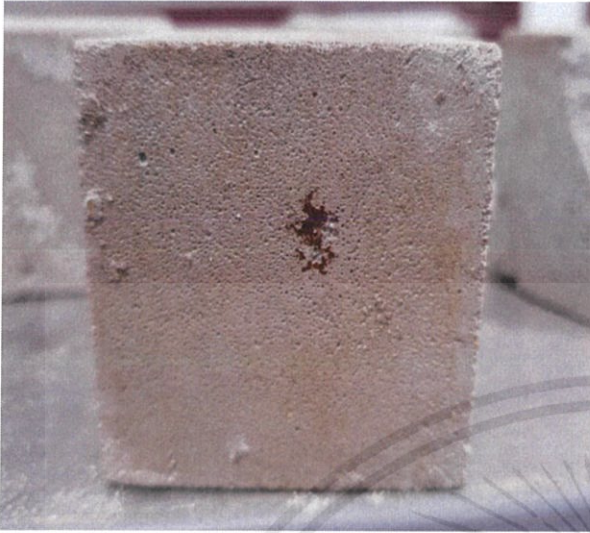
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่มีเวลาในการปั่น 1 นาที จะมีปริมาณฟองโฟมภายในน้อย แต่จะมีปริมาณฟองโฟมขนาดใหญ่ลอยไปเกาะรอบผิวตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าที่เวลาในการปั่น 1 นาทีนั้น ฟองโฟมยังไม่ทันผสมเข้ากับคอนกรีตได้ทันนัก



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของตัวอย่างที่มีเวลาในการปั่น 3 นาที (ก) ผิว (ข) ปริมาณฟองโฟมภายใน

จากภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่มีเวลาในการปั่น 3 นาที จะมีปริมาณฟองโฟมภายในเพิ่มมากขึ้นจากตัวอย่างที่มีเวลาในการปั่นเพียง 1 นาที และยังมีปริมาณฟองโฟมปริมาณมากที่ผิวตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีเวลาในการปั่น 3 นาทีนั้นฟองโฟมได้ผสมเข้ากับคอนกรีตแล้ว



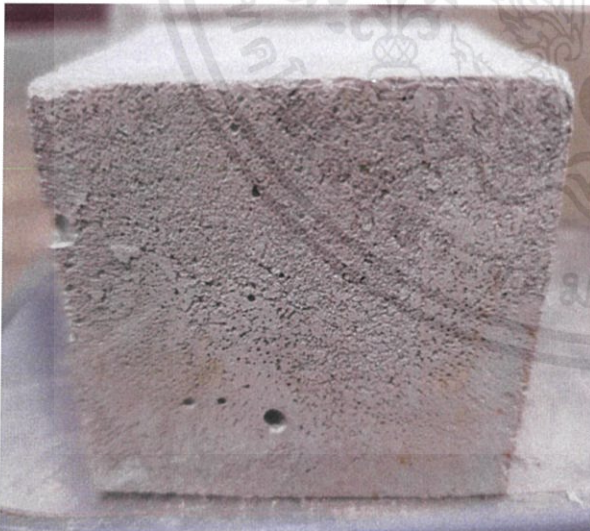
ก



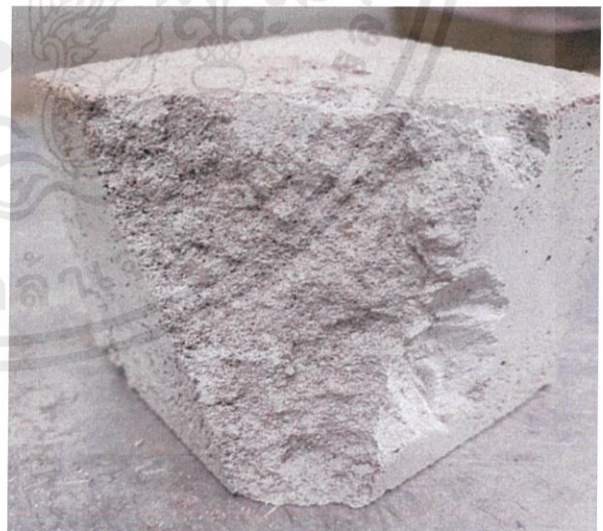
ข

ภาพที่ 4.3 ลักษณะของตัวอย่างที่เวลาในการบ่ม 5 นาที่ (ก) ผิว (ข) ปริมาณฟองโฟมภายใน

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่มีเวลาในการบ่ม 5 นาที่ จะมีปริมาณฟองโฟมภายในน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีเวลาในการบ่ม 3 นาที่ แต่ยังมีปริมาณฟองโฟมที่ผิวตัวอย่าง ซึ่งจะมีลักษณะเป็นฟองโฟมขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีเวลาในการบ่ม 1 นาที่ แต่มีในปริมาณมากเต็มทั่วผิวตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีเวลาในการบ่ม 5 นาที่นั้นฟองโฟมได้แตกตัวออก แล้วเริ่มลอยออกสู่ผิวคอนกรีต ทำให้ภายในมีปริมาณฟองโฟมน้อย



ก



ข

ภาพที่ 4.4 ลักษณะของตัวอย่างที่เวลาในการบ่ม 7 นาที่ (ก) ผิว (ข) ปริมาณฟองโฟมภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่มีเวลาในการปั่น 7 นาที จะมีปริมาณฟองโฟมภายในมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีเวลาในการปั่นในกรณีอื่น และยังมีปริมาณฟองโฟมที่ผิวตัวอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีเวลาในการปั่น 7 นาทีนั้น นั้นมีปริมาณฟองโฟมเพิ่มขึ้นจากน้ำยาโฟมที่ผสมเข้ามากับโฟมในตอนแรก เมื่อเราใช้เวลาในการปั่นนานขึ้นทำให้น้ำยาโฟมแตกตัวกลายเป็นฟองโฟมจำนวนมากภายในเนื้อคอนกรีต เนื่องจากการปั่นน้ำยาโฟมก็สามารถทำให้เกิดปริมาณฟองโฟมได้เหมือนกัน

### 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูโลส

เมื่อเก็บตัวอย่างทดสอบคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสโดยมีการบ่มคอนกรีตแบบน้ำขัง มีอายุตามที่กำหนดที่อายุ 28 วัน นำตัวอย่างมาทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยขนาดของตัวอย่างทดสอบเป็นลูกบาศก์ขนาด  $5 \times 5 \times 5$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 152.92 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 และมีเวลาในการปั่นเท่ากับ 1 นาที และตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 27.72 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 และมีเวลาในการปั่นเท่ากับ 1 นาที ซึ่งเราจะแบ่งวิเคราะห์ออกเป็น 3 ประเด็น หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตต่อกำลังรับแรงอัดในหัวข้อที่ 4.3.1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนต่อกำลังรับแรงอัดในหัวข้อที่ 4.3.2 และในหัวข้อที่ 4.3.3 เวลาในการปั่นของคอนกรีตต่อกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 4.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสที่เวลาต่างๆ

ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Compressive strength ที่ 28 วัน (ksc)
1	1	0.4	1	1576.75	137.84
2				1519.97	112.54
3				1636.93	150.92
4				1566.96	120.00
5				1474.34	90.720
6				1542.46	129.80
7			1485.18	123.00	
8			1516.27	148.08	
9			1534.17	106.72	
10			1465.61	123.36	
11			1474.21	125.28	
12			1514.07	115.64	
13			1573.44	134.00	
14			1543.88	113.68	
15			1527.67	103.68	
16			1530.54	96.800	
17			1533.65	106.80	
18			1539.03	121.20	
19			1404.18	89.240	
20			1465.25	61.080	
21			1395.62	74.840	
22			1398.86	101.80	
23			1406.16	68.120	
24			1380.70	88.180	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

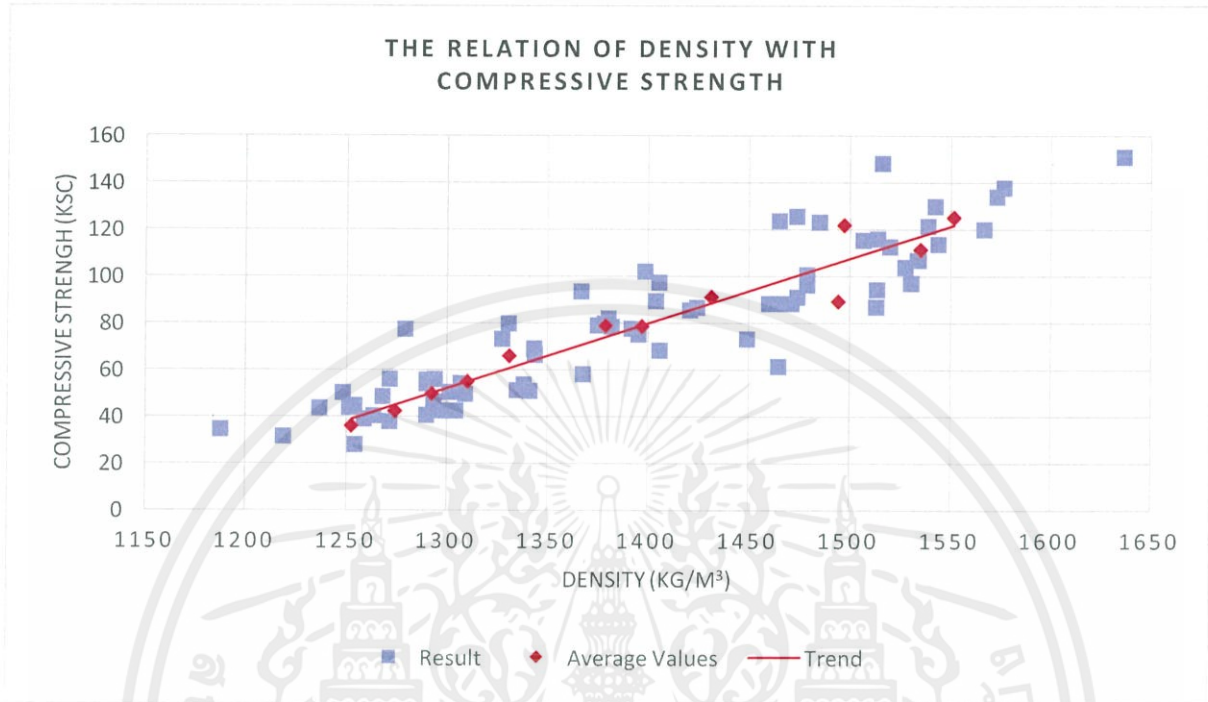
ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Compressive strength ที่ 28 วัน (ksc)
25	1	0.5	1	1513.85	94.24
26				1513.29	86.64
27				1471.59	88.16
28				1460.41	88.16
29				1467.67	88.08
30				1507.04	115.32
31			3	1344.07	66.08
32				1309.58	49.52
33				1272.00	55.80
34				1279.57	77.24
35				1327.68	72.88
36				1343.65	68.84
37			5	1449.52	72.88
38				1424.63	86.56
39				1405.74	97.04
40				1421.11	85.28
41				1479.27	95.92
42				1479.27	100.48
43			7	1392.00	77.32
44				1330.81	79.52
45				1366.94	93.24
46				1378.88	79.44
47				1382.31	78.24
48				1375.14	78.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Compressive strength ที่ 28 วัน (ksc)
49	1	0.6	1	1264.00	40.12
50				1219.22	31.20
51				1254.26	44.40
52				1188.12	34.40
53				1272.00	37.72
54				1254.65	27.72
55			1301.94	50.24	
56			1268.37	48.32	
57			1338.61	53.64	
58			1248.50	50.08	
59			1294.02	46.08	
60			1307.19	54.16	
61			1294.63	55.68	
62			1368.01	57.80	
63			1290.46	55.32	
64			1334.93	51.08	
65			1341.43	50.76	
66			1290.32	53.92	
67			1290.48	40.24	
68			1296.77	42.40	
69			1251.79	43.76	
70			1398.86	38.64	
71			1237.04	43.28	
72			1304.65	42.16	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

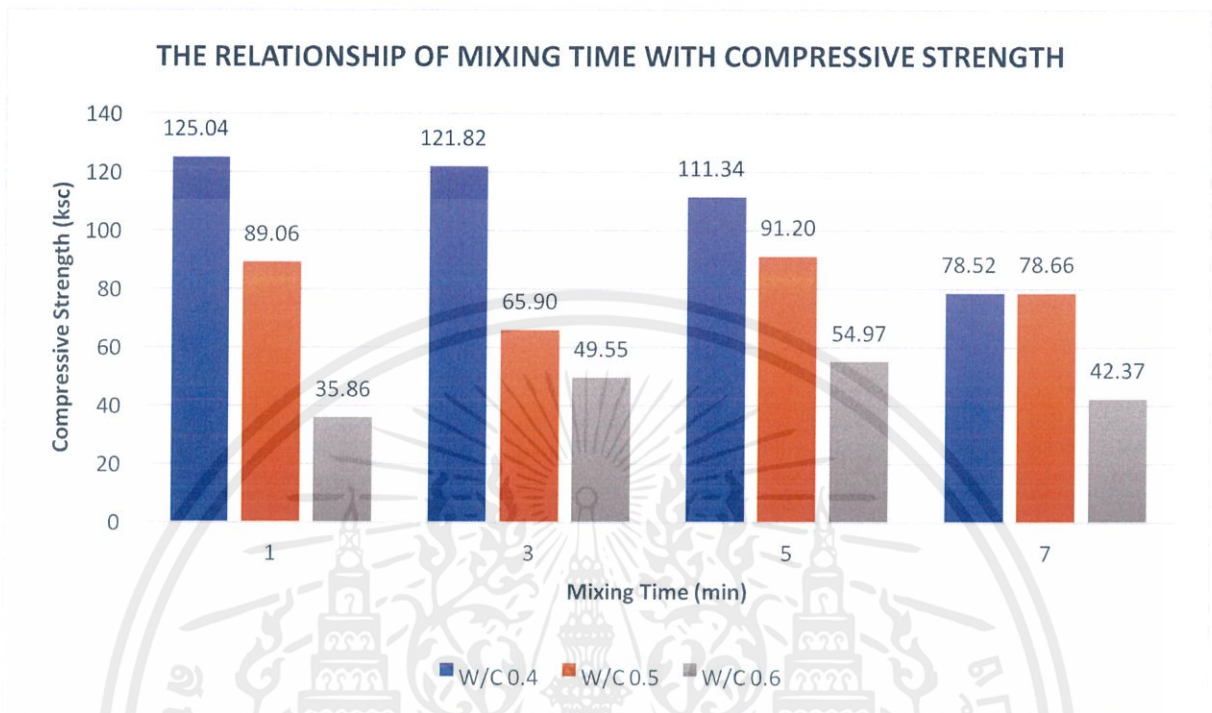
#### 4.3.1 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลส ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับกำลังรับแรงอัด

จากภาพที่ 4.5 จุดสีฟ้าคือผลการทดสอบของตัวอย่างทั้งหมด และจุดสีแดงคือค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในแต่ละกรณีการศึกษา โดยมีปัจจัยของเวลาในการป่นที่ 1 3 5 และ 7 นาที และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 ซึ่งพบว่าตัวอย่างทดสอบมีหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1150-1650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในทุกกรณีทดสอบตัวอย่างที่มีความหนาแน่นมาก จะมีกำลังรับแรงอัดมากด้วยเช่นกัน นั่นหมายความว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะแปรผันตรงกับกำลังรับแรงอัด

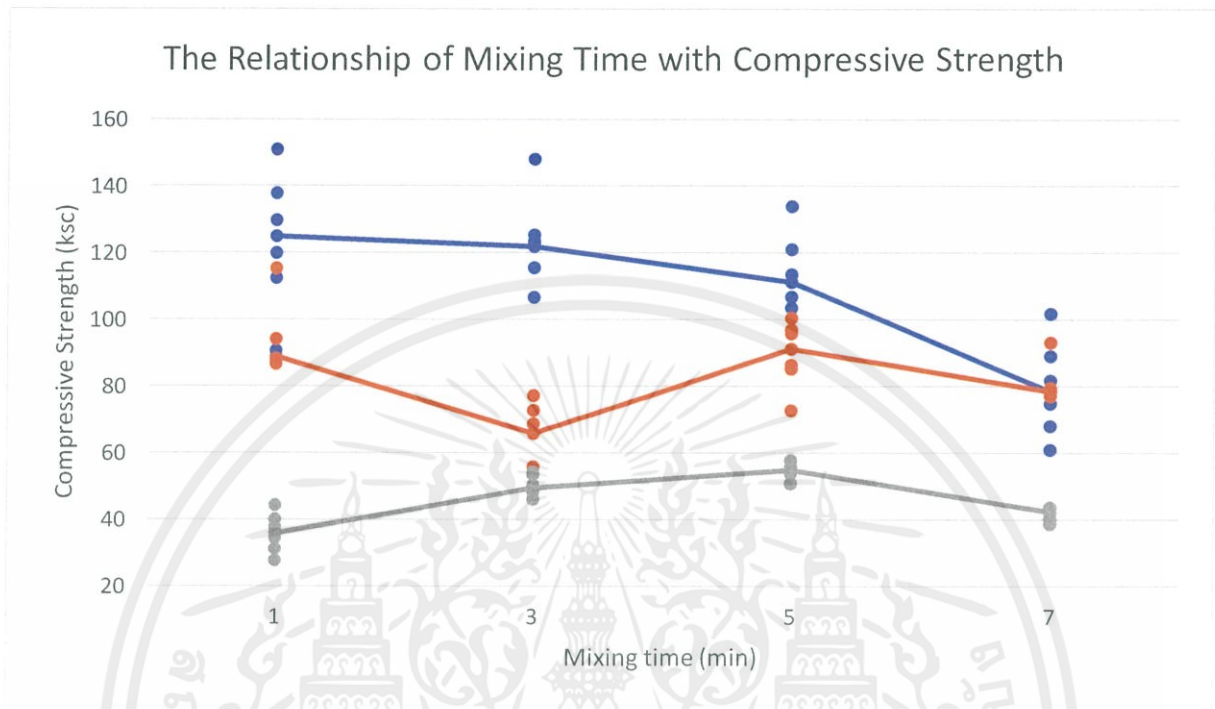
#### 4.3.2 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัด

จากภาพที่ 4.6 ตัวอย่างในทุกกรณีเวลาในการบ่มฟองโม่ให้เข้ากับคอนกรีต 1 3 5 และ 7 นาที จะมีกำลังรับแรงอัดมากที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 และรองลงมาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และน้อยที่สุดที่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 หรือก็คืออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มีค่าแปรผกผันกับกำลังรับแรงอัด

### 4.3.3 เวลาในการปั่นคอนกรีตมวลเบา ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปั่นกับกำลังรับแรงอัด

จากภาพที่ 4.7 จุดสีฟ้าคือผลทดสอบ และเส้นสีฟ้าคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ในขณะที่จุดสีส้มคือผลทดสอบ และเส้นสีส้มคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และจุดสีเทาคือผลทดสอบ และเส้นสีเทาคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

(1) ที่เวลา 1 นาที ตัวอย่างจะมีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุดเนื่องจากในเวลาเพียง 1 นาทีฟองโฟมยังไม่ทันผสมกับคอนกรีตได้ดีนัก ทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีปริมาณฟองโฟมในตัวอย่างน้อย ยกเว้นแต่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 เนื่องจากคอนกรีตจะมีสภาพเหลวค่อนข้างสูงทำให้เวลาปั่นคล่องกว่าเมื่อเทียบตัวอย่างในกรณีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์อื่นทำให้เวลาเพียง 1 นาทีคอนกรีตก็ผสมเข้ากับฟองโฟมแล้ว

(2) ที่เวลา 3 นาที ตัวอย่างจะมีกำลังรับแรงอัดต่ำลงเนื่องจากฟองโฟมเริ่มผสมเข้ากับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีปริมาณฟองโฟมในตัวอย่างมากขึ้น ยกเว้นแต่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 เนื่องจากคอนกรีตจะมีสภาพเหลวค่อนข้างสูงทำให้เวลา 3 นาที ฟองโฟมเริ่มจะแตกตัวทำให้ปริมาณฟองโฟมในตัวอย่างน้อยลง

(3) ที่เวลา 5 นาที ตัวอย่างจะมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น เนื่องจากฟองโฟมเริ่มจะแตกตัวทำให้ปริมาณฟองโฟมในตัวอย่างน้อยลง ยกเว้นแต่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 เนื่องจากคอนกรีตจะมีสภาพหนืดค่อนข้างสูงทำให้เวลา 5 นาทีนั้นฟองโฟมยังไม่ทันเริ่มแตกตัว

(4) ที่เวลา 7 นาที ตัวอย่างในทุกกรณีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะมีกำลังรับแรงอัดต่ำลง เนื่องจากในการใช้เวลาในการบ่มที่นานเกินไป จะทำให้เกิดฟองโฟมขึ้นมาใหม่ที่ฟองโฟมที่แตกออกไป

#### 4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของคอนกรีตเซลลูล่า

เมื่อเก็บตัวอย่างทดสอบคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าโดยมีการบ่มคอนกรีตแบบน้ำขัง มีอายุตามที่กำหนดที่อายุ 28 วัน นำตัวอย่างมาทดสอบหาความหนาแน่น โดยขนาดของตัวอย่างทดสอบเป็นลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1636.93 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 และมีเวลาในการบ่มเท่ากับ 1 นาที และตัวอย่างที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 1188.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 และมีเวลาในการบ่มเท่ากับ 1 นาที ซึ่งเราจะแบ่งวิเคราะห์ออกเป็น 2 ประเด็น อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่อความหนาแน่นในหัวข้อที่ 4.4.1 และในหัวข้อที่ 4.4.2 เวลาในการบ่มของคอนกรีตต่อความหนาแน่น

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบของหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Dry weight (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Density (kg/m <sup>3</sup> )
1	1	0.4	1	0.212	134.454	1576.75
2				0.206	135.529	1519.97
3				0.211	128.900	1636.93
4				0.203	129.550	1566.96
5				0.188	127.515	1474.34
6				0.202	130.960	1542.46
7			3	0.211	142.070	1485.18
8				0.205	135.200	1516.27
9				0.209	136.230	1534.17
10				0.208	141.920	1465.61
11				0.208	141.092	1474.21
12				0.213	140.680	1514.07
13			5	0.209	132.830	1573.44
14				0.206	133.430	1543.88
15				0.203	132.882	1527.67
16				0.207	135.246	1530.55
17				0.206	134.320	1533.65
18				0.207	134.500	1539.03
19			7	0.190	135.310	1404.18
20				0.190	129.670	1465.26
21				0.189	135.424	1395.62
22				0.191	136.540	1398.86
23				0.190	135.120	1406.16
24				0.192	139.060	1380.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

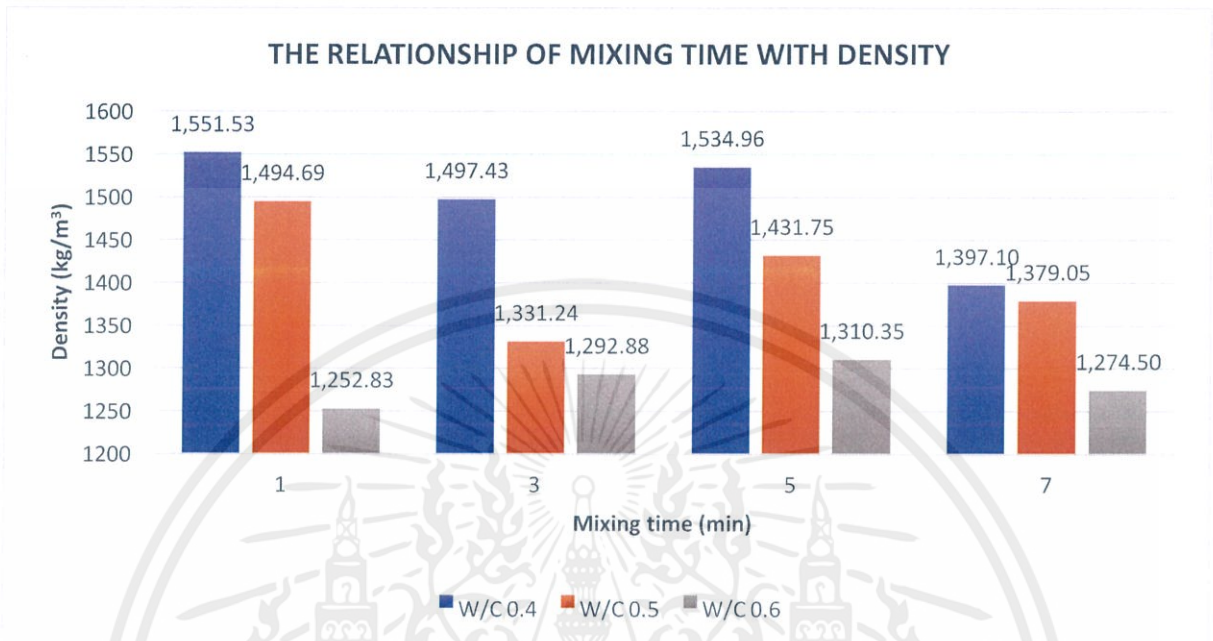
ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Dry weight (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Density (kg/m <sup>3</sup> )
25	1	0.5	1	0.194	128.15	1513.85
26				0.192	126.88	1513.29
27				0.195	132.51	1471.59
28				0.192	131.47	1460.41
29				0.192	130.82	1467.67
30				0.197	130.72	1507.04
31				3	0.172	127.97
32			0.172		131.34	1309.58
33			0.172		135.22	1272.00
34			0.172		134.42	1279.57
35			0.173		130.30	1327.68
36			0.172		128.01	1343.65
37			5		0.187	129.00
38				0.186	130.56	1424.63
39				0.185	131.60	1405.74
40				0.185	130.18	1421.11
41				0.188	127.10	1479.27
42				0.188	127.10	1479.27
43				7	0.174	125.00
44			0.176		132.25	1330.81
45			0.175		128.02	1366.94
46			0.176		127.64	1378.88
47			0.174		125.88	1382.31
48			0.175		127.26	1375.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Dry weight (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Density (kg/m <sup>3</sup> )
49	1		1	0.158	125.00	1264.00
50				0.153	125.49	1219.23
51				0.162	129.16	1254.26
52				0.150	126.25	1188.12
53				0.159	125.00	1272.00
54				0.162	129.12	1254.65
55			0.167	128.27	1301.94	
56			0.164	129.30	1268.37	
57			0.169	126.25	1338.61	
58			0.157	125.75	1248.50	
59			0.165	127.51	1294.02	
60			0.165	126.23	1307.19	
61		0.6	0.171	132.08	1294.63	
62		0.172	125.73	1368.01		
63		0.173	134.06	1290.46		
64		0.171	128.10	1334.93		
65		0.170	126.73	1341.43		
66		0.166	128.65	1290.32		
67		0.167	129.41	1290.47		
68		0.166	128.01	1296.77		
69		0.166	132.61	1251.79		
70		0.167	132.65	1258.95		
71		0.167	135.00	1237.04		
72		0.168	128.77	1304.65		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

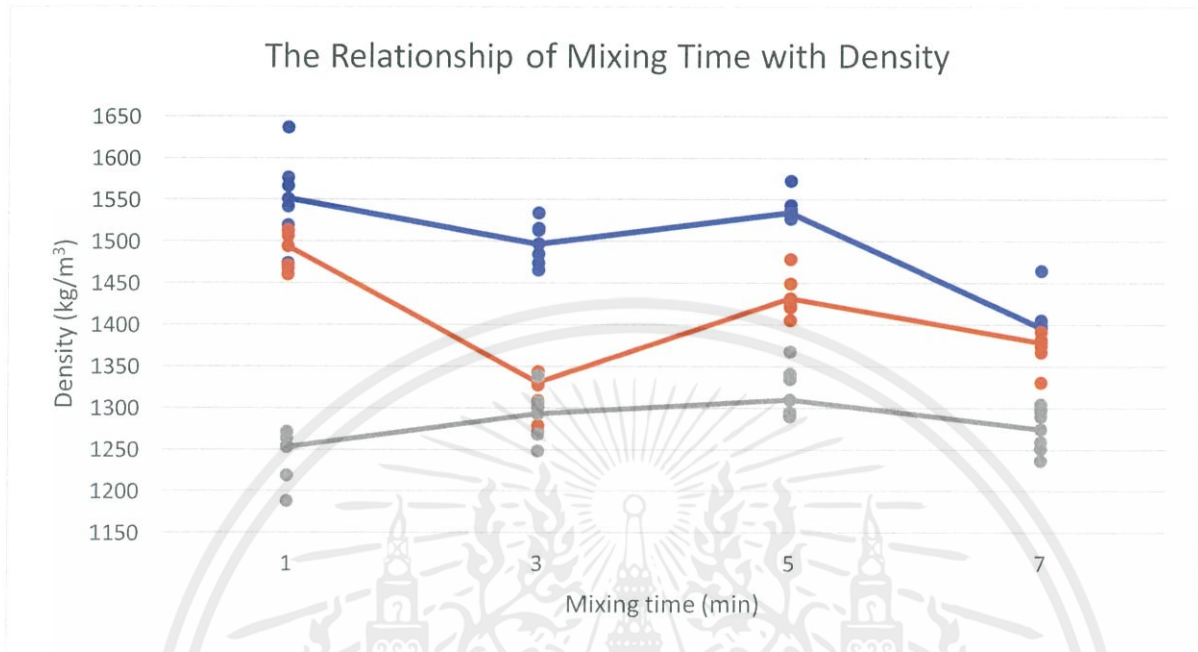
#### 4.4.1 อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อความหนาแน่น



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัด

จากภาพที่ 4.8 ตัวอย่างในทุกกรณีเวลาในการปั่นฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีต 1 3 5 และ 7 นาที จะมีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 และรองลงมาที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และน้อยที่สุดที่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 หรือก็คืออัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์มีค่าแปรผกผันกับความหนาแน่น

#### 4.4.2 เวลาในการปั่นคอนกรีตมวลเบา ที่มีผลต่อความหนาแน่น



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปั่นกับความหนาแน่น

จากภาพที่ 4.9 จุดสีฟ้าคือผลทดสอบ และเส้นสีฟ้าคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ในขณะที่จุดสีส้มคือผลทดสอบ และเส้นสีส้มคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และจุดสีเทาคือผลทดสอบ และเส้นสีเทาคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

(1) ที่เวลา 1 นาที ตัวอย่างจะมีความหนาแน่นสูงที่สุดเนื่องจากในเวลาเพียง 1 นาทีฟองโฟมยังไม่ทันผสมกับคอนกรีตได้ดีนัก ทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีปริมาณฟองโฟมในตัวอย่างน้อย ยกเว้นแต่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 เนื่องจากคอนกรีตจะมีสภาพเหลวค่อนข้างสูงทำให้เวลาปั่นคล่องกว่าเมื่อเทียบตัวอย่างในกรณีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์อื่นทำให้เวลาเพียง 1 นาทีคอนกรีตก็ผสมเข้ากับฟองโฟมแล้ว

(2) ที่เวลา 3 นาที ตัวอย่างจะมีความหนาแน่นสูงต่ำลงเนื่องจากฟองโพรเริ่มผสมเข้ากับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีปริมาณฟองโพรในตัวอย่างมากขึ้น ยกเว้นแต่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 เนื่องจากคอนกรีตจะมีสภาพเหลวค่อนข้างสูงทำให้เวลา 3 นาที ฟองโพรเริ่มจะแตกตัวทำให้ปริมาณฟองโพรในตัวอย่างน้อยลง

(3) ที่เวลา 5 นาที ตัวอย่างจะมีความหนาแน่นสูงขึ้น เนื่องจากฟองโพรเริ่มจะแตกตัวทำให้ปริมาณฟองโพรในตัวอย่างน้อยลง

(4) ที่เวลา 7 นาที ตัวอย่างในทุกกรณีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะมีความหนาแน่นต่ำลง เนื่องจากในการใช้เวลาในการบ่มที่นานเกินไป จะทำให้เกิดฟองโพรขึ้นมาใหม่ที่ฟองโพรที่แตกออกไป

#### 4.5 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

เมื่อเก็บตัวอย่างทดสอบคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลสโดยมีการบ่มคอนกรีตแบบน้ำขัง มีอายุตามที่กำหนดที่อายุ 28 วัน นำตัวอย่างมาทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ โดยขนาดของตัวอย่างทดสอบเป็นลูกบาศก์ขนาด  $5 \times 5 \times 5$  ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าตัวอย่างที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 28 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 และมีเวลาในการบ่มเท่ากับ 1 นาที และตัวอย่างที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 14.58 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และมีเวลาในการบ่มเท่ากับ 1 นาที ซึ่งเราจะแบ่งวิเคราะห์หรือออกเป็น 3 ประเด็น หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำในหัวข้อที่ 4.4.1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำในหัวข้อที่ 4.4.2 และในหัวข้อที่ 4.4.3 เวลาในการบ่มของคอนกรีตต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลส

ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Dry weight (g)	Wet weight (g)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	การดูดซึมน้ำ (%)
1	1	0.4	1	0.212	0.248	1576.75	16.98113
2				0.206	0.242	1519.97	17.47573
3				0.211	0.246	1636.93	16.58768
4				0.203	0.238	1566.96	17.24138
5				0.188	0.221	1474.34	17.55319
6				0.202	0.236	1542.46	16.83168
7			3	0.211	0.247	1485.18	17.06161
8				0.205	0.24	1516.27	17.07317
9				0.209	0.245	1534.17	17.22488
10				0.208	0.243	1465.61	16.82692
11				0.208	0.243	1474.21	16.82692
12				0.213	0.248	1514.07	16.43192
13			5	0.209	0.244	1573.44	16.74641
14				0.206	0.241	1543.88	16.99029
15				0.203	0.238	1527.67	17.24138
16				0.207	0.241	1530.54	16.42512
17				0.206	0.241	1533.65	16.99029
18				0.207	0.241	1539.03	16.42512
19			7	0.190	0.223	1404.18	17.36842
20				0.190	0.223	1465.26	17.36842
21				0.189	0.222	1395.62	17.46032
22				0.191	0.224	1398.86	17.27749
23				0.190	0.222	1406.16	16.84211
24				0.192	0.224	1380.70	16.66667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

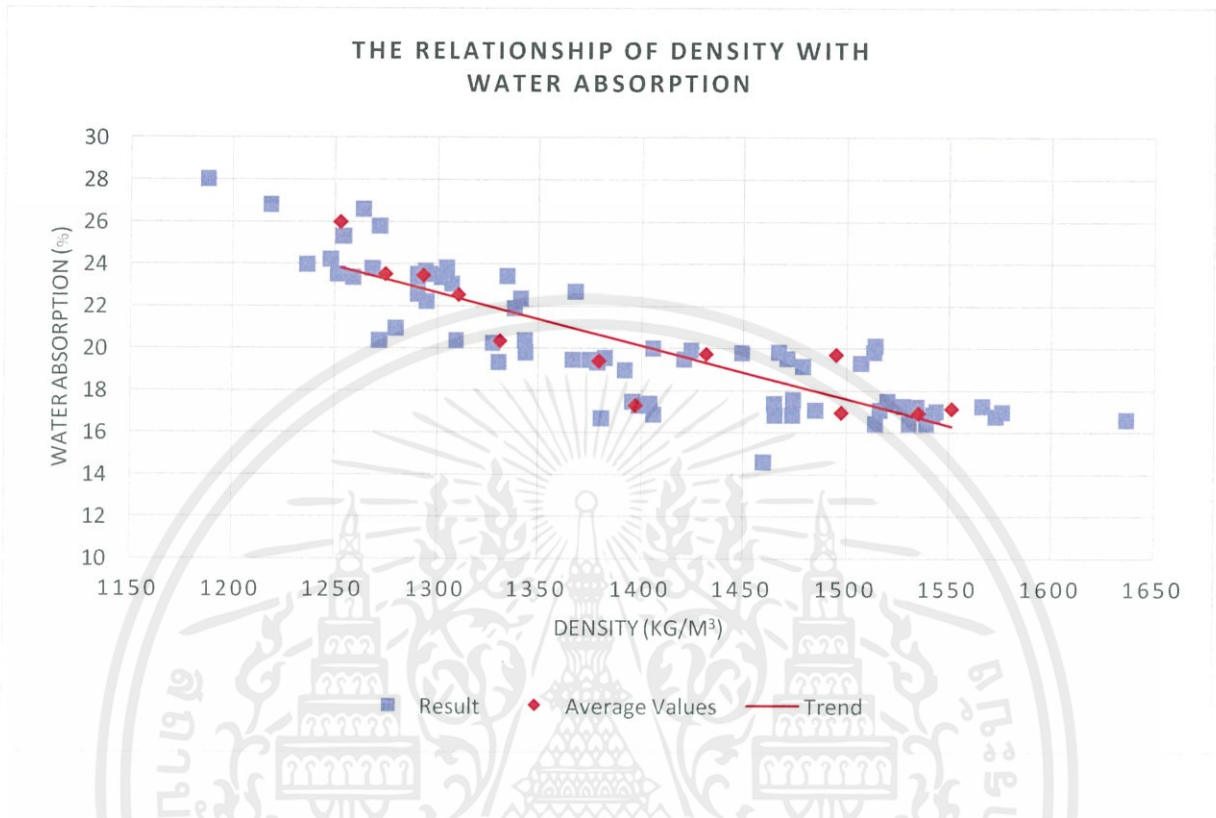
ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Dry weight (g)	Wet weight (g)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	การดูดซึมน้ำ (%)	
25	1	0.5	1	0.194	0.233	1380.70	20.10309	
26				0.192	0.230	1513.85	19.79167	
27				0.195	0.233	1513.29	19.48718	
28				0.192	0.220	1471.59	14.58333	
29				0.192	0.230	1460.41	19.79167	
30				0.197	0.235	1467.67	19.28934	
31			3	0.172	0.206	1507.04	19.76744	
32				0.172	0.207	1344.07	20.34884	
33				0.172	0.207	1309.58	20.34884	
34				0.172	0.208	1272.00	20.93023	
35				0.173	0.208	1279.57	20.23121	
36				0.172	0.207	1327.68	20.34884	
37				5	0.187	0.224	1343.65	19.78610
38					0.186	0.223	1449.52	19.89247
39					0.185	0.222	1424.63	20.00000
40					0.185	0.221	1405.74	19.45946
41					0.188	0.224	1421.11	19.14894
42					0.188	0.224	1479.27	19.14894
43			7	0.174	0.207	1479.27	18.96552	
44				0.176	0.210	1392.00	19.31818	
45				0.175	0.209	1330.81	19.42857	
46				0.176	0.210	1366.94	19.31818	
47				0.174	0.208	1378.88	19.54023	
48				0.175	0.209	1382.31	19.42857	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	s/c	w/c	Mixing time (min)	Dry weight (g)	Wet weight (g)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	การดูดซึมน้ำ (%)	
49	1	0.6	1	0.158	0.200	1264.00	26.58228	
50				0.153	0.194	1219.22	26.79739	
51				0.162	0.203	1254.26	25.30864	
52				0.150	0.192	1188.12	28.00000	
53				0.159	0.200	1272.00	25.78616	
54				0.162	0.203	1254.65	25.30864	
55				0.167	0.206	1301.94	23.35329	
56				0.164	0.203	1268.37	23.78049	
57			3	0.169	0.206	1338.61	21.89349	
58			0.157	0.195	1248.50	24.20382		
59			0.165	0.204	1294.02	23.63636		
60			0.165	0.203	1307.19	23.03030		
61			5	0.171	0.209	1294.63	22.22222	
62				0.172	0.211	1368.01	22.67442	
63				0.173	0.212	1290.46	22.54335	
64				0.171	0.211	1334.93	23.39181	
65				0.170	0.208	1341.43	22.35294	
66				0.166	0.205	1290.32	23.49398	
67				7	0.167	0.206	1290.48	23.35329
68					0.166	0.205	1296.77	23.49398
69			0.166		0.205	1251.79	23.49398	
70			0.167		0.206	1398.86	23.35329	
71			0.167		0.207	1237.04	23.95210	
72			0.168		0.208	1304.65	23.80952	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

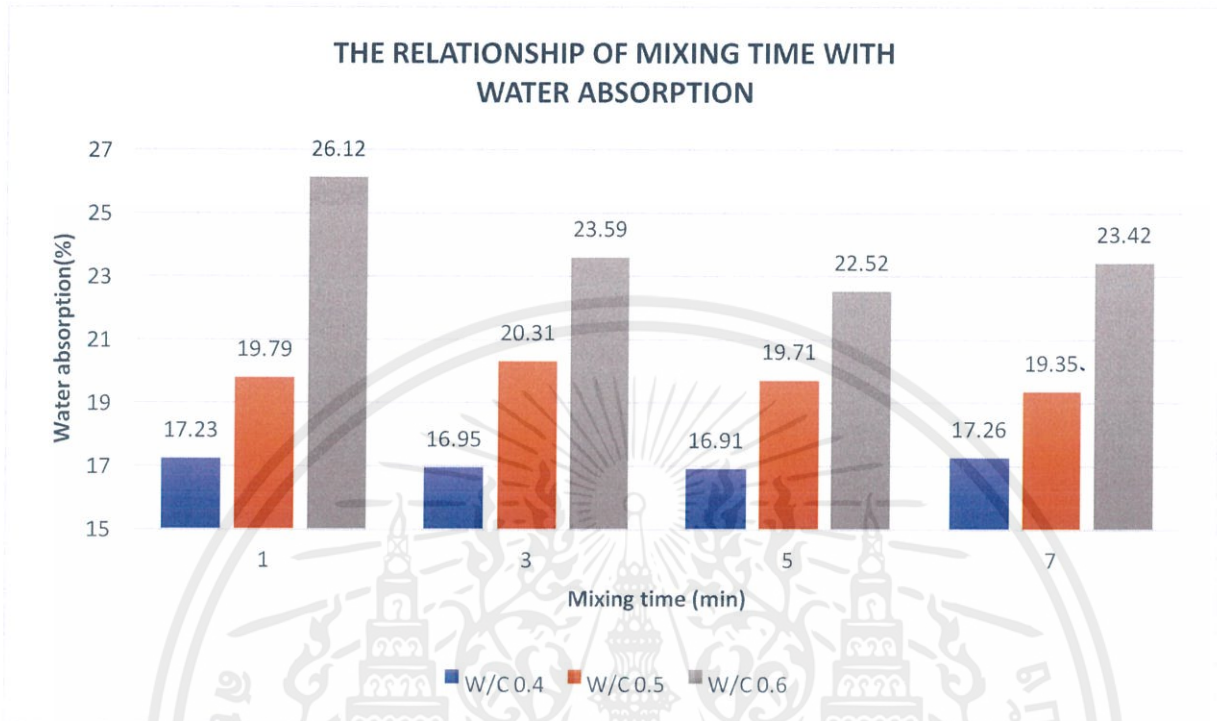
#### 4.5.1 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

จากภาพที่ 4.10 จุดสีฟ้าคือผลการทดสอบของตัวอย่างทั้งหมด และจุดสีแดงคือค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในแต่ละกรณีการศึกษา โดยมีปัจจัยของเวลาในการบ่มที่ 1 3 5 และ 7 นาที และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 ซึ่งพบว่าตัวอย่างทดสอบมีหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1150-1650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในทุกกรณีทดสอบตัวอย่างที่มีความหนาแน่นมากขึ้น จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำลง นั่นหมายความว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจะแปรผกผันกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

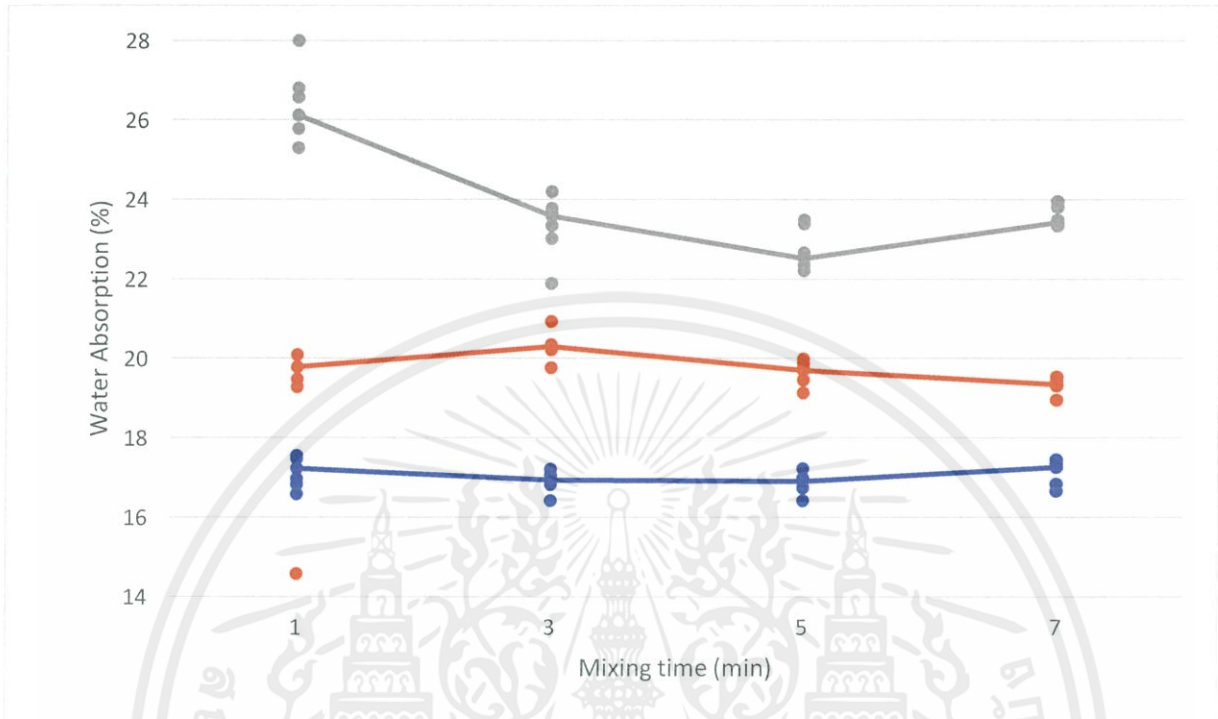
#### 4.5.2 อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ



ภาพที่ 4.11 เวลาในการปั่นคอนกรีตมวลเบาเซลล์ลู่วิ่งที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

จากภาพที่ 4.11 ตัวอย่างในทุกกรณีเวลาในการปั่นฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีต 1 3 5 และ 7 นาที จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 และรองลงมาที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และน้อยที่สุดที่ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 หรือก็คืออัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์มีค่าแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

#### 4.5.3 เวลาในการปั่นคอนกรีตมวลเบา ที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

จากภาพที่ 4.12 จุดสีฟ้าคือผลทดสอบ และเส้นสีฟ้าคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ในขณะที่จุดสีส้มคือผลทดสอบ และเส้นสีส้มคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และจุดสีเทาคือผลทดสอบ และเส้นสีเทาคือแนวโน้มของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 ซึ่งมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

(1) ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 และ 0.5 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำในแต่ละกรณีเวลาในการปั่นแทบจะใกล้เคียงกันทั้งหมด

(2) ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากที่สุดเมื่อใช้เวลาในการบ่มเพียง 1 นาที และลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 5 นาที เนื่องจากฟองโฟมเกิดการแตกตัวทำให้มีปริมาณฟองโฟมภายในคอนกรีตน้อยลง และที่เวลาการบ่ม 7 นาที ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากฟองโฟมที่เกิดขึ้นใหม่หลังจากการบ่มที่ใช้เวลานาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในหัวข้อที่ 5.1 การวิเคราะห์แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีต และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในหัวข้อที่ 5.2 การสรุปผลการศึกษาคงสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ในหัวข้อที่ 5.3 และในหัวข้อที่ 5.4 เป็นข้อเสนอแนะในการศึกษา และการทดสอบ

#### 5.1 การผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเป็นคอนกรีตพ่นด้วยโพรงอากาศ มีปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ และโฟมเหลวเป็นส่วนผสม จะไม่มีหินเป็นส่วนผสม อุปกรณ์ในการผลิตจะเหมือนกับการผลิตคอนกรีตทั่วไป แต่จะมีเครื่องผลิตโฟม น้ำยาโฟม แต่อุปกรณ์สำหรับบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตโดยเฉพาะ ซึ่งในที่นี้จะใช้เป็นสว่านมือกับดอกสว่านปั่นผสมปูนซีเมนต์ การผลิตเริ่มโดยการคลุกเคล้าปูนซีเมนต์กับทรายและน้ำเข้าด้วยกันโดยใช้ไม้ผสมคอนกรีต หลังจากคอนกรีตผสมกันเข้าที่แล้ว นำมาฉีดโฟมเหลวลงไม่ แล้วปั่นด้วยสว่านมือและดอกสว่านปั่นผสมปูนซีเมนต์ตามระยะเวลาที่กำหนด

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ใช้การกำหนดอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ และปริมาณโฟมที่ใช้ในการผสมให้คงที่ กำหนดค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 และกำหนดเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตเท่ากับ 1 3 5 และ 7 นาที

#### 5.2 การวิเคราะห์แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีต และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะแปรผกผันกับคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น แต่จะแปรผันตรงกับคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ ส่วนเวลาในการบ่มโฟมให้เข้ากับคอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนนำความร้อน ดังต่อไปนี้

### 5.2.1 ผลต่อคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 5.1 ความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด เมื่อเวลาในการบ่มเปลี่ยนไป

ตัวอย่าง \ เวลาในการบ่ม	1-3 นาที	3-5 นาที	5-7 นาที
W/C 0.4	ลดลง 2.58%	ลดลง 8.60%	ลดลง 29.48%
W/C 0.5	ลดลง 26.00%	เพิ่มขึ้น 38.39%	ลดลง 13.75%
W/C 0.6	เพิ่มขึ้น 38.17%	เพิ่มขึ้น 10.95%	ลดลง 22.93%

จากตารางที่ 5.1 สรุปได้ว่าปัจจัยเวลาในการบ่มฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีตมีผลกับคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดดังต่อไปนี้

(1) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 กำลังรับแรงอัดจะแปรผกผันกับเวลาในการบ่มฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีต

(2) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 กำลังรับแรงอัดจะแปรผกผันกับเวลาในการบ่มฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1-3 นาที และ 5-7 นาที แต่จะแปรผันตรงกับเวลาในการบ่มฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีตที่ 3-5 นาที

(3) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 กำลังรับแรงอัดจะแปรผันตรงกับเวลาในการบ่มฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1-5 นาที แต่จะแปรผกผันกับเวลาในการบ่มฟองโฟมให้เข้ากับคอนกรีตที่ 5-7 นาที

### 5.2.2 ผลต่อคุณสมบัติความหนาแน่น

ตารางที่ 5.2 ความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติความหนาแน่น เมื่อเวลาในการบ่มเปลี่ยนไป

ตัวอย่าง \ เวลาในการบ่ม	1-3 นาที	3-5 นาที	5-7 นาที
W/C 0.4	ลดลง 3.49%	เพิ่มขึ้น 2.51%	ลดลง 8.98%
W/C 0.5	ลดลง 10.93%	เพิ่มขึ้น 7.55%	ลดลง 3.68%
W/C 0.6	เพิ่มขึ้น 3.20%	เพิ่มขึ้น 1.35%	ลดลง 2.74%

จากตารางที่ 5.1 สรุปได้ว่าปัจจัยเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตมีผลกับคุณสมบัติความหนาแน่นดังต่อไปนี้

(1) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ความหนาแน่นจะแปรผกผันกับเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1-3 นาที และ 5-7 นาที แต่จะแปรผันตรงกับเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 3-5 นาที

(2) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ความหนาแน่นจะแปรผกผันกับเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1-3 นาที และ 5-7 นาที แต่จะแปรผันตรงกับเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 3-5 นาที

(3) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 ความหนาแน่นจะแปรผันตรงกับเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1-5 นาที แต่จะแปรผกผันกับเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 5-7 นาที

### 5.2.3 ผลต่อคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 5.3 ความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ เมื่อเวลาในการปั้นเปลี่ยนไป

ตัวอย่าง \ เวลาในการปั้น	1-3 นาที	3-5 นาที	5-7 นาที
W/C 0.4	ลดลง 1.66%	ลดลง 0.23%	เพิ่มขึ้น 2.10%
W/C 0.5	เพิ่มขึ้น 2.61%	ลดลง 2.94%	ลดลง 1.81%
W/C 0.6	ลดลง 9.68%	ลดลง 4.52%	เพิ่มขึ้น 4.00%

จากตารางที่ 5.1 สรุปได้ว่าปัจจัยเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตมีผลกับคุณสมบัติค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยมาก ซึ่งมีผลดังต่อไปนี้

(1) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะแปรผกผันกับเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1-5 นาที แต่จะแปรผกผันกับเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 5-7 นาที

(2) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะแปรผันตรงกับเวลาในการบ่มฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1-3 นาที แต่จะแปรผกผันกับเวลาในการบ่มฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 3-7 นาที

(3) ตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะแปรผกผันกับเวลาในการบ่มฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 1-5 นาที แต่จะแปรผันตรงกับเวลาในการบ่มฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ 5-7 นาที

### 5.3 การสรุปผลการศึกษาคคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

คุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนนำความร้อนที่อัตราส่วนน้ำ 0.4 0.5 และ 0.6 และเวลาในการบ่มฟองโพนที่ 1 3 5 และ 7 นาที ได้ผลการทดสอบสูงสุด และต่ำสุดดังแสดงในตารางที่ 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบสูงสุด และต่ำสุดของคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบที่อายุการบ่มในน้ำชั่ง 28 วัน			
	ค่าสูงสุดที่ได้	อัตราส่วนผสม	ค่าต่ำสุดที่ได้	อัตราส่วนผสม
กำลังรับแรงอัด (ksc)	125.04	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4 เวลาในการบ่ม 1 นาที	35.86	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.6 เวลาในการบ่ม 1 นาที
ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	1551.53	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4 เวลาในการบ่ม 1 นาที	1252.83	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.6 เวลาในการบ่ม 1 นาที
การดูดซึมน้ำ (%)	25.98	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.6 เวลาในการบ่ม 1 นาที	16.91	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4 เวลาในการบ่ม 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตไม่ชัดเจนมากนัก ดังนั้นควรมีกรณีเวลาในการปั้นฟองโพนให้เข้ากับคอนกรีตที่ดี และมากกว่านี้

5.4.2 ผลการทดสอบมีค่าความผิดพลาดสูงในบางตัวอย่างทำให้ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนได้ ควรมีตัวอย่างต่อหนึ่งกรณีการศึกษาให้มากกว่านี้

5.4.3 ผลการทดสอบบางตัวอย่างมีความคลาดเคลื่อนจากการปั้นที่ไม่เสถียร ดังนั้นควรจะใช้วิธีผสมที่สามารถควบคุมให้ปั้นด้วยความเร็วที่คงที่ได้

5.4.4 ผลการทดสอบบางตัวอย่างมีความคลาดเคลื่อนจากการไม่ควบคุมเวลาในการปั้นทรายกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน ดังนั้นควรจะควบคุมเวลาในการปั้นทรายกับซีเมนต์ให้เข้ากัน



## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรศักดิ์ มนตรีและเสรี วิเศษวงษา. 2557. การบ่มและการป้องกันคอนกรีตสด. คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- [2] A.M. Neville. 1995. Properties of Concrete. Fourth ed. England: Longman Group Limited, Essex.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม. 2556. การกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มาตรฐาน มอก. 2601-2556
- [4] สุเมธ สัตหัตต์วัฒนา. 2553. การศึกษาการวัดคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตมวลเบาชนิดเซลลูโลสจากค่าความหนาแน่นของคอนกรีต. การประชุมคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 5. 20-22 ตุลาคม 2552 ณ จังหวัดนครราชสีมา.
- [5] อภัย ชาภิรมย์. 2557. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผนังหล่อในที่คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา: มหาวิทยาลัยสุรนารี.
- [6] นิตยร์ดี ดอเลื้อ. 2552. วัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานวัสดุก่อสร้าง. วารสารนราธิวาสราชนครินทร์. ปีที่1,ฉบับที่ 3: หน้า 48-62.
- [7] ณัฐวุฒิ เต่งศิริธรรม. 2558. การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดคะเนหาสัดส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลเบา CLC. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- [8] นายธนกร ทวีวุฒ . 2558. กำลังรับแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตเบาแลกลเซลลูโลส. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, จังหวัดอุบลราชธานี.
- [9] อิทธิเชษฐ์ อุตะธีรวิชญ์. 2553. คุณสมบัติการใช้งานคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA19428 Reprinted from the Annual Book of ASTM standards. Copyright ASTM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก. ส่วนประกอบของคอนกรีต

### 1. ประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายประเภทและที่ใช้กันมากที่สุด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งแบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็น 5 ประเภทดังนี้

- ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ธรรมดา ใช้ในการทำคอนกรีตที่ไม่ต้องคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาและใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป
- ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตปานกลาง
- ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรกมีเนื้อละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา
- ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหยาบ เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่น
- ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตสูง เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง นอกจากนี้แล้วยังมีปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ดังนี้
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กากเตาถลุง (Portland-blastfurnace Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผสมกับสารจำพวกปอซโซลานิก ชนิดนี้ให้คอนกรีตมีการขยายตัวน้อยแต่มีความทึบน้ำสูง ให้ความร้อนในการรวมตัวกับน้ำต่ำ
- ปูนซีเมนต์อลูมินาสูง (High Alumina Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตจากการหลวมส่วนผสมของหินปูนหรือซอร์คกับสารที่มีอลูมินามาก ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังเร็ว แต่ให้ความร้อนมากและยังทนต่อการกัดกร่อนของสารประกอบพวกซัลเฟตด้วย
- ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง (Super-sulphated Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดส่วนผสมของปูนเม็ดปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อก่อตัวและแข็งตัวมันจะขยายตัวออกก่อนเป็นการลดรอยแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีต

## 2. มวลรวม

มวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีตก็คือ หินและทราย ซึ่งควรมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ความแข็งแรงวัสดุผสมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต เพราะกำลังอัดประลัยของหินทั่วไปสูงกว่าคอนกรีต ความแข็งแรงค่ากำลังอัดประลัยของหินมีค่าประมาณ 700-3,500 kg/cm<sup>2</sup>
- ความทนทานต่อการสึกกร่อน เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของหินที่จะนำมาผสมทำคอนกรีตที่ต้องทนต่อแรงกระแทก และเสียดสีมาก โดยทั่วไปนิยมใช้วิธี Los Angeles Abrasion Test ซึ่งเปรียบเทียบกับน้ำหนักหินที่สูญหายไป
- ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับความพรุนและการดูดซึมของวัสดุผสม วัสดุผสมต้องมีความพรุนพอที่จะดูดซึมน้ำ มีช่องว่างพอที่จะให้น้ำแข็งขยายตัวได้ในอากาศหนาว
- ความคงตัวปฏิกิริยาทางเคมี วัสดุผสมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ ต้องใช้กับปูนซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของต่างต่ำ
- ลักษณะรูปร่างและผิว มีความสำคัญต่อการควบคุมของคอนกรีตที่ผสมใหม่ ๆ ถ้าใช้วัสดุผสมที่ก้อนกลมจะช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีก้อนเป็นแฉ่งเป็นมุม แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนกลมกับซีเมนต์เพลสท์ต่ำกว่าวัสดุผสมที่มีผิวหยาบ
- ความสะอาด วัสดุผสมต้องสะอาดไม่มีสารที่จะทำให้การเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด สารเหล่านี้จะลดความทนทานและแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต มีกำลังอัดประลัยต่ำและแข็งตัวช้า น เปลือกหอย ชานอ้อย ถ่านหิน โคลน ฤงพลาสติก เป็นต้น

### 3. น้ำยาสร้างฟองโฟม (Prolicon Cream Foam)

เทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตแบบ Cellular Lightweight Concrete (CLC): คอนกรีต CLC เกิดจากการผสมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) หรือสารเพิ่มฟอง (foaming agent)

ในซีเมนต์เพลสต์ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ฟองอากาศเหล่านั้นจะกลายเป็นก้อนอิฐคอนกรีตที่มีรูพรุน และมีความแข็งแรง

สารเพิ่มฟอง เป็นส่วนหนึ่งของการปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์คอนกรีต CLC ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบ เช่นการนำไปผลิตเป็น อิฐมวลเบา, กำแพงมวลเบา, ผนังมวลเบา, การเทหล่อกับที่

โฟมโปรตีนจากสัตว์ “มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม” มีกลิ่นแรง ผลิตขึ้นมาโดยการหมักโปรตีนจากส่วนแข็งของสัตว์ เช่น กีบและเขาสัตว์ ขนไก่ ฯลฯ ซึ่งเมื่อย่อยสลายจะให้เนื้อโฟมคุณภาพสูง เมื่อเก็บไว้นานจะมีปัญหาเรื่องการบูดเน่า เหม็น ผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่นของโฟมติดด้วยนาน ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม

โฟมโปรตีนจากพืช “มีลักษณะใส” มีส่วนผสมของสารลดความตึงผิว ไม่มีกลิ่น เนื้อโฟมคุณภาพสูง โดยมีการเติมสารบางชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ รวมทั้งต้านทานการกักความร้อน ความต้านทานการสลายตัวของแบคทีเรีย รวมไปถึงการควบคุมความชื้น เมื่อเก็บไว้นานจะไม่มีปัญหาเรื่องการบูดเน่า เหม็นเป็นที่นิยมใช้กันอย่างมาก

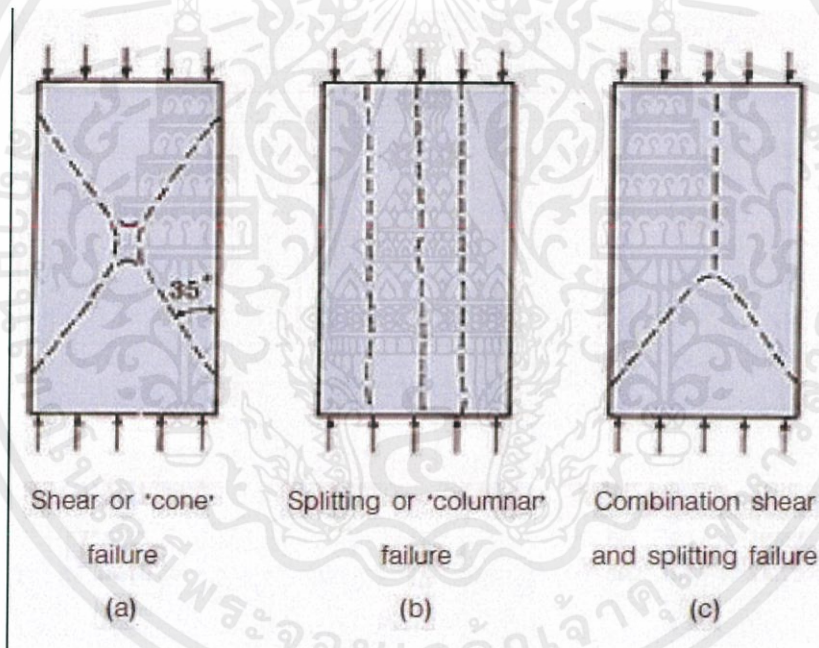
#### การจำแนกประเภทโฟมตามอัตราขยายตัว (Expansion Rate)

1. โฟมอัตราขยายตัวต่ำ (Low Expansion Foam Concentrate) มีการขยายตัว 20 เท่า
2. โฟมอัตราขยายตัวปานกลาง (Medium Expansion Foam Concentrate) มีการขยายตัวจาก 20 ถึง 200 เท่า
3. โฟมอัตราขยายตัวสูง (High Expansion Foam Concentrate) มีการขยายตัวจาก 200 ถึง 1,000 เท่า

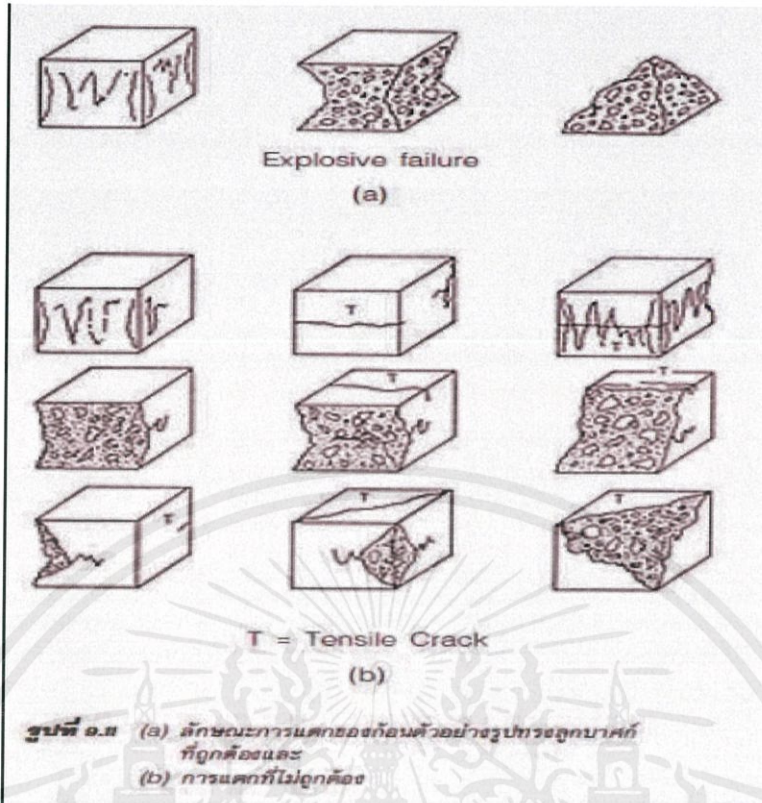
## ภาคผนวก ข .การทดสอบคอนกรีต

### 1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ทำได้โดยการอัดหรือกดแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ตามกำหนด ซึ่งบ่มขึ้นตามระยะเวลาที่กำหนด จนกระทั่งแตก แล้วอ่านค่าความต้านทานแรงอัดประลัย โดยการเกิดการชำรุดของคอนกรีตจะเกิดตามแนวระนาบที่เอียงกับแนวกด เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ระนาบของความเสียหาย ลักษณะแตก หรือแยก ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างอาจเป็นการแตกแบบแยกออก (Splitting Failure) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ (Combination Shear and Splitting Failure)



รูปภาคผนวก ข.1 ลักษณะการชำรุดของทรงกระบอกคอนกรีตรับแรงอัดประลัยที่มา



รูปภาพ ผนวก ข. ลักษณะการชำรุดของลูกบาศก์คอนกรีตในการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้