# อิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC

# INFLUENCE OF DOUBLE MIXING METHOD ON PROPERTIES OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE

วสุ จารุฐานะกร
WASU JARUTHANAKORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-093-085

# อิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC

# INFLUENCE OF DOUBLE MIXING METHOD ON PROPERTIES OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE


**วสุ จารุฐานะกร**

WASU JARUTHANAKORN


**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**พ.ศ.2558**


KMITL-2015-EN-M-093-085



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# INFLUENCE OF DOUBLE MIXING METHOD ON PROPERTIES OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE

WASU JARUTHANAKORN

A THESIS SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DERGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

KMITL-2015-EN-M-093-085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** อิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC

**Thesis Title** Influence of Double Mixing Method on Properties of Cellular Lightweight Concrete

**นักศึกษา** นายวสุ จารุฐานะกร

**รหัสประจำตัว** 53612301

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** รศ.ดร.คมสัน มาลีสี

**หมายเลขวิทยานิพนธ์** KMITL-2015-EN-M-093-085

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| รศ.อำนวย | พานิชกุลพงศ์ | |
| รศ.สุวัฒน์ | ถิรเศรษฐ์ | |
| รศ.เอนก | ศิริพานิชกร | |
| ดร.อาทิตย์ | เพชรศศิธร | |
| รศ.ดร.คมสัน | มาลีสี | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** วันพฤหัสบดีที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 16.00-18.00 น.

**สถานที่สอบ** ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-302

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว**

**(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)**

**คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**วันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2558**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | อิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายวสุ จารุฐานะกร |
| **ระหัสประจำตัว** | 53612301 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมโยธา |
| **พ.ศ.** | 2558 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | รศ.ดร.คมสัน มาลีสี |

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing Method : DM) ต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปจากการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ (Single Mixing Method : SM) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 รวมถึงการผสมสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ในอัตราส่วน 0.005 ต่อซีเมนต์ การทดลองในครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาผลที่เกิดจากกระบวนการผสมคอนกรีตมวลเบาที่แตกต่างออกไปจากเดิม และเป็นการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาโดยไม่นำวัสดุอื่นมาเป็นส่วนผสม ผลที่ได้จากการทดสอบในการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนนั้นสามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาให้ดีขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาลดลงในทุกอัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์ เพิ่มความสามารถในการไหลในคอนกรีตสด การหดตัวของคอนกรีตมวลเบาลดลง อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Title** | Influence Of Double Mixing Method On Properties Of Cellular Lightweight Concrete |
| **Student** | Mr.Wasu Jaruthanakorn |
| **Student ID** | 53612301 |
| **Degree** | Master of Engineering |
| **Program** | Civil Engineering |
| **Year** | 2015 |
| **Thesis Advisor** | Assoc. Prof. Dr. Komson Maleesee |


## ABSTRACT

In this study, the effects of the double mixing method (DM) and the characteristics of cellular lightweight concrete were examined in order to compare with the ones of the concrete made with the single mixing method (SM). The water to cement ratios (W/C) in this study were 0.4, 0.5 and 0.6. The superplasticizer to cement ratio was 0.005. This study was focused on investigating the effects of DM in mixing cellular lightweight concrete and developing cellular lightweight concrete that does not use other raw materials. By mixing the concrete with two parts of divided water, the cellular lightweight concrete was obtained. The weight of the concrete was ob saved be reduced at all W/C ratios. The workability of the concrete was also improved while the shrinkage of concrete was reduced. Finally the increasing of compressive strength was ob saved be existed.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร. คมสัน มาลีสี ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ งานวิจัยนี้กับข้าพเจ้าจนสำเร็จ

ขอขอบคุณสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งประสิทธิ์ประสาทความรู้ และแรงบันดาลใจ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกและสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือในการทดสอบรวมถึงคำแนะนำวิธีการใช้อุปกรณ์เครื่องมือ

ขอขอบคุณบริษัท ทริปเปิ้ล ทรี โฟมมิ่ง เอเจ้น ที่ให้การเอื้อเฟื้อสนับสนุนน้ำยาโฟมที่ใช้สำหรับทำงานวิจัยในครั้งนี้

และขอบคุณทุกคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจช่วยเหลือสนับสนุนในการปฏิบัติการทดลองจนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาและนักวิจัยรุ่นต่อไปที่จะสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาเพื่อสร้างประโยชน์ต่อมวลมนุษย์ต่อไป คุณงามความดีนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่เคารพบูชายิ่งของข้าพเจ้า

วสุ จารุฐานะกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

**หน้า**


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.4 วิธีการศึกษาวิจัย.....3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....4

2.1 กล่าวนำ.....4

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....5

2.2.1 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete).....5

2.2.2 การหดตัวของคอนกรีต.....9

2.2.3 ทฤษฎีการผสมซีเมนต์เพสต์แบบ SM และการผสมแบบ DM .....9

2.3 การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา.....12

บทที่ 3 การดาเนินการวิจัย.....16

3.1 การออกแบบการทดลอง.....16

3.1.1 อัตราส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ในการทดลอง.....16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


3.1.2 กระบวนการผสมคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC แบบ SM และแบบ DM โดยใช้ ทฤษฎีของ Prof.Eiich TAZAWA และ Prof.Tetsurou KASAI.....17

3.2 การเตรียมตัวอย่าง.....17

3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....17

3.2.2 น้ำผสมคอนกรีต.....18

3.2.3 มวลรวมละเอียด.....19

3.2.4 น้ำยาโฟม.....20

3.2.5 สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer).....22

3.2.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC.....23

3.3 วิธีการผสม.....26

3.3.1 วิธีการผสมคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC แบบปกติ (SM).....28

3.3.2 วิธีการผสมคอนกรีตมวลในเบาระบบ CLC แบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM)..... 29

3.4 วิธีการทดลอง.....30

3.4.1 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density).....30

3.4.2 การทดลองความสามารถในการไหล (Workability).....31

3.4.3 การทดลองการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา (Autogenous Shrinkage).....32

3.4.4 การทดลองความสามารถในการรับแรงอัด (Compressive Strength).....34

3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล.....35

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....36

4.1 ผลการทดลองความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา.....36

4.2 ผลการทดลองความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบา (Workability).....37

4.3 ผลการทดลองอัตราการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา (Autogenous Shrinkage).....38

4.4 ผลการทดลองกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา (Compressive Strength).....40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....42
5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง....42
5.2 ข้อเสนอแนะ....43

เอกสารอ้างอิง....45

ภาคผนวก....46
ภาคผนวก ก. การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) ของฟองโฟมคอนกรีตมวลเบา....47
ภาคผนวก ข. ขอมูลที่ได้จากการเก็บค่าจากการทดลอง....50
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่....56

ประวัติผู้เขียน....66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**

2.1 ตารางการจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามการนำไปใช้ ACI 211.2-18.....8

3.1 แสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ที่ใช้ในการทดลอง.....17

ก-1 ค่าความหนาแน่นของฟองโฟมที่ใช้ในการทดสอบ.....49

ข-1 แสดงค่าจากการเก็บข้อมูลในการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา.....51

ข-2 แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C = 0.4.....52

ข-3 แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C = 0.5.....53

ข-4 แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C = 0.6.....54

ข-5 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา.....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

**รูปที่** **หน้า**


2.1 แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์แบบปกติและการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน.....10

2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง$W_1$/C กับการคายน้ำ.....10

2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำส่วนแรกและการคายน้ำ.....12

3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 .....18

3.2 ทรายสำหรับผสมคอนกรีตมวลเบา.....20

3.3 น้ำยาโฟม.....21

3.4 โม่ผสมคอนกรีต.....23

3.5 ปั๊มลม.....24

3.6 เครื่องกำเนิดโฟม.....24

3.7 ปืนฉีดโฟม.....25

3.8 แบบหล่อคอนกรีตมวลเบา.....25

3.9 แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.4.....26

3.10 แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.4+Sp.....26

3.11 แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.5.....27

3.12 แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.5+Sp.....27

3.13 แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.6.....27

3.14 แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.6+Sp.....27

3.15 แสดงการตวงปริมาณฟองโฟม.....28

3.16 แสดงการใส่ฟองโฟมในคอนกรีตหลังจากตวงปริมาณแล้ว.....29

3.17 แสดงการทดสอบความหนาแนนของคอนกรีตมวลเบา (Density).....30

3.18 แสดงอุปกรณ์การทดลองหาความสามารถในการไหล (JSCE-F531-1993 ).....31

3.19 แสดงขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการไหล.....31

3.20 แสดงแบบจำลองอุปกรณ์ในการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา.....32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

**รูปที่** **หน้า**

3.21 แสดงแท่งตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสำหรับการทดสอบการหดตัว.....33
3.22 แสดงการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา.....33
3.23 แสดงก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสำหรับการทดสอบกำลังอัด.....34
3.24 แสดงการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา.....35
4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา.....36
4.2 แสดงค่าความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบา.....37
4.3 แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.4.....38
4.4 แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.5.....39
4.5 แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.6.....39
4.6 แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.4, 0.5 และ 0.6.....40
4.7 แสดงค่ากำลังอัด ของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.4, 0.5, และ 0.6.....41
ก-1 แสดงการทดสอบความหนาแนนของฟองโฟม (Density).....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการขยายตัวของชุมชนในเมืองใหญ่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ประชากรจำนวนมากเข้ามาประกอบอาชีพและบางกลุ่มเข้ามาตั้งถิ่นฐานอยู่ในเมืองใหญ่ ส่งผลให้อัตราการขยายตัวของอาคารบ้านเรือนก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ด้วยพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดในเมืองใหญ่ วิศวกรจึงต้องออกแบบอาคารให้สามารถใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์ได้มากที่สุด อาคารสูงเป็นอาคารที่ใช้พื้นที่ในแนวราบน้อย แต่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากเนื่องจากมีจำนวนชั้นของอาคารที่มากขึ้น ดังนั้นอาคารก็จะต้องมีน้ำหนักที่มากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ต้องออกแบบองค์อาคารให้มีขนาดใหญ่ เพื่อให้เพียงพอต่อการรับน้ำหนักบรรทุกและรับน้ำหนักของตัวอาคารเองได้อย่างปลอดภัย

ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาคอนกรีตให้มีน้ำหนักเบาเพื่อช่วยลดน้ำหนักให้องค์อาคาร คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC (Cellular Lightweight Concrete) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคาร ส่งผลให้สามารถลดขนาดขององค์อาคารได้เป็นอย่างมาก คอนกรีตมวลเบายังมีความสะดวกในการนำไปใช้ในงาน ด้วยคุณสมบัติที่มีน้ำหนักเบาเนื่องจากมีฟองอากาศขนาดเล็ก (Air Bubble) จำนวนมากผสมอยู่ในเนื้อคอนกรีต ทำให้สามารถขนส่งขึ้นอาคารได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ง่ายต่อการนำไปใช้งาน อีกทั้งยังช่วยทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนรวมถึงการป้องกันเสียงจากภายนอกได้เป็นอย่างดี

จากเดิมได้มีความพยายามศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบามาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนักน้อยที่สุดและมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่จะเป็นมวลรวมที่มีน้ำหนักเบาที่อยู่ในกลุ่มสารปอซโซลาน (Pozzolan) เช่น เถ้าลอย ( Fly ash ) เถ้าภูเขาไฟเทียม (Artificial cinders)เถ้าแกลบ (Rice husk ash) ซิลิกาฟูม (Silica fume) เพอร์ไลต์ขยายตัว (Expanded perlite) ผงเทอร์โมโคล (Thermocole bead)และ ตะกรันจากเตาถลุง (Blast furnace slag) เป็นต้น [1] ด้วยวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนการผลิตและให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา อีกทั้งยังมีการศึกษาวิจัยคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ให้มีน้ำหนักเบาและลดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้ง (Drying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

shrinkage) เนื่องจากในคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วยฟองอากาศขนาดเล็กแทนที่ซีเมนต์เพสต์และมวลรวม ด้วยปัญหาการหดตัวแบบแห้งนี้ เมื่อนำคอนกรีตมวลเบาไปใช้งาน ก็จะก่อให้เกิดการแตกร้าวและเสียหายได้ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานและความน่าเชื่อถือของผู้ใช้งาน

ดังนั้นจึงต้องทำการวิจัยให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ดีที่สุด เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และลดปัญหาการแตกร้าวหลังจากในไปใช้งาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1) เพื่อทดสอบถึงคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC (Cellular Lightweight Concrete) ที่ผสมด้วยวิธี DM. (Double Mixing Method)

2) เพื่อทดสอบหาอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ของคอนกรีตมวลเบาใน ระบบ CLC ที่ผสมด้วยวิธี DM. ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งาน

3) เพื่อศึกษาความแตกต่างในคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC ที่ผสมด้วยวิธี DM. เทียบกับการผสมด้วยวิธี SM. (Single Mixing Method)

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC ด้วยวิธี SM. และ DM.

1) ทดสอบความหนาแน่น (Density)

2) ทดสอบความสามารถในการไหล (Workability)

3) ทดสอบอัตราการหดตัว (Autogenous Shrinkage)

4) ทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength)

1.3.2 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษาทดลองในคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC มี ดังนี้

1) อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย = 1:1

2) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.4 ,0.4+Sp ,0.5 ,0.5+Sp ,0.6 และ 0.6+Sp

3) อัตราส่วน สารลดน้ำพิเศษต่อปูนซีเมนต์ = 0.005

โดยทำการศึกษาทดลองกับคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC สำหรับงานโครงสร้าง ซึ่งมีหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,400-1,800 กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 วิธีการศึกษาวิจัย

1) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC

2) ทบทวนวรรณกรรมของคอนกรีตที่ผสมด้วยวิธี DM.

3) ออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ที่เหมาะสม

4) ทำการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ด้วยวิธี DM.จากห้องทดลอง

5) นำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์และหาข้อสรุป

6) เปรียบเทียบคุณสมบัติที่ได้จาการทดสอบระหว่างคอนกรีตมวลเบาระบบ CLCที่ผสมด้วยวิธี SM และการผสมโดยวิธี DM.

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตมวบเบาในระบบ CLC ที่ผสมด้วยวิธี DM

2) เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC ให้มีน้ำหนักที่เบาลง สะดวกกับการนำไปใช้งาน และสามารถนำไปประยุคต์ใช้ในงานโครงสร้างได้

3) ได้วิธีการผสมคอนกรีตมวลเบาวิธีใหม่ โดยใช้วัสดุผสมเหมือนเดิม อัตราส่วนผสมเหมือนเดิม แต่สามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

## 2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและวิจัยคอนกรีตมวลเบามาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด มีความทนทานหากแต่มีน้ำหนักเบาเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นหลังจากการนำไปใช้งาน เช่นปัญหาการแตกร้าวเป็นต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมีได้มีความพยายามที่จะพัฒนาคุณสมบัติให้มีคุณภาพดีขึ้นโดยการนำวัสดุที่มีน้ำหนักเบามาเป็นส่วนผสม อาทิเช่น นำเม็ดโฟมมาเป็นส่วนผสมเพื่อให้ได้น้ำหนักของคอนกรีตที่เบา นำขี้เลื่อยและแกลบมาเป็นส่วนผสม บางงานวิจัยใช้หินที่ได้จากภูเขาไฟที่มีความพรุนมาเป็นวัสดุในการผสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่มีความเบา ผู้วิจัยบางรายนำน้ำยางพารามาเป็นส่วนผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มีความแข็งแรงขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตธรรมดา โดยการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing Method:DM.) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่ต่างกัน รวมถึงการผสมสารลดน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไป ผลการวิจัยพบว่ากรรมวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) สามารถลดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ลงได้ถึงสองเท่าในซีเมนต์เพสท์ที่มีค่า W/C = 0.6 สามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้มากกว่าสองเท่าสำหรับซีเมนต์เพสท์ที่ W/C = 0.4 โดยไม่ใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) จำพวกสารลดน้ำหรือสารลดน้ำพิเศษมาช่วย และสามารถเพิ่มกำลังอัดที่ 28 วันได้มากกว่าการผสมแบบธรรมดา (SM) ไดถึง 4.83% ในคอนกรีตที่ W/C = 0.6 [2] ,[3]

ดังนั้นหากสามารถนำวิธีการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) มาประยุคต์ใช้กับคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC น่าจะช่วยทำคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบามีน้ำหนักที่เบาลงช่วยลดปัญหาการแตกร้าวภายหลังนำไปใช้งานลงได้ และจะเป็นประโยชน์อยากมากในการนำคอนกรีตมวลเบาที่ได้ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หรือส่วนประกอบของงานโครงสร้างบางประการของอาคารเช่น ใช้ทำเป็นคอนกรีตหล่อสำเร็จผนังเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตเบา (Lightweight Concrete) คือ วัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา ซึ่งถ้าหากเป็นวัสดุก่อสร้างแทนคอนกรีตธรรมดาแล้ว จะทำให้ตัวอาคารมีน้ำหนักเบา ขนาดโครงสร้างมีขนาดเล็กลง ทำให้ประหยัดราคาก่อสร้างลงได้มาก นอกจากนี้คอนกรีตเบายังใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา ทำให้ปริมาณการบริโภคพลังงานลดลง รวมทั้งยังลดปริมาณของเสียที่เกิดจากโรงงาน เนื่องจากของเสียบางประเภท เช่น เถ้าลอยสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตเบาได้ อย่างไรก็ตามการนำคอนกรีตเบาไปใช้ร่วมกับเหล็กเสริมนั้น (คอนกรีตเสริมเหล็ก) เช่น พื้น คาน เสา ฐานราก ควรพิจารณาค่าหน่วยน้ำหนักให้เหมาะสม เนื่องจากโดยทั่วไปหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเบาจะมีค่าน้อยกว่า 1,600 กก./ลบ.ม. แต่หากนำไปใช้เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กควรปรับให้มากกว่า 1,840 กก./ลบ.ม.

โดยทั่วไป คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการผสมระหว่างทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ยิปซั่ม และผงอลูมิเนียม โดยมีฟองอากาศมากประมาณร้อยละ 40 ถึง 75 ทำให้มีน้ำหนักเบา บางกรณีสามารถลอยน้ำได้ ฟองอากาศภายในคอนกรีตมวลเบาจะเป็นแบบเซลล์ปิด ไม่ดูดซึมน้ำ หรือดูซึมน้ำน้อยกว่าคอนกรีตมวลเบา 4 เท่า ดีกว่าอิฐมอญ 6 ถึง 8 เท่า ไม่สะสมความร้อน ไม่ติดไฟ และทนไฟที่ 1,000 องศาเซลเซียสได้นาน 4 ชั่วโมง และกันเสียงได้ดี

### 2.2.1 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete)

2.2.1.1 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Light-weight Aggregate Concrete)

มวลรวมที่ใช้มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 60-1,000 กก./ลบ.ม. โดยมวลรวมปกติมีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 1,100-1,750 กก./ลบ.ม. สามารถจำแนกมวลรวมเบาออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

1) มวลรวมที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินที่เป็นลาวาที่ฟองตัวโดยธรรมชาติ มวลรวมชนิดนี้ใช้ผสมในคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูง และมวลรวมจะดูดน้ำมาก

2) มวลรวมที่ได้จากการผลิต 3 กระบวนการคือ

-Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวผสมกับสารก่อฟองอากาศและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส กระทั่งเกิดเป็นฟองอากาศอยู่ในเนื้อหิน ทำให้ภายในเป็นโพรงอากาศ

-Expanded Shale Aggregate ได้จากการนำดินดานผสมกับถ่านที่บดละเอียดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงค่อนข้างดี นิยมนำมาทำเป็นคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Sintered Fly Ash ได้จากการนำ Fly Ash ไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ทำให้อนุภาคยึดติดกัน ผิงของมวลรวมค่อนข้างเรียบ

3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกผสมในคอนกรีต

4) มวลรวมที่ได้จากของเหลวของกระบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าที่หนักได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน หรือจากการพ่นน้ำไปบน Slag ที่หลอมเหลว

2.2.1.2 โฟมคอนกรีต (Aerated or Foam Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ได้จากการทำให้เกิดฟองอากาศหรือที่เรียกว่า “โฟม” ขนาด 0.1 ถึง 1.0 มิลลิเมตรในเนื้อคอนกรีต มีกระบวนการผลิตอยู่ 2 ชนิดคือ

1) Autoclaved Aerated Concrete (AAC) โดยที่ฟองอากาศเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างส่วนผสมทำให้เกิดก๊าซและขยายตัวขึ้น ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นหลังจากผสมวัสดุผสมกับน้ำ และผงอลูมิเนียมแล้ว ส่งผลให้คอนกรีตมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผงอลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยาร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)2) ที่ได้ จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของปูนซีเมนต์และปูนสุก ผลิต ก๊าซไฮโดรเจนซึ่งจะขยายขนาดของมวลให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น และฟองอากาศขนาดเล็กมากมายจะเข้าไปแทนที่ก๊าซไฮโดรเจนในเวลาต่อมา คอนกรีตจะเริ่มก่อตัวและแข็งตัว ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 1 – 3 ชั่วโมงเพื่อให้แข็งตัว พอที่จะสามารถตัดได้ (Stiffening Time) ก้อนคอนกรีต (Green Body) ถูกถอดแบบหล่อออกด้วยวิธีการเอียงแบบตั้งตรงบนแท่นวางและถูกเลื่อนด้วยรถลากที่มีความแม่นยำสูงเพื่อนำก้อนคอนกรีตไปตัดด้วยเครื่องตัดชนิดตัดด้วยเส้นลวดที่มีความแม่นยำสูง หลังจากตัดเสร็จแล้วก้อนคอนกรีตจะถูกนำเข้าเครื่องอบไอน้ำความดันสูงที่ควบคุมอุณหภูมิและความดันสูงสุดที่ 180 – 190°C และ12 บาร์ ตามลำดับ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดเวลาสำหรับการเข้าตู้ อบไอน้ำ – ความดันสูงแล้วจะถูกนำมาคัดแยกเพื่อรอการจำหน่ายเป็นคอนกรีตมวลเบาตามท้องตลาด ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาประเภทนี้ถูกเรียกกันทั่วไปว่าคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ เนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้ต้องนำไปอบไอน้ำต่อ

2) Cellular Lightweight Concrete (CLC) ฟองอากาศที่ได้เกิดจากการใส่ฟองอากาศหรือสารกักฟองอากาศลงไป และทำการผสมฟองอากาศร่วมกับการผสมคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ เมื่อคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์แข็งตัว จะเกิดโพรงอากาศกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีต กำหนดค่าตาชั่งปูนทราย ตามอัตราส่วนที่กำหนดหนดไว้เติมน้ำลงในเครื่องผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด ผสมน้ำยาโฟมตามอัตราส่วนที่กำหนด กำหนดค่าโฟมตามอัตราส่วนที่กำหนดเริ่มทำการผสม โดยเรียก น้ำ ทราย ปูน โฟม เมื่อฟองโฟมกับมอร์ต้าร์เข้ากันดีแล้ว นำรถลำเลียงเข้ารับมอร์ต้าร์มวลเบา เพื่อนำไปเทลงแบบปาดแต่งผิวหน้าด้วย เกรียงปาดให้เรียบร้อยทิ้งไว้ 2.30 – 3.30 ชั่วโมง แล้วจึงนำเครื่องถอดแบบเข้าทำการถอดแบบ นำเครื่องตัดเข้าทำการตัดตามขนาดที่ต้องการทิ้งไว้ 16-24 ชั่วโมง ทำการจัดเก็บขึ้นพาเลทนำพลาสติกใส ห่อหุ้มเพื่อให้เกิดการบ่มคอนกรีตและเป็นการหีบห่อเพื่อทำการขนส่งไปในตัว ไม่จำเป็นต้องเก็บไว้ในที่ร่ม เมื่อชิ้นงานมีอายุครบ 15 วัน สามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้ไม่ยอมให้มีอนุภาคขนาดเล็ก หรือส่วนผสมละเอียดอยู่ในส่วนผสมของคอนกรีตเลย เพื่อมิให้อนุภาคขนาดเล็กลงไปอุดตันช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา คอนกรีตประเภทนี้จึงไม่ใส่ทรายลงในส่วนผสม โดยมีเพียงแต่มวลรวมหยาบ (หินหรือมวลรวมเบาอื่นๆ) ซึ่งปกติจะใช้มวลรวมหยาบขนาดเดียว และมีน้ำปูนเคลือบอยู่หนาไม่เกิน 1–3 มิลลิเมตร คอนกรีตประเภทนี้มีช่องว่างหรือโพรงอยู่มาก ส่งผลให้กำลังค่อนข้างต่ำ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าประมาณ 640 กก./ลบ.ม. มวลรวมหยาบหลักที่ใช้ในการทำคอนกรีตชนิดนี้ คือ Gravel, Crushed stone, Coarse clinker, Sintered pulverized-fuel ash, Expanded clay or shale, Expanded slate และ Foamed slag

คุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบามีดังนี้

1) ความแข็งแรง ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตมวลเบาจะมีค่าประมาณ 10-140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ยกเว้นคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง ซึ่งมีกำลังต้านทานแรงอัด 100-400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาทั่วไปอาจทำให้สูงขึ้น โดยการใช้ทรายธรรมชาติแทนมวลรวมน้ำหนักเบา แต่จะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงกว่า

2) ความคงทน คอนกรีตมวลเบาทั่วไปไม่สามารถทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีความเค้นทางกายภาพและการกระทบกระแทกจากแรงภายนอกเนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีโพรงอากาศอยู่ภายใน ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพที่มีสารจำพวกวัลเฟตเจือปนอยู่หรือสภาพดินชื้น ดังนั้นในการนำไปใช้งานควรมีการฉาบผิวเพื่อป้องกันการสึกกร่อน

3) การหดตัว คอนกรีตมวลเบามีการหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5-40 % แต่คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมซึ่งเป็นผลิตผลจากดินเผา ดินดานหรือตะกรันจะหดตัวน้อยลง

4) การนำความร้อน คอนกรีตมวลเบาเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีโพรงอากาศมากทำให้คอนกรีตมวลเบานำความร้อนได้ไม่ดี

5) หน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 300-1,800 กก./ลบ.ม.

6) การดูดซึมน้ำ คอนกรีตมวลเบามีการดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ความสามารถเทได้ ในปริมาณความสามารถเทได้ที่เท่ากัน คอนกรีตมวลเบาจะมีค่าการยุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

8) การทนไฟ คอนกรีตมวลเบามีความต้านทานเพลิงไหม้ได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

9) สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตมวลเบาประมาณ $7x10^{-6}$ ถึง $14x10^{-6}$ ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดาซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวประมาณ $9.4x10^{-6}$ ต่อองศาเซลเซียส

ข้อควรระวังของคอนกรีตมวลเบาในการใช้งาน

1) การแยกตัว ถ้าส่วนผสมมีค่ายุบตัวมากหรือการจี้เขย่ามากเกินไป คอนกรีตจะเกิดการแยกตัว มวลรวมที่หนักจะตกไปกองอยู่ก้นแบบ และน้ำจะเยิ้มออกมาจากผิวหน้าคอนกรีตมาก ทำให้การแต่งผิวหน้าทำได้ยากขึ้น

2) การดูดซึมน้ำของมวลรวมจะมาก ดังนั้นในการออกแบบสัดส่วนผสมต้องนำปัจจัยนี้มาพิจารณารวมทั้งกำหนดวิธีการผสม

3) การผสมต้องผสมให้ถูกวิธี ถ้าใช้เวลาในการผสมที่นานเกินไปอาจทำให้มวลรวมเบาแตกได้

4) ความทนทานในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก อาจทำให้เกิดสนิมในเหล็กได้ง่ายกว่า ซึ่งมีผลทำให้ความทนทานของคอนกรีตลดลง

**ตารางที่ 2.1** การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามการนำไปใช้ ACI 211.2-18

| ประเภท | กำลังอัดรูปทรงกระบอก (กก./ตร.ซม.) | หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.) |
|---|---|---|
| คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete) | 180-480 | 1400-1800 |
| คอนกรีตสำหรับงานก่อ (Masonry Concrete) | 100-180 | 500-800 |
| คอนกรีตสำหรับงานฉนวนความร้อน (Insulating Concrete) | 10-100 | น้อยกว่า 800 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 การหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ และก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีต ซึ่งอาจจะนำไปสู่การแตกร้าวได้ถ้ามีการยึดรั้ง การหดตัวของคอนกรีตที่มักพบโดยทั่วไปและจำเป็นต้องคำนึงถึงในการออกแบบคอนกรีตด้วย ได้แก่การหดตัวแบบออโตจีเนียสและการหดตัวแบบแห้ง ในหลายกรณีการหดตัวทั้งสองชนิดนี้จะเกิดขึ้นไปด้วยกัน แต่มักจะรุนแรงต่างเวลากัน โดยการหดตัวแบบออโตจีเนียสมักจะเกิดมากในช่วงอายุต้น แต่การหดตัวแบบแห้งมักจะเกิดมากเมื่อผิวหน้าคอนกรีตเกิดการแห้งตัวแล้วหลังจากการบ่ม ทำให้ต้องคำนึงถึงการหดตัวทั้งสองชนิดนี้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต และในการออกแบบโครงสร้างเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการแตกร้าวที่ไม่พึงประสงค์

2.2.2.1 การหดตัวแบบออโตจีเนียส (Autogenous Shrinkage)

การหดตัวแบบออโตจีเนียสเกิดจากผลรวมของการหดตัวทางเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Chemical Shrinkage) รวมกับการหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นในช่องว่าง คะปิลลารีในเพสต์ ทำให้เกิดแรงดึงคะปิลลารี (Capillary Tension) ขึ้นในช่องว่างคะปิลลารี ซึ่งมีผลให้คอนกรีตหดตัว (Physical Shrinkage due to Self-desiccation) การหดตัวแบบออโตจีเนียสจะเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหากคอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคือต่ำกว่า 0.4

2.2.2.2 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

การหดตัวแบบแห้งเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่องว่างและโพรงอากาศในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศสูญเสียความชื้นไปสู่สิ่งแวดล้อม และเกิดการหดตัว โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นนั้น บางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปียกชื้นขึ้นมาใหม่ คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงจะมีช่องว่างคะปิลลารี (Capillary Pores) และปริมาณน้ำอิสระมาก ทำให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตได้สะดวกและมาก ดังนั้นจึงมีการหดตัวแบบแห้งที่สูง

### 2.2.3 ทฤษฎีการผสมซีเมนต์เพสต์แบบปกติและการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

จากงานศึกษาวิจัยของ Prof.Eiich TAZAWA และ Prof.Tetsurou KASAI เป็นทฤษฎีที่นำมาใช้ในการศึกษาคือวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์กับน้ำ หรือที่เรียกว่า ซีเมนต์ที่แตกต่างกันออกไปจากวิธีการผสมแบบปกติโดยวิธีการผสมมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{SM} : \text{W} \xrightarrow[+\text{Cement}]{\text{L:0.5 min}} \underset{\text{Mixing}}{\text{H:x min}}$$

$$\text{DM} : \text{W}_1 \xrightarrow[+\text{Cement}]{\text{L:0.5 min}} \xrightarrow[\text{PM}]{\text{H:y min}} +\text{W}_2 \underset{\text{SM.}}{\text{H: z min}}$$

x : mixing time for SM , y,x: primal and secondary mixing time for DM, x=y+z

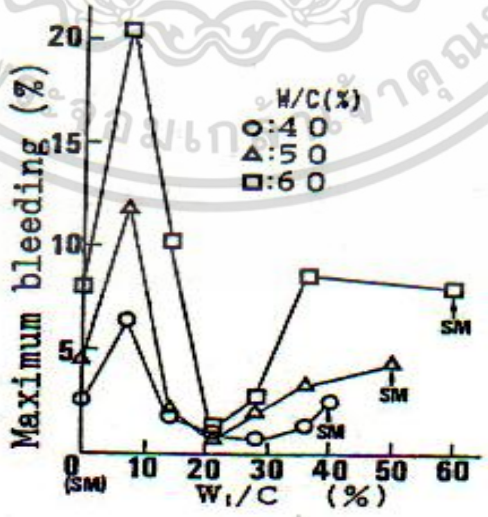
C : cement, W : water, $W_1$ :primal water, $W_2$ : secondary water, L : low speed

H : high speed, p.m.: primal mixing, s.m.: secondary mixing [4]

**รูปที่ 2.1** แสดงวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์แบบปกติและการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

โดยวิธีการดังกล่าวจะทำการผสมทรายที่มีการปรับแก้ค่าความชื้นที่ผิวแล้ว ด้วยซีเมนต์เพสต์ที่ทำการผสมด้วยน้ำในอัตราส่วนที่น้อยก่อนแล้วทำการเพิ่มน้ำลงไปตามความเหมาะสมกับสภาพของงานที่ใช้ แต่วิธีดังกล่าวได้ประสบปัญหาในเรื่องของการคายน้ำ

โดยปกติการผสมน้ำแบบแห้งด้วยซีเมนต์กับทรายก่อนแล้วจึงทำการผสมน้ำลงไปตามอัตราส่วน แต่วิธีดังกล่าวไม่ได้ช่วยในเรื่องของการเพิ่มหรือลดการคายน้ำเช่นเดียวกัน จึงศึกษาเพิ่มเติมและได้นำวิธีการผสมซีเมนต์กับน้ำแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) มาช่วยในเรื่องของการคายน้ำ (Bleeding) ของซีเมนต์เพสต์และได้ทำการประยุกต์นำไปใช้ในงาน Shortcrete ในประเทศญี่ปุ่น โดยผลของการศึกษาวิจัยมีดังนี้

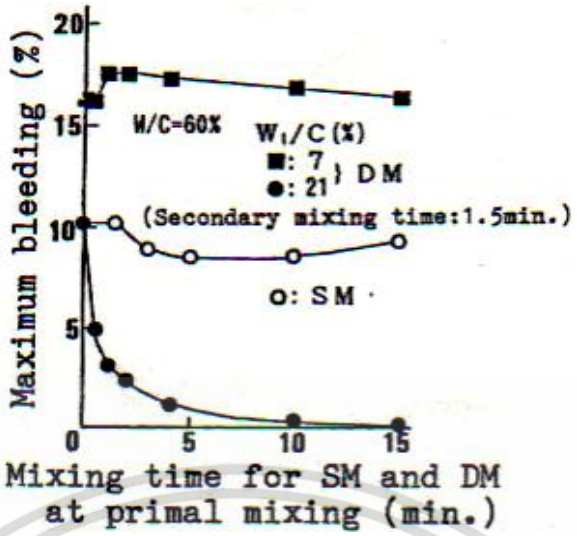



**รูปที่ 2.2** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง$W_1$/C กับการคายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 2.2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $W_1/C$ กับการคายน้ำมากที่สุด (Maximum Bleeding) ในแต่ละตัวอย่างของการทดลองด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) โดยทำการทดสอบอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน คือ น้ำที่ใช้ในการผสมมีค่า 40 , 50 และ 60 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบการคายน้ำ ซึ่งจะทำการทดสอบเพิ่มน้ำในส่วนแรกของการผสมทีละ 7% ของน้ำหนักซีเมนต์และน้ำในส่วนที่สองของการผสมจะเพิ่มจนครบตามอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์จะพบว่าน้ำในส่วนแรกในการผสมระหว่าง 27-30% มีการคายน้ำน้อยที่สุด และน้ำในส่วนแรกในการผสมที่ 7% มีการคายน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการผสมแบบปกติ (Single Mixing) ซึ่งผลจากการทดสอบดังที่กล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าการที่น้ำในส่วนแรกของการผสมที่ 27-30% มีการคายน้ำน้อยนั้น เนื่องจากน้ำในส่วนนั้นได้มีการทำให้ซีเมนต์กับน้ำเข้ากันได้ดีก่อน โดยมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างสมบูรณ์ (จากการทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ มีค่า 27±1) จึงทำให้การจับตัวระหว่างน้ำในซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึงเมื่อรวมตัวกันในน้ำส่วนที่สอง น้ำจะมีการยึดเกาะส่วนแรกได้ดีขึ้น ส่วนการผสมแบบปกติเป็นการผสมน้ำเพียงครั้งเดียว ดังนั้นน้ำที่ผสมลงไปนั้นมีส่วนที่เป็นน้ำส่วนเกิน (Excess Water) อยู่ จึงทำให้การจับตัวระหว่างซีเมนต์กับน้ำมีบางส่วนเป็นการจับตัวระหว่างน้ำกับน้ำ เป็นผลที่ทำให้น้ำในส่วนนั้นสามารถที่จะเกิดการดันหรือยกตัวขึ้นมาได้ทำให้มีการคายน้ำมาก ส่วนการคายน้ำที่ 7% มีค่ามากที่สุดเป็นผลมาจากน้ำในส่วนแรกของการผสมทำให้ซีเมนต์มีการจับตัวกันเป็นก้อน เมื่อนำน้ำในส่วนที่สองทำการผสมลงไปทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับซีเมนต์ไม่ดี เนื่องจากอนุภาคของซีเมนต์มีขนาดใหญ่ทำให้การจับตัวกันมีช่องว่างที่ใหญ่ และพื้นผิวในการจับระหว่างซีเมนต์มีน้อยจึงทำให้การจับตัวระหว่างน้ำกับน้ำมีมากขึ้น แล้วน้ำจึงเกิดการดันตัวหรือยกตัวผ่านทางช่องว่างที่มีขนาดใหญ่จึงเกิดการคายน้ำมากที่สุด ซึ่งดังข้อความที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่าซีเมนต์ที่นำมาใช้ในปัจจุบันถ้ามีความชื้นในซีเมนต์เป็นผลทำให้น้ำในส่วนนั้นเป็นน้ำในส่วนแรกของการผสมซีเมนต์ เมื่อนำซีเมนต์ไปใช้งานจึงทำให้เกิดการคายน้ำมีมากจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.3** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำส่วนแรกและการคายน้ำ

จากรูปที่ 2.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมน้ำในส่วนแรกกับการคายน้ำมากที่สุดในแต่ละตัวอย่างทำการเปรียบเทียบการผสมแบบปกติ (Single Mixing) กับแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) เป็นการศึกษาต่อไปอีกว่าหากมีการใช้เวลาในการผสมในช่วงแรกที่มีค่ามากขึ้นจะเป็นอย่างไร พบว่าการคายน้ำที่มีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing) ที่มีการใช้เวลาในการผสมน้ำในส่วนแรกที่มากขึ้น พบว่าการคายน้ำจะมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับการผสมแบบปกติ (Single Mixing)

## 2.3 การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา

**ศิวะ วาสาลา (2552)** ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของ Foaming Agent ที่มีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมในคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยจุดประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้างซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ 1,200-2,000 กก./บล.ม. และมีกำลังรับแรงอัดมากกว่า 180 กก./ซม.$^2$ที่อายุ 28 วัน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และ 0.5 ในส่วนของมอร์ต้าร์ใช้อัตราส่วนปูนต่อทราย 1:1 ในการผสมและทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว จากผลการทดสอบพบว่า มอร์ต้าร์ที่มีหน่วยน้ำหนัก 1,200-2,000 กก./บล.ม. และใช้ทรายระเอียดในการผสมมีค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 20.47 – 70.93 กก./ซม.$^2$ ที่อัตรส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และมีค่าระหว่าง 19.64-58.61 กก./ซม.$^2$ ที่อัตรส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 หลังจากนั้นทดสอบแรงยึดเหนี่ยวในมอร์ต้าร์ที่ใช้ทรายหยาบที่มีอัตรส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และ 0.5 มีค่าระหว่าง 10.82-57.06 กก./ซม.$^2$และ 8.01-55.62 กก./ซม.$^2$ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สุเมธ สันทัดวัฒนา (2554)** ได้ทำการศึกษาคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC โดยใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศก่อนจึงนำไปผสมกับซีเมนต์และน้ำ ทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง การวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 600 ถึง 1,800 กก./บล.ม. ทดลองโดยใช้อัตรส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4,0.5,0.6และ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 โดยจะศึกษาถึงคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด อัตราการดูดซึมน้ำ อัตราการหดตัว และค่าการนำความร้อน ซึ่งได้ค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 5 ถึง 300 กก./ตร.ซม.อัตราการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 14% ถึง 33% อัตราการหดตัวอยู่ในช่วง 550μ-1,100μ และค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.23 ถึง 0.61 วัตต์/เมตรองศาเคลวิล

**ศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ (2553)** ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตโดยระบบ CLC การลดการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาสามารถใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่เป็นสารประกอบไดออล ซึ่งมีคุณสมบัติในการกำจัดน้ำออกจากระบบ โดยเลือกไตรเอทธิลีนไกคอล (Triethylene glycol) และ โพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) เปรียบเทียบกับสารลดการหดตัวสำเร็จรูป ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทั้งไตรเอทธิลีนไกคอลและโพรพิลีนไกลคอล ในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์สามารถลดการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาได้เหลือร้อยละ 48-80 ของการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาปกติ

**ศักดิ์สิทธิ์ พันทวี (2551)** ได้ทำการศึกษาการใช้ปอซโซลานธรรมชาติ (Natural pozzolan) ในงานคอนกรีต ซึ่งปอซโซลานธรรมชาติที่ใช้เป็นเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาแล้ว(Expanded perlite) โดยมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยซิลิก้าและอลูมิน่าเป็นหลัก มีอนุภาคขนาดเล็ก มีรูพรุนสูง และมีน้ำหนักเบา โดยการศึกษาจะนำเพอร์ไลต์แทนที่ทราย แทนที่ซีเมนต์ และผสมเพิ่มในอัตราส่วนร้อยละ 0,5,10,15,20 และ 25 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ควบคุมการไหลแผ่ที่ร้อยละ 105-115 และเปรียบเทียบกำลังอัดและหน่วยน้ำหนักกับมอร์ต้าร์ควบคุม จากการวิจัยพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของเพอร์ไลต์เท่ากับ 0.92 เมื่อใช้เพอร์ไลต์แทนที่ในส่วนผสมจะทำให้ความต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจึงทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลง เมื่อใช้เพอร์ไลต์แทนที่ทรายที่ร้อยละ 25 ได้ค่าหน่วยน้ำหนัก 1,615 กก./ลบ.ม. มีค่ากำลังอัด 100 และ 214 กก./ลบ.ม. และเมื่อใช้เพอร์ไลต์แทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 25 ได้ค่าหน่วยน้ำหนัก 1,969 กก./ลบ.ม. มีค่ากำลังอัด 179 และ 250 กก./ลบ.ม. ที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน ตามลำดับ และในการใช้เพอร์ไลต์ผสมเพิ่มในอัตราส่วนร้อยละ 5 และ 10 มีค่ากำลังอัด และค่าดัชนีกำลังที่สูงกว่ามอร์ต้าร์ควบคุมโดยมีค่ากำลังอัด 405 และ 423 กก./ลบ.ม. ที่อายุการบ่ม 60 วัน และค่ากำลังอัด 438 และ 473 กก./ซม$^2$ที่อายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบ่ม 90 วัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เพอร์ไลต์ในงานคอนกรีต สามารถใช้ได้ทั้งเป็นสารปอซโซลาน และทำเป็นคอนกรีตมวลเบา

**ปิยะ ประสพแสง (2550)** ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างซีเมนต์เพสท์ที่มีสารผสมเพิ่ม (Admixture) เป็นส่วนผสมและไม่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสม โดยซีเมนต์เพสท์และคอนกรีตใช้การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing method: DM) และศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้สารผสมเพิ่มร่วมกับซีเมนต์เพสท์และคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double mixing method: DM) ซึ่งการทดลองจะทำการทดสอบอัตราการเยิ้มน้ำความสามารถในการไหล ความสามารถในการเท การหดตัว ความสามารถในการรับกำลังอัด จากการศึกษาพบว่าการผสมซีเมนต์เพสท์ที่มีสารผสมเพิ่มเป็นส่วนผสมโดยทำการผสมด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ปริมาณ, สัดส่วนและชนิดของสารผสมเพิ่มนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางด้านต่างๆของซีเมนต์เพสท์และคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนให้ดีขึ้นด้วย เช่น สามารถลดการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสท์และคอนกรีตให้น้อยลง และยังสามารถเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสท์ได้ดีขึ้นด้วย โดยในการผสมแบบ SM ใช้ช่วงเวลา x = 3.5 นาที ส่วนการผสมแบบ DM ใช้ช่วงเวลา y= 1.5 นาที และ z = 2 นาที

**กฤษฎากร อร่ามเมือง (2552)** ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของวัสดุปอซโซลาน ได้แก่ เถ้าลอยที่ใส่แทนที่ปูนซีเมนต์ ในหลายอัตราส่วนทางด้านคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนไป เมื่อทำการผสมด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double Mixing Method:DM) เมื่อเมื่อเปรียบเทียบกันกับการผสมด้วยวิธีธรรมดา (Simple Mixing Method: SM) และทำการศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ในการใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ ซึ่งการทดลองจะทำการทดสอบในเรื่องอัตราการเยิ้มน้ำ ความสามารถในการไหล ความสามารถในการเท ความหนาแน่น การหดตัว และความสามารถในการรับกำลังอัด พบว่าการผสมแบบ DM สามารถควบคุมการเยิ้มน้ำให้มีค่าต่ำกว่าการผสมแบบ SM โดยที่อัตร W/C 0.6 มีการเยิ้มน้ำสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราอื่นๆ การผสมแบบ DM สามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้มากกว่าการผสมแบบ SM รวมถึงสามารถลดการหดตัวลงได้เมื่อเทียบกับการผสมแบบ SM และยังส่งผลให้เกิดการพัฒนากำลังอัดที่สูงกว่าการผสมแบบปกติ

**ฤทธิพงษ์ เลิศลักษณะโสภณ และ อรรถกฤษณ์ ทองคง (2551)** ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอย ( Fly Ash) เป็นสารผสมเพิ่ม และไม่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม โดยมีซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตใช้การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน (Single mixing method:SM) และแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (Double

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mixing method:DM) เพื่อศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะใช้เถ้าลอยร่วมกับซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต ซึ่งได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน และแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ในการทดลองจะทำการทดสอบอัตราการเยิ้มน้ำ, ความสามารถในการไหล, ความสามารถในการเท, การหดตัว, ความสามารถในการรับกำลังอัด และระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น จากการศึกษาพบว่าการผสมซีเมนต์เพสต์ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม โดยทำการผสมด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วนและการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ปริมาณ, สัดส่วน, และชนิดของเถ้าลอยนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางด้านต่างๆของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่ได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วน และการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนได้ดีขึ้น

**มนตรี สุวรรณวร และคณะ (2553)** ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาที่จะนำมาใช้ในการหล่อเป็นโครงสร้างคานและฐานราก โดยความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ทำการหล่อคานและฐานรากจะอยู่ที่ 1,600-1,800 กก./ลบ.ม. ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับงานโครงสร้าง และเป็นการศึกษาการออกแบบแบบหล่อคานและฐานรากสำเร็จรูป ที่สามารถนำมาใช้ประกอบโครงสร้างได้และมีน้ำหนักที่เหมาะสม และสะดวกในการประกอบโครงสร้าง

**ชาติชาย พรหมวงศ์และคณะ (2549)** ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของโฟมที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของคอนกรีตมวลเบา โดยใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศก่อนแล้วจึงนำไปผสมกับซีเมนต์และน้ำ มีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาเพื่อนำไปใช้ในงานโครงสร้าง ซึ่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,400-1,800 กก./ลบ.ม. และกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน มากกว่า 180 กก./ตร.ซม. ทดลองโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3, 0.4 โดยทำการทดลองส่วนผสมโฟมที่ได้จากน้ำยาแต่ละตัวลงไปในคอนกรีตโดยการปรับปริมาณฟองอากาศที่ใช้เพื่อให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงไปอยู่ในช่วงที่ต้องการ แล้วทำการทดสอบว่าคอนกรีตผสมกับฟองอากาศตัวใดแล้ว ให้คุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด ใช้ซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าโดยใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด อัตราการซึมผ่าน การหดตัว และการบ่มด้วยน้ำ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้างได้ โดยการปรับลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณฟองอากาศและปริมาณทรายให้เหมาะสม ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 เริ่มการทดลองโดยการผสมซีเมนต์เพสต์กับฟองอากาศ โดยการปรับปริมาณฟองอากาศที่ใช้ผสมกับซีเมนต์เพสต์เพื่อให้ได้ความหนาแน่นอยู่ระหว่างช่วงที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# การดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาความแตกต่างของคุณสมบัติของคอนกรีตมวบเบาในระบบ CLC ที่ใช้กระบวนการผสมแบบปกติ (SM) กับกระบวนการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ในการทดลอง เท่ากับ 0.4, 0.4+Sp, 0.5, 0.5+Sp, 0.6 และ 0.6+Sp ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ได้จากกระบวนการผสมคอนกรีตมวลเบาทั้งสองระบบ และศึกษาถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ดังกล่าวตามลำดับ ซึ่งการศึกษาทดลองนี้จะทำการศึกษาคุณสมัติของคอนกรีตมวลเบา ใน 4 หัวข้อดังนี้

1) ศึกษาความแตกต่างของคุณสมบัติด้านความหนาแน่น (Density)
2) ศึกษาความแตกต่างของคุณสมบัติด้านความสามารถในการไหล (Workability)
3) ศึกษาความแตกต่างของคุณสมบัติด้านการหดตัว (Autogenous Shrinkage)
4) ศึกษาความแตกต่างของคุณสมบัติด้านกำลังอัด (Compressive Strength)

## 3.1 การออกแบบการทดลอง

### 3.1.1 อัตราส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ในการทดลอง

อัตราส่วนที่ใช้ในการการศึกษาทดลองเพื่อหาความแตกต่างคุณบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC ที่ใช้กระบวนการผสมแบบปกติ (SM) และที่ใช้กระบวนการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) ได้แสดงไว้ตามตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.1** แสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ที่ใช้ในการทดลอง

| วัสดุผสม | อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.4 | 0.4+Sp | 0.5 | 0.5+Sp | 0.6 | 0.6+Sp |
| ปูนซีเมนต์ (กก.) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ทราย (กก.) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| น้ำ (กก.) | 40 | 39.5+0.5 | 50 | 49.5+0.5 | 60 | 59.5+0.5 |
| ฟองโฟม (กก.) | 90 | 90 | 80 | 80 | 70 | 70 |

**3.1.2 กระบวนการผสมคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC แบบ SM และแบบ DM โดยใช้ทฤษฎีของ Prof.Eiich TAZAWA และ Prof.Tetsurou KASAI ตามรูปที่ 2.1**

## 3.2 การเตรียมตัวอย่าง

### 3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่ให้กำลังแก่คอนกรีต ที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามความเหมาะสมกับงานที่นำไปใช้ นอกจากนี้แล้วยังมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อื่นที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับงานที่หลากหลาย โดยเฉพาะด้านความแข็งแรง ความทนทาน ความสวยงาม และการใช้งานเฉพาะด้าน คุณสมบัติของปูนวีเมนต์จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่เป็นวัตถุดิบและกรรมวิธีการผลิต สารประกอบเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันในขั้นตอนการเผาเพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ การปรับส่วนประกอบของวัตถุดิบจะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป

ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณภาพตาม มอก.15 หรือ ASTM C 150 ที่ผลิตจากบริษัทที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถมั่นใจได้ในเรื่องความสม่ำเสมอของคุณภาพปูนซีเมนต์และมีการบรรจุปูนซีเมนต์ในถุงที่มีชั้นพลาสติกปิดมิดชิด เพื่อช่วยป้องกันความชื้นช่วยให้ปูนซีเมนต์ใหม่สดเก็บไว้ได้นาน อาทิ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราช้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.1** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

### 3.2.2 น้ำผสมคอนกรีต

น้ำเป็นส่วนสำคัญในการทำคอนกรีต นอกจากนี้ยังมีบทบาทที่สำคัญต่องานคอนกรีตด้านอื่น เช่น ใช้น้ำในการบ่มคอนกรีต เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดได้สมบูรณ์ขึ้นและในกรณีที่มวลรวมมีความสกปรกจะใช้น้ำล้างมวลรวมให้มีความสะอาดพอสำหรับนำไปใช้ทำคอนกรีต ปัญหาเรื่องของน้ำมักจะไม่เกิดขึ้นบ่อยนักเนื่องจากน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่มีคุณภาพอยู่ในชั้นดี เช่น น้ำประปา เป็นต้น กฎทั่วไปสำหรับน้ำในงานคอนกรีต คือ ควรมีน้ำจืดที่สะอาดหรือน้ำจืดที่ดื่มได้ อย่างไรก็ตามหากไม่แน่ใจว่าน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตมีคุณภาพดีหรือไม่ ก็ต้องมีการทดสอบก่อน

น้ำผสมคอนกรีตมีผลต่อคุณภาพของคอนกรีตตามความใส น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยเจือปนอยู่จะทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารแขวนลอยนั้น ดังนั้นควรใช้น้ำในการผสมคอนกรีตที่สะอาด มีสารแขวนลอยไม่เกิน 2,000 ppm (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน หรือสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่จะทำอันตรายต่อคอนกรีต น้ำประปาหรือน้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติที่ไม่มีน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมเจือปน ถือว่ามีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับนำมาใช้ในการผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 มวลรวมละเอียด

โดยทั่วไปคอนกรีตจะประกอบด้วยมวลรวมประมาณร้อยละ 75 ของปริมาณคอนกรีตทั้งหมด ดังนั้นคุณสมบัติของมวลรวมจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีตโดยทั่วไปได้แก่ ทราย กรวด และหินย่อย ทรายและกรวดส่วนมากได้มาจากแม่น้ำ ส่วนหินย่อยได้มาจากการย่อยหินขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงจนเหมาะสำหรับใช้ผสมคอนกรีต นอกจากมวลรวมที่ได้จากหินธรรมชาติแล้ว ยังมีมวลรวมอื่นที่ใช้ผสมทำคอนกรีตได้แก่ มวลรวมจากผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ตะกรันเตาถลุงเหล็ก อิฐย่อย และมวลรวมที่ทำขึ้นพิเศษ เช่น มวลรวมเบาที่ทำจากดินเหนียว แต่โดยทั่วไปนิยมใช้มวลรวมที่เกิดตามธรรมชาติผสมทำคอนกรีต

แหล่งมวลรวมละเอียดนิยมใช้ทรายแม่น้ำ เพราะค่อนข้างสะอาด มีลักษณะค่อนข้างกลมและผิวเรียบ ทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำน้อยกว่า ส่วนกรณีทรายบกที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมและผิวหยาบด้านมากกว่า จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดทรายกับซีเมนต์เพสต์สูงกว่า แต่โดยมากทรายบกจะมีความสกปรกมากกว่าทรายแม่น้ำ ทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำมากกว่า และมีกำลังต่ำกว่า ส่วนทรายควอร์ตซ์ (Quartz Sand) มีความแข็งระดับ 7 (เพชรคือแร่ที่มีความแข็งแรงระดับในระดับ 10) เป็นทรายที่มีเหลี่ยมมุมและสะอาดกว่าทรายแม่น้ำและทรายบก เพราะเกิดจากการบดย่อยของหินควอร์ตไซต์ให้ละเอียดจึงมีเหลี่ยมมุมจำนวนมากที่ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์กับทรายให้สูงขึ้น และช่วยปรับปรุงกำลังของคอนกรีตได้ แต่มีราคาสูงมาก และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นการใช้ทรายแม่น้ำจึงมีความเหมาะสมมากกว่า ความละเอียดของมวลรวมละเอียดควรมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus หรือ F.M.) อยู่ในช่วง 2.7-3.2 หรือค่อนข้างหยาบ เพราะมวลรวมละเอียดที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลง ความต้องการน้ำของคอนกรีตจึงลดลง ส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังและความคงทนสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.2** ทรายสำหรับผสมคอนกรีตมวลเบา

### 3.2.4 น้ำยาโฟม

เป็นน้ำยาเคมีที่ทำให้เกิดฟองอากาศ โดยผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Foam Generator หรือเครื่องผลิตโฟมให้กลายเป็นโฟมก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตเพื่อทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นลดลง เทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตแบบ Cellular Lightweight Concrete (CLC): คอนกรีต CLC เกิดจากการ ผสมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) หรือสารเพิ่มฟอง (foaming agent) ลงในซีเมนต์เพสต์ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ฟองอากาศ เหล่านั้นจะกลายเป็นช่องว่างอากาศ (air void) ที่มีขนาดเล็กรวมตัวกันคล้ายเนื้อครีม เมื่อแข็งตัวจะกลายเป็นก้อนอิฐคอนกรีตที่มีรูพรุน และมีความแข็งแรงสารเพิ่มฟอง โฟม เป็นส่วนหนึ่งของการปรับคุณสมบัติของ ผลิตภัณฑ์คอนกรีต CLC ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบ เช่นการนำไปผลิตเป็น อิฐมวลเบา, กำแพงมวลเบา, ผนังมวลเบา, การเทหล่อกับที่ คอนกรีตมวลเบาแบบที่ใช้สารสร้างโฟมก่อน (ต่างจากสารกักกระจายฟองอากาศที่ใช้ ในกรณีคอนกรีตกักกระจายฟองอากาศเนื่องจากสารกักกระจายฟองอากาศจะให้ ฟองที่มีขนาดเล็กกว่าและฟองจะมีความเสถียรกว่า) โฟมที่ใช้ เป็นโฟมที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ฟองโฟมมั่นคง ให้ประสิทธิภาพดีเยี่ยมในการต้านทานความร้อน

โฟมโปรตีน (Protein Foams Concentrates)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟมโปรตีนจากพืช “มีลักษณะใส” มีส่วนผสมของสารลดความตึงผิวไม่มีกลิ่น เนื้อโฟมคุณภาพสูง โดยมีการเติมสารบางชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษต่างๆรวมทั้ง ความต้านทานการกัดกร่อน ความต้านทานการสลายตัวของแบ็คทีเรีย รวมไปถึง การควบคุมความหนืด เมื่อเก็บไว้นานจะไม่มีปัญหาเรื่องการบูดเน่า เหม็น เป็นที่นิยมใช้อย่างมาก

คุณภาพของโฟม

โดยตรวจสอบได้จากอัตราการขยายตัว และความหนาแน่นของโฟมควรมีค่าอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร โฟมที่มีความหนาแน่นมากกว่านี้มีแนวโน้มจะแยกชั้น เนื่องจากโฟมไม่สามารถอุ้มน้ำได้ โฟมจะแตกตัวเป็นฟองขนาดใหญ่ขึ้น และน้ำจะแยกตัวออกอยู่ด้านล่าง ลักษณะโฟมที่ดีต้องไม่แยกตัวเมื่อตั้งทิ้งไว้ 15 นาที โฟมจะถูกนำไปผสมให้ เข้ากับซีเมนต์ในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งถ้าผสมนานเกินไปจะทำให้ฟองอากาศแตก ปริมาณฟองอากาศในส่วนผสมก็จะลดลงได้โดยปริมาณฟองอากาศที่ใส่หรือการออกแบบสัดส่วนผสมขึ้นอยู่กับกำลังอัดที่ต้องการ หน่วยน้ำหนักที่ต้องการ และคำแนะนำจากผู้ผลิตน้ำยา

**รูปที่ 3.3** น้ำยาโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer)

สารลดน้ำพิเศษหรือเรียกอีกอย่างว่า “ซูเปอร์พลาสติไซเซอร์” สามารถลดน้ำในปริมาณที่มากกว่าสารลดน้ำธรรมดา แต่เนื่องจากมีราคาแพงจึงใช้เฉพาะงานคอนกรีตที่สำคัญและต้องการคุณสมบัติพิเศษ

วัสดุที่ใช้เป็นซูเปอร์พลาสติไซเซอร์สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆคือ

1) ซัลโฟเนเตดเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์คอนเดนเซต (Sulfonated Melamine Formaldehyde Condensated)

2) ซัลโฟเนเตดแนพธาลีนฟอร์มัลดีไฮด์คอนเดนเซต (Sulfonated Naphthalene Formaldehyde Condensated)

3) โมดิฟายด์ลิกโนซัลโฟเนต (Modified Lignosulfonates)

4) สารลดน้ำพิเศษอื่น เช่น กรดวัลโฟนิคเอสเตอร์และคาร์โบไฮเดรตเอสเตอร์ (Sulfonic Acid Esters and Carbohydrate Esters) เป็นต้น

สารลดน้ำพิเศษ 2 กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ใช้กันค่อนข้างมากซึ่งเรียกว่าซูเปอร์พลาสติไซเซอร์กลุ่มเมลามีน และกลุ่ม แนพทาลีน สารลดน้ำพิเศษ เป็นโพลิเมอร์ของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ซึ่งได้จากการสังเคราะห์ตามกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชันทำให้ได้โมเลกุลที่ยาวและมีมวลสูง เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์และแนพทาลีนฟอร์มัลดีไฮด์มีโมเลกุลของสารลิกโนซัลโฟเนตเป็นองค์ประกอบ กลไกของสารลดน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตได้จำนวนมากมีความคล้ายกับกรณีของการใช้สารลดน้ำธรรมดา แต่ไม่มีผลกระทบต่อความตึงผิวของน้ำมากนัก ดังนั้นจึงเกิดฟองอากาศในส่วนผสมค่อนข้างน้อยทำให้สามารถใช้สารลดน้ำพิเศษ ในปริมาณที่สูงได้ มาตรฐาน ASTM C494 จัดสารลดน้ำพิเศษ อยู่ในกลุ่ม F การใช้งานของสารลดน้ำพิเศษ โดยทั่วไปนิยมใช้ 2 กรณี คือเพิ่มความสามารถในการเทหรือทำคอนกรีตไหล และทำคอนกรีตกำลังสูง

โดยทั่วไปสารลดน้ำพิเศษ ที่เป็นของเหลวจะมีน้ำผสมอยู่ประมาณร้อยละ 50-60 และมีวัสดุที่ใช้ในสารลดน้ำอยู่ร้อยละ 40-50 ดังนั้นในการคำนวณปริมาณน้ำจะต้องไม่ลืมคิดปริมาณน้ำที่อยู่ในสารลดน้ำพิเศษ ในการเพิ่มความสามารถในการเทของคอนกรีตควรใช้ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ 1 ถึง 3 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร และในการทำคอนกรีตกำลังสูงจะใช้สารลดน้ำพิเศษ มากขึ้นคือ 5 ถึง 20 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร สารลดน้ำพิเศษ สามารถใช้ทำคอนกรีตไหลได้ซึ่งมีค่าการยุบตัวอย่างน้อย 19 เซนติเมตรขึ้นไปและไม่เกิดการแยกตัว การเติมน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อให้มีค่าการยุบตัวสูงขึ้นมากเช่นนี้จะทำให้คอนกรีตเกิดการแยกตัวได้ง่าย สารลดน้ำพิเศษสามารถใช้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

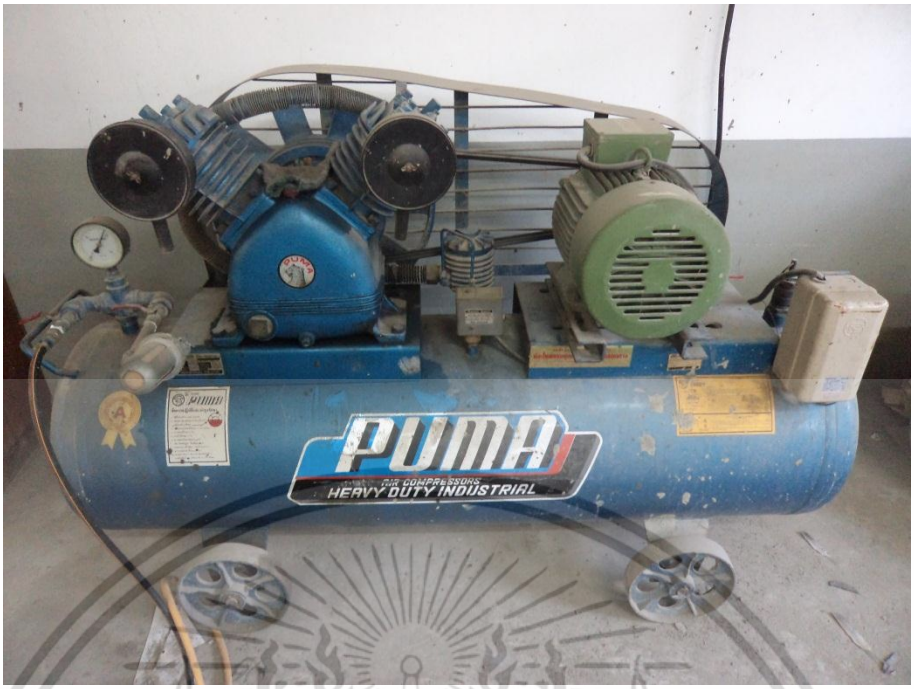
คอนกรีตไหลโดยทำให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นมากและสามารถไหลได้โดยไม่เกิดการแยกตัว [5]

### 3.2.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC

1) โม่ผสมคอนกรีต
2) ปั๊มลม
3) เครื่องกำเนิดโฟม
4) ปืนฉีดโฟม
5) แบบหล่อคอนกรีตมวลเบา

**รูปที่ 3.4** โม่ผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.5** ปั๊มลม

**รูปที่ 3.6** เครื่องกำเนิดโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

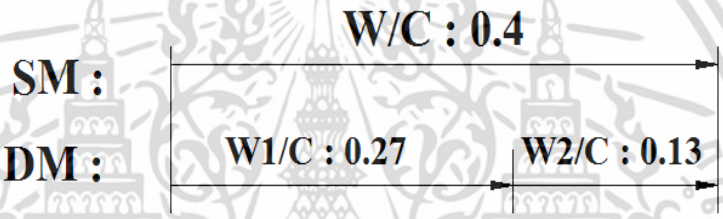
**รูปที่ 3.7** ปืนฉีดโฟม

**รูปที่ 3.8** แบบหล่อคอนกรีตมวลเบา

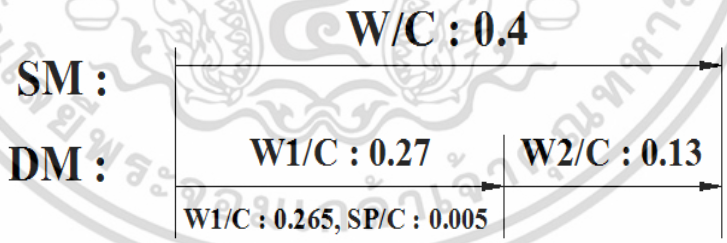
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 วิธีการผสม

ในการทดลองจะทำการแบ่งตัวอย่างการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม ในกลุ่มที่ 1 ทำการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ (SM) กลุ่มที่ 2 ทำการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ในแต่ละกลุ่มแยกตาม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.4+Sp, 0.5, 0.5+Sp, 0.6 และ 0.6+Sp ตามลำดับ ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง จะใช้สัดส่วนที่เหมือนกัน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อทราย = 1:1 แตกต่างกันที่กรรมวิธีในการผสมด้วยการผสมแบบปกติ (SM) เปรียบเทียบกับกรรมวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) โดยใช้สัดส่วนของน้ำในการผสมคอนกรีตมวลเบาดังแสดงในรูปที่ 3.9 -3.14

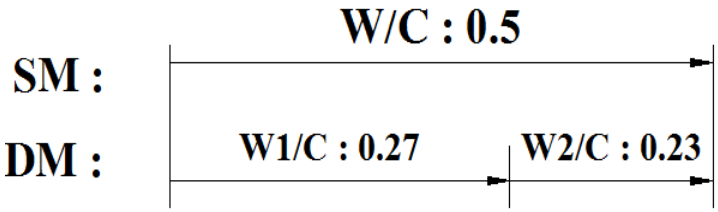



**รูปที่ 3.9** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.4

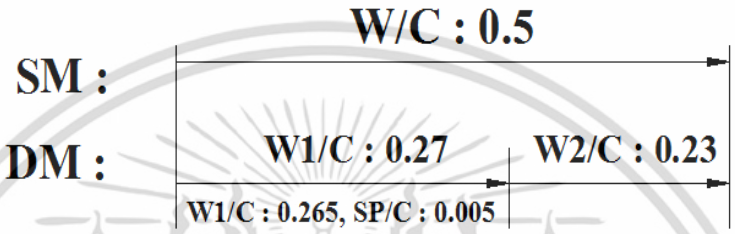



**รูปที่ 3.10** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.4+Sp

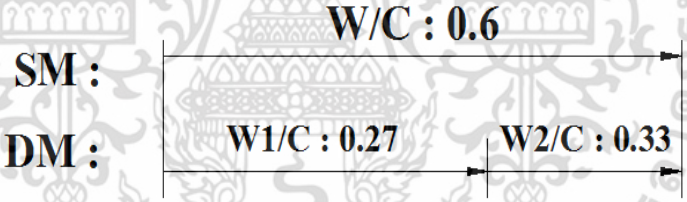
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



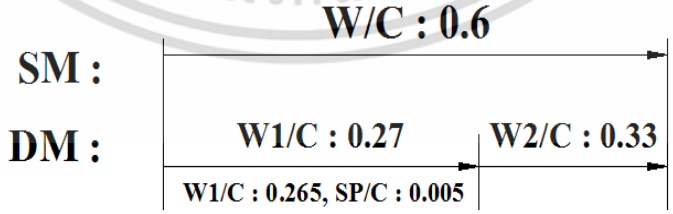

**รูปที่ 3.11** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.5




**รูปที่ 3.12** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.5+Sp




**รูปที่ 3.13** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.6




**รูปที่ 3.14** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.6+Sp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 วิธีการผสมคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC แบบปกติ (SM) เพื่อใช้ในการทดสอบ

1) นำวัสดุตัวอย่างที่จัดเตรียมไว้ชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่ออกแบบไว้

2) จัดเตรียมน้ำในการผสมตามสัดส่วนที่กำหนดโดยในครั้งแรกกำหนดค่า W/C เท่ากับ 0.4, 0.4+Sp, 0.5, 0.5+Sp, 0.6 และ 0.6+Sp ตามลำดับ

3) เตรียมผสมน้ำกับน้ำยาโฟม ในอัตราส่วน น้ำยาโฟมกับน้ำเปล่า เท่ากับ 1:30 และเตรียมต่อชุดเครื่องอัดอากาศเพื่อทำให้เกิดฟองโฟม

4) นำทรายละเอียดกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในสัดส่วนที่จัดเตรียมไว้เข้าเครื่องผสม แล้วเติมน้ำที่จัดเตรียมไว้ โดยการใส่ลงในโม่ผสมคอนกรีตในครั้งเดียว ให้เครื่องผสมหมุนเป็นเวลา 3.50 นาที [3]

5) จากนั้นใส่ฟองโฟมลงไปในเครื่องผสม ในปริมาตรฟองโฟมตามที่จัดเตรียมไว้ โดยการตวงปริมาตรฟองโฟมที่ได้ออกแบบไว้ในแต่ละอัตราส่วน

6) หลังจากฟองโฟมผสมเข้ากับมอร์ตาร์โดยสมบูรณ์แล้ว นำมอร์ตาร์ ใส่ในแบบหล่อ หรือนำไปทำการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆในลำดับต่อไป

**รูปที่ 3.15** แสดงการตวงปริมาณฟองโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3.2 วิธีการผสมคอนกรีตมวลในเบาระบบ CLC แบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วน (DM) เพื่อใช้ทดสอบ**

1) นำวัสดุตัวอย่างที่ที่จัดเตรียมไว้ชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่ออกแบบไว้

2) จัดเตรียมน้ำในการผสมตามสัดส่วนที่กำหนดโดยแบ่งน้ำเป็นสองส่วน ตามแสดงตามรูปที่ 3.10-3.15 โดยใช้ W/C เท่ากับ 0.4, 0.4+Sp, 0.5, 0.5+Sp, 0.6 และ 0.6+Sp ตามลำดับ

3) เตรียมผสมน้ำกับน้ำยาโฟม ในอัตราส่วน น้ำยาโฟมกับน้ำเปล่า เท่ากับ 1:30 และเตรียมต่อชุดเครื่องอัดอากาศเพื่อทำให้เกิดฟองโฟม

4) นำทรายละเอียดกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เข้าเครื่องผสม แล้วเติมน้ำส่วนแรกที่ ($W_1$/C)เท่ากับ 0.27 ลงไป จากนั้นให้เครื่องผสมเป็นเวลา 1.5 นาที [3]

5) เติมน้ำส่วนที่สอง($W_2$/C)ตามอัตราส่วนที่ออกแบบลงไป ผสมต่อไปอีก 2 นาที [3]

6) จากนั้นใส่ฟองโฟมลงไปในเครื่องผสม ในปริมาตรฟองโฟมตามที่จัดเตรียมไว้ โดยการตวงปริมาตรฟองโฟมที่ได้ออกแบบไว้ในแต่ละอัตราส่วน

7) หลังจากฟองโฟมผสมเข้ากับมอร์ตาร์โดยสมบูรณ์แล้ว นำมอร์ตาร์ ใส่ในแบบหล่อ หรือนำไปทำการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆในลำดับต่อไป

**รูปที่ 3.16** แสดงการใส่ฟองโฟมในคอนกรีตหลังจากตวงปริมาณแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้จะแบ่งตัวอย่างการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง ทำการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ (SM) และทำการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) โดยออกแบบให้คอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,300-1,800 กก./ลบ.ม. ซึ่งแยกตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.4+Sp, 0.5, 0.5+Sp, 0.6 และ 0.6+Sp ตามลำดับ โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติดังนี้

### 3.4.1 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

การทดสอบค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา (Density) ชั่งน้ำหนักของแก้วตวงเปล่าขนาดความจุ 1 ลิตรและบันทึกค่า จากนั้นตวงคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากการผสมตามขั้นตอนข้างต้นลงในแก้วตวงแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า จากนั้นนำค่าน้ำหนักของแก้วตวงเปล่าที่ชั่งไว้ครั้งแรกลบน้ำหนักที่ชั่งไว้ในครั้งที่สอง ก็จะได้น้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา นำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสมการ

$$D = \frac{m}{v} \qquad (1)$$

โดยที่ D=ความหนาแน่น

m=มวล (mass)

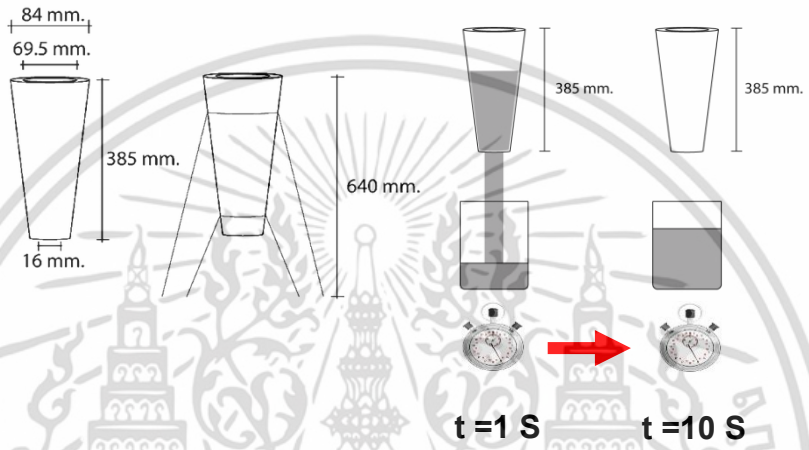
v=ปริมาตร (volume)

**รูปที่ 3.17** แสดงการทดสอบความหนาแนนของคอนกรีตมวลเบา (Density)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การทดลองความสามารถในการไหล (Workability)

ซึ่งการทดลองการไหลจากตัวอย่างมอร์ตาร์ของคอนกรีตมวลเบา จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 [6] โดยใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.18 นำตัวอย่างของซีเมนต์เพสท์ของคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากการผสมตามขั้นตอนข้างต้นเทลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็ม โดยปิดช่องเปิดส่วนล่างของอุปกรณ์ทดสอบให้สนิท ทำการจับเวลาทันทีหลังจากปล่อยให้ซีเมนต์เพสท์ของคอนกรีตมวลเบาไหลผ่านช่องเปิดส่วนล่างของอุปกรณ์ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.19



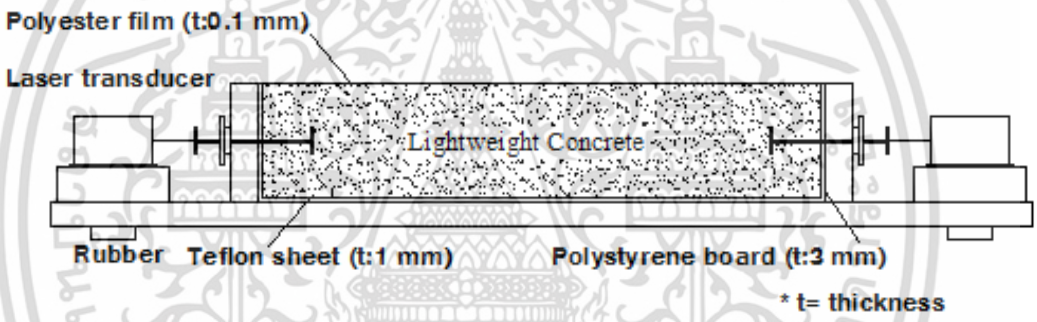

**รูปที่ 3.18** แสดงอุปกรณ์การทดลองหาความสามารถในการไหล (JSCE-F531-1993 )

**รูปที่ 3.19** แสดงขั้นตอนการทดลองหาความสามารถในการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

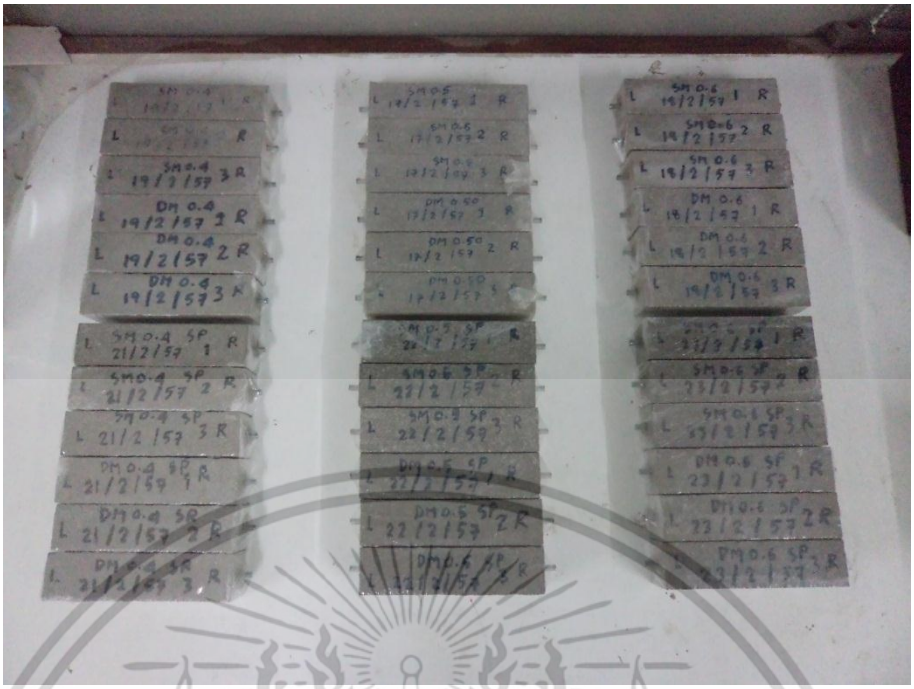
### 3.4.3 การทดลองการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา (Autogeneous Shrinkage)

ทำการเทตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมไว้ลงในแบบหล่อ หลังจากคอนกรีตมวลเบามีอายุ 24 ชั่วโมง ทำการถอดออกจากแบบแล้วนำพลาสติกห่อชิ้นตัวอย่างให้สนิทเพื่อบ่มตลอดระยะเวลาที่ทำการเก็บค่า จากนั้นทำการเก็บค่าการหดตัวภายนอกของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา โดยวัดค่าความยาวของแท่งคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ทดสอบทุกวัน จากอายุคอนกรีต 1 วัน จนถึงอายุคอนกรีตที่ 28 วัน ตามมาตรฐาน JIS A 1129 , “Test method for length change of mortar and concrete,” ตามแสดงในรูปที่ 3.22 [7]




**รูปที่ 3.20** แสดงแบบจำลองอุปกรณ์ในการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.21** แสดงแท่งตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสำหรับการทดสอบการหดตัว

**รูปที่ 3.22** แสดงการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 การทดลองความสามารถในการรับแรงอัด (Compressive Strength)

หลังจากผสมคอนกรีตมวลเบาตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ นำคอนกรีตมวลเบาเทลงในแบบหล่อจนเต็ม ปาดแต่งผิวหน้าจนเรียบ ปล่อยทิ้งไว้จนคอนกรีตมวลเบาแข็งตัวใน 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดแบบออกแล้วห่อหุ้มด้วยพลาสติกใสให้สนิท เพื่อเป็นการบ่มคอนกรีตมวลเบา รอจนคอนกรีตอายุครบกำหนดในการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบจะทำการอบตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่จะใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยใช้ความร้อน 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำแท่งตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาออกจากตู้อบ ปล่อยผึ่งไว้จนตัวอย่างคอนกรีตมวลเย็นลงในอุณหภูมิปกติ แล้วจึงนำไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 , “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar,” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01 [8] โดยจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 ซม. ทำการทดสอบที่อายุคอนกรีต 3, 7 และ 28 วัน ในการทดสอบจะทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยวิธีการผสมแบบปกติ (SM) และตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) ตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.4+Sp, 0.5, 0.5+Sp, 0.6 และ 0.6+Sp ตามลำดับ

**รูปที่ 3.23** แสดงก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสำหรับการทดสอบกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.24** แสดงการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

## 3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

1) ทำการรวมรวมข้อมูลจากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

2) วิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและศึกษาหาความสัมพันธ์

3) เปรียบเทียบความแตกต่างจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ระหว่างคอนกรีตมวลเบาที่ใช้กรรมวิธีการ ผสมแบบปกติ (SM) และกรรมวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM)

4) ประเมินและสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

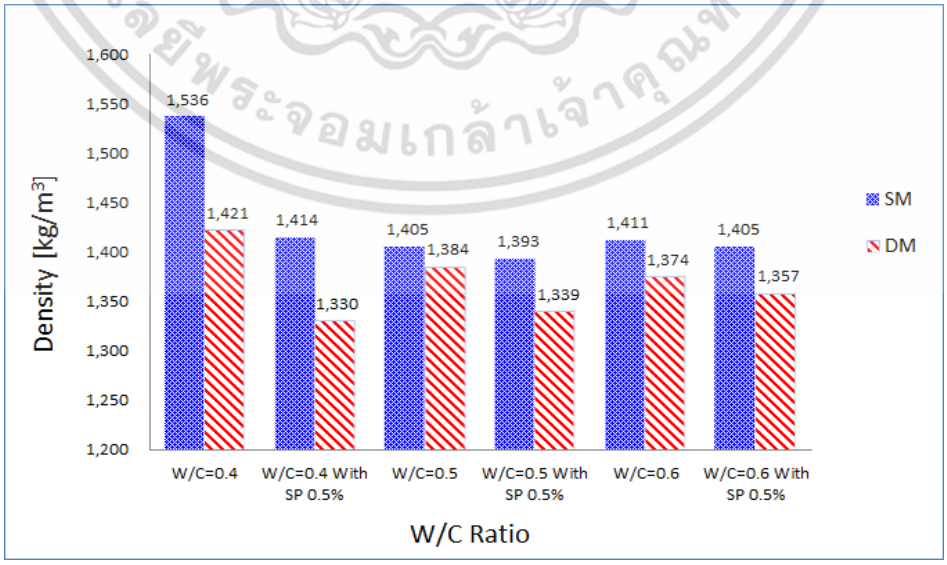
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

## 4.1 ผลการทดลองความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

จากการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา พบว่าค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) มีค่าลดลงในทุกอัตราส่วน (W/C) ที่ทำการทดลอง เมื่อเทียบกับการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ (SM ) เนื่องจากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) เนื้อของซีเมนต์มอร์ตาร์จะมีความเหลวมากกว่าการผสมแบบปกติ (SM ) ดังนั้นเมื่อฉีดฟองโฟมเข้าไปผสมกับมอร์ตาร์การผสมเข้ากันของฟองโฟมกับมอร์ตาร์จะสมบูรณ์กว่าการผสมแบบปกติ (SM ) ส่งผลให้ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) เบากว่าคอนกรีตที่ผสมแบบปกติ (SM ) จากการผสมด้วยวิธี DM และ SM ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วน W/C =0.4 และ W/C=0.4+Sp จะให้ค่าความแตกต่างมากที่สุด คิดเป็น 7.49% และ 5.94% ตามลำดับ ส่วนค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วน W/C= 0.5, 0.5+Sp, 0.6 และ 0.6+Sp ให้ค่าความแตกต่างของความหนาแน่นจากการผสมด้วยวิธี DM และ SM ไม่มากนัก ซึ่งคิดเป็น 1.49%, 3.88%, 2.62%และ 3.42% ตามลำดับ ดังกราฟที่แสดงตามรูปที่ 4.1

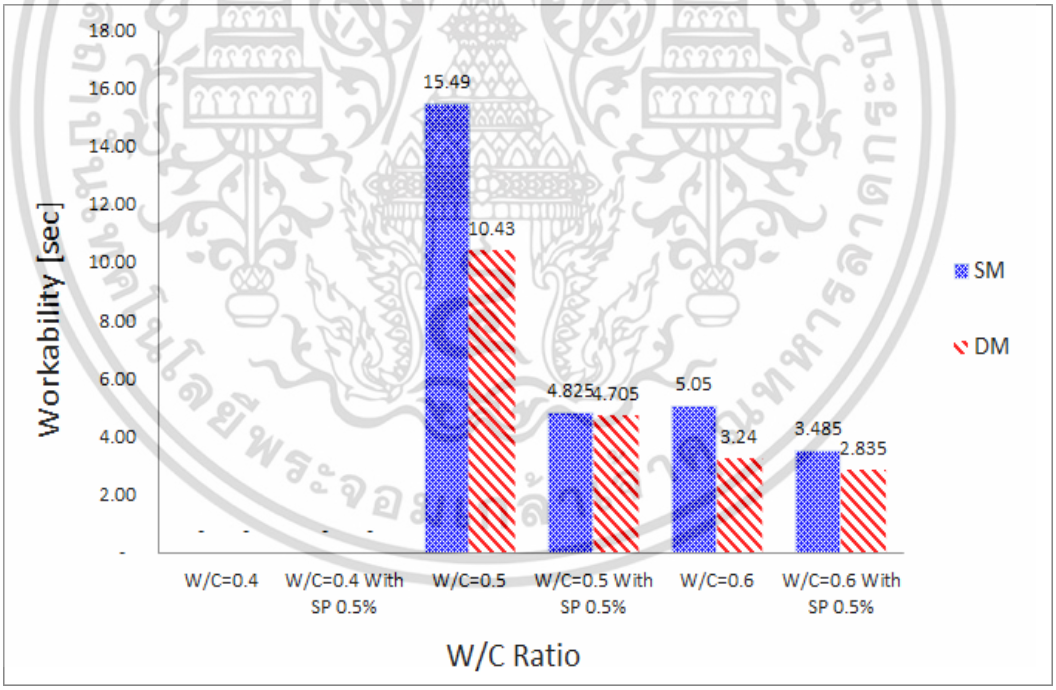



**รูปที่ 4.1** แสดงค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลองความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบา (Workability)

จากการทดสอบความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐานของ JSCE-F531-1993 พบว่าที่ W/C =0.4และ W/C=0.4+Sp ที่ผสมด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) และการผสมแบบปกติ (SM) คอนกรีตมวลเบายังมีค่าความหนืดมากจนไม่สามารถไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้ จากนั้นคอนกรีตเริ่มไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้ที่อัตราส่วน W/C =0.5 เป็นต้นไป โดยคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี DM สามารถไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี SM จากกราฟที่แสดงตามรูปที่ 4.2 W/C=0.6 ผสม Sp=0.5% ให้ค่าความสามารถในการไหลมากที่สุด ค่าความสามารถในการไหลจากการผสมด้วยวิธี DM สูงกว่าการผสมด้วยวิธี SM คิดเป็น 18.65 % เนื่องจากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนจะได้เนื้อของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีความเหลวกว่าการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติในทุกอัตราส่วน ทำให้ความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบปกติ

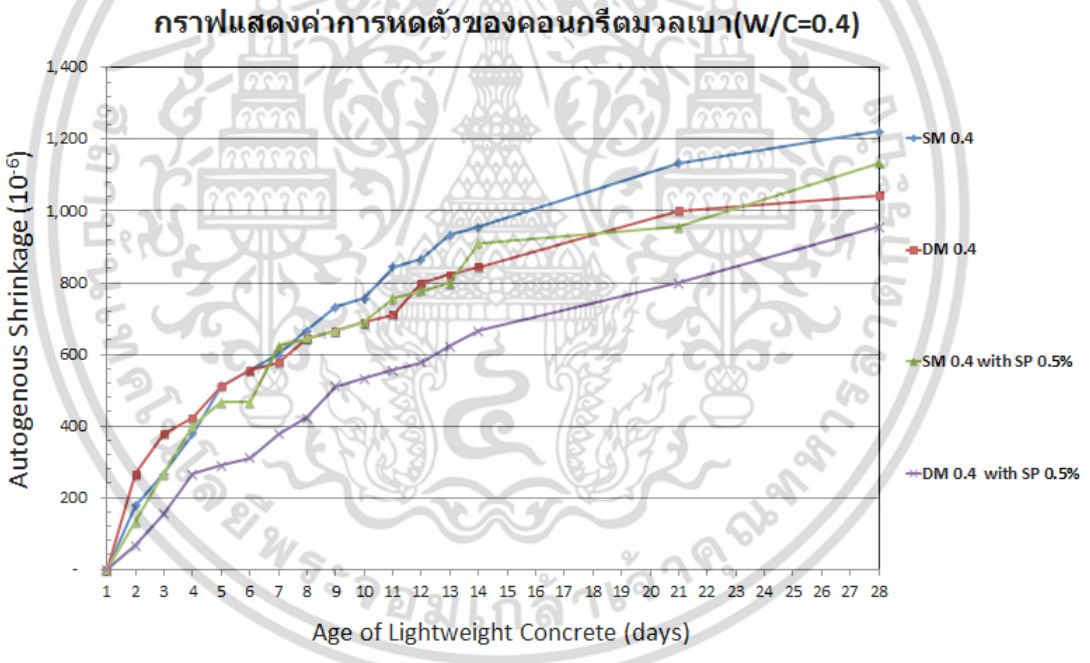



**รูปที่ 4.2** แสดงค่าความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

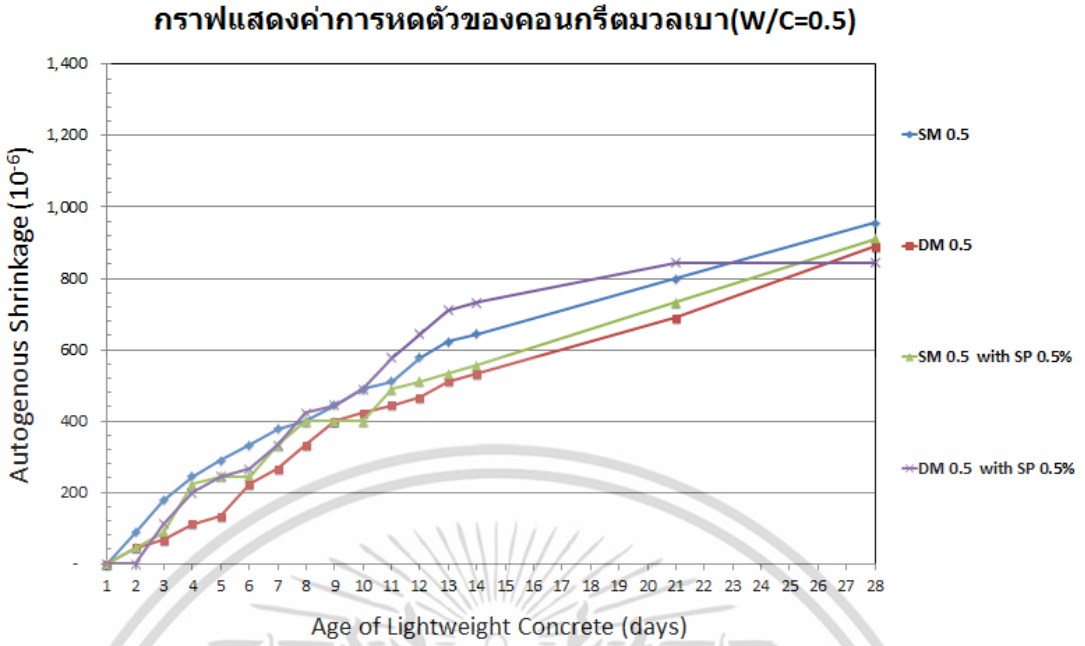
## 4.3 ผลการทดลองอัตราการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา (Autogenous Shrinkage)

จากการทดสอบอัตราการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาโดยการวัดค่าและบันทึกค่าในทุกๆวัน จาก 1-28 วัน ด้วยอุปกรณ์ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 1129 ดังแสดงตามรูปที่ 3.21 พบว่า ค่าการหดตัวเริ่มต้นของคอนกรีตมวลเบาจะสูงและจะมีค่าการหดตัวลดลงเมื่ออายุของคอนกรีตมวลเบามากขึ้น ดังแสดงตามรูปที่ 4.6 ตามทฤษฎี โดยปกติ ค่า W/C ที่ต่ำกว่า 0.42 ค่าการหดตัวของคอนกรีตจะสูงกว่าปกติเนื่องจากมีการนำน้ำที่อยู่ในโพรงคาปิลารีมาใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและเรียกการหดตัวชนิดนี้ว่า การหดตัวด้วยตัวเอง (Autogenous Shrinkage) [5] และเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) มีค่าการหดตัวลดลงกว่าการผสมแบบปกติ (SM) ในทุกอัตราส่วน W/C และพบว่าคอนกรีตมวลเบาที่ อัตราส่วน W/C=0.6 มีค่าการหดตัวน้อยสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.5

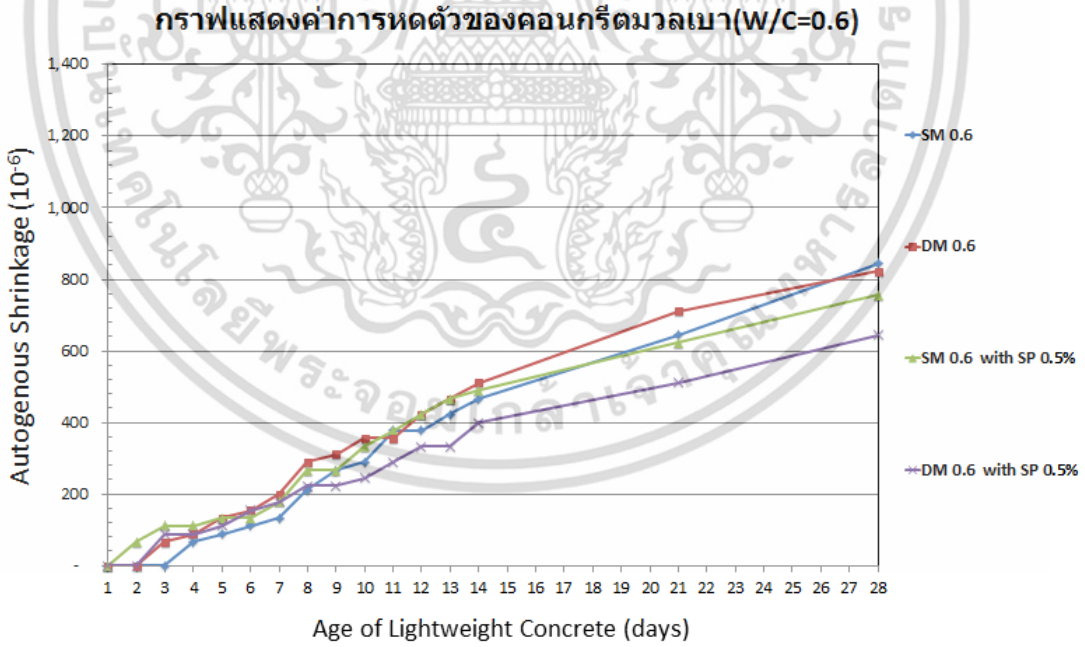



**รูปที่ 4.3** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

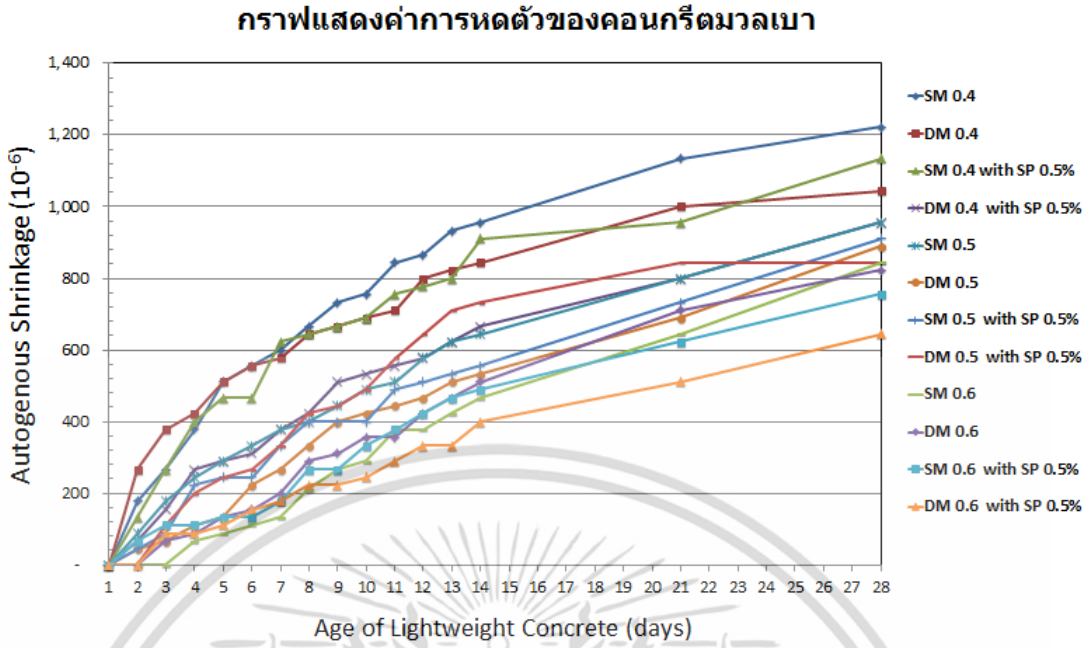



**รูปที่ 4.4** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.5




**รูปที่ 4.5** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



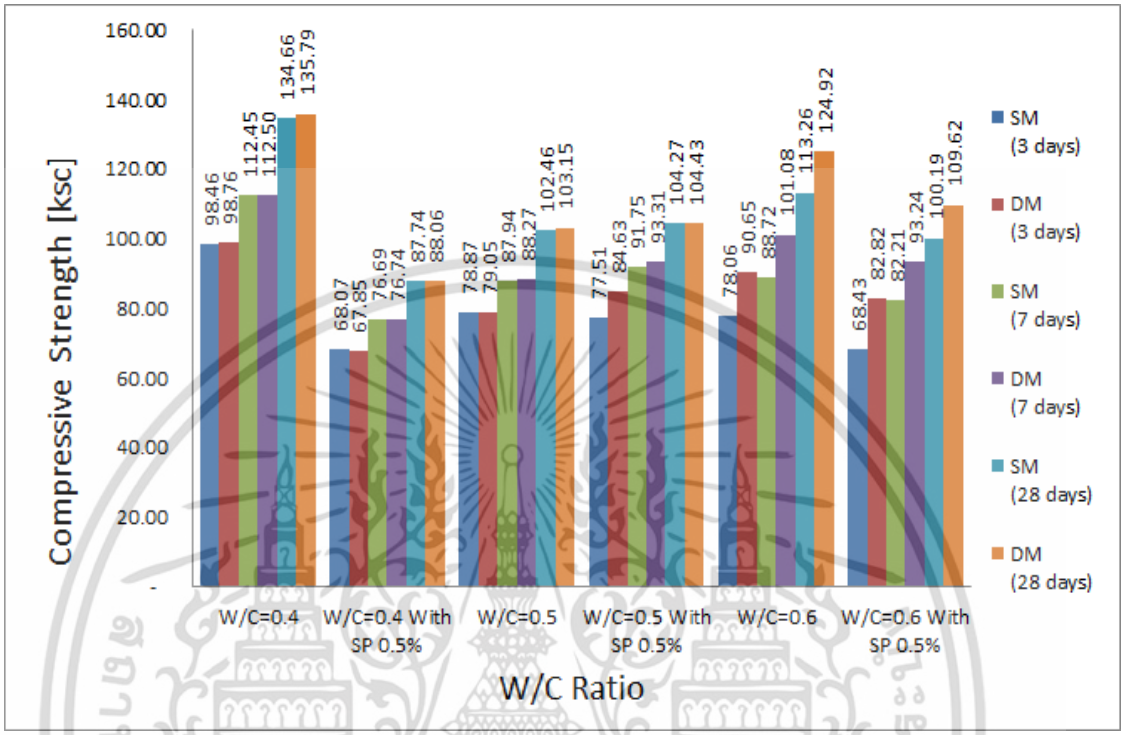

**รูปที่ 4.6** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.4, 0.5 และ 0.6

## 4.4 ผลการทดลองกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา (Compressive Strength)

ปัจจัยที่ส่งผลถึงความแตกต่างมาจากกระบวนการผสมที่ต่างกันระหว่างการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) กับการผสมคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบปกติ (SM) เนื่องจากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนนั้นเนื้อซีเมนต์มอร์ตาร์จะมีความเหลวมากขึ้น การผสมเข้ากันระหว่างวัสดุผสมกับน้ำดีขึ้น ส่งผลกับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนสมบูรณ์มากขึ้น ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดจะสูงกว่า คอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบปกติ ในอัตราส่วน W/C ที่เท่ากัน จากการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) กับการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ (SM)ที่ อายุ 3,7 และ 14 วัน พบว่าการผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธี DM มีแนวโน้มให้ค่ากำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าการผสมด้วยวิธี SM ในทุกอัตราส่วน W/C เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์กับค่า ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากการทดสอบข้างต้น ที่อัตราส่วน W/C=0.4, W/C=0.4+Sp, W/C=0.5 และ W/C=0.5+Sp ที่ 28 วัน ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี (DM)จะสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบปกติ (SM) ไม่มากนัก คิดเป็น 0.84%, 0.36%, 0.67% และ 0.15% ตามลำดับ สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วน W/C=0.6 และ W/C=0.6+Spที่ 28 วัน ค่ากำลังอัดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี DM จะสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี SM อย่างชัดเจน คิดเป็น 10.29% และ 9.41% ตามลำดับ ดังกราฟที่แสดงตามรูปที่ 4.7




**รูปที่ 4.7** แสดงค่ากำลังอัด ของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.4, 0.5, และ 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) จากการผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) นั้นทำให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าการผสมด้วยวิธีการผสมแบบปกติ (SM) ในทุกอัตราส่วน (W/C) ซึ่งจะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนจากตัวอย่างการผสมคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วน W/C=0.4 และ W/C=0.4+Sp เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดลอง จากการผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีการผสมแบบปกติ (SM) หลังจากใส่น้ำลงไปผสมจะได้เนื้อของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ยังมีความหยาบและเหนียวมาก เมื่อฉีดฟองโฟมเข้าไปการผสมเข้ากันระหว่างเนื้อของซีเมนต์มอร์ตาร์กับฟองโฟมได้ไม่ดีนัก เนื่องจากเนื้อซีเมนต์มอร์ตาร์มีความหยาบมาก อาจทำให้ฟองโฟมแตกตัวทำให้ปริมาณฟองโฟมที่เข้าไปผสมในเนื้อซีเมนต์มอร์ตาร์ได้อย่างสมบูรณ์ลดลงจากปริมาณเดิมที่ฉีดเข้าไป แตกต่างจากการผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) หลังจากเติมน้ำในส่วนที่สองเข้าไปเนื้อของซีเมนต์มอร์ตาร์จะมีความเหลวมากกว่าการผสมด้วยวิธีการผสมแบบปกติอย่างเห็นได้ชัด เมื่อฉีดฟองโฟมเข้าไปการผสมเข้ากันระหว่างเนื้อซีเมนต์มอร์ตาร์กับฟองโฟมจะเข้ากันได้ดีกว่า การแตกตัวของฟองโฟมจะน้อยกว่าทำให้มีปริมาณฟองโฟมในเนื้อซีเมนต์มอร์ตาร์มากกว่า ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธีการแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) มีหน่วยน้ำหนักที่น้อยกว่าการผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีการผสมแบบปกติ (SM)

2) การผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีการสผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) ในอัตราส่วน W/C=0.6 ผสม Sp=0.5% มีความสามารถในการไหลดีที่สุด คิดเป็น 18.65 % เมื่อเทียบกับการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ (SM) ในอัตราส่วนเดียวกัน เป็นผลมาจากกระบวนการผสมที่แตกต่างกันระหว่างการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ (SM) และการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) ดังที่กล่าวมาตามข้อ 1 การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนจะได้เนื้อของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีความเหลวกว่าการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบปกติในทุกอัตราส่วน ทำให้ความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) จากการผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีการผสมแบบปกติ (SM) เมื่อเทียบกับการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) พบว่าเมื่อค่า W/C สูงขึ้น ค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาจะลดลง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี โดยปกติ ค่า W/C ที่ต่ำกว่า 0.42 ค่าการหดตัวของคอนกรีต จะสูงกว่าปกติเนื่องจากมีการนำน้ำที่อยู่ในโพรงคาปิลารีมาใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และเรียกการหดตัวชนิดนี้ว่า การหดตัวด้วยตัวเอง (Autogenous Shrinkage) [5] อีกทั้งการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) ค่าการหดตัวจะน้อยกว่าการผสมการผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีการผสมแบบปกติ (SM)

4) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) จะสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบปกติ (SM) ในทุกอัตราส่วนโดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในอัตราส่วน W/C=0.6 ในการผสมสารลดน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) ไม่ได้ให้ค่าความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบามากนัก ปัจจัยที่ส่งผลถึงความแตกต่างมาจากกระบวนการผสมที่ต่างกันระหว่างการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) กับการผสมคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบปกติ (SM) เนื่องจากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนนั้นเนื้อซีเมนต์มอร์ตาร์จะมีความเหลวมากขึ้น การผสมเข้ากันระหว่างวัสดุผสมกับน้ำดีขึ้น ส่งผลกับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนสมบูรณ์มากขึ้น ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดจะสูงกว่า คอนกรีตมวลเบาที่ผสมแบบปกติ ในอัตราส่วน W/C ที่เท่ากัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ยังมีขอบเขตที่จะศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) ได้เพิ่มมากขึ้นดังนี้

1) ในการผสมสาร Superplasticizer สามารถศึกษาอัตราส่วนที่แตกต่างออกไป เช่น 1%-1.5% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

2) ในการทดสอบความสามารถในการไหล ยังสามารถทดสอบด้วยวิธีหาค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต (Flow Test of Concrete) เพื่อให้สามารถดูความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้อัตราส่วน W/C= 0.4 ได้

3) ในการกำหนดฟองโฟมในแต่ละอัตราส่วน หากสามารถที่จะพัฒนาเครื่องมือในการตวงฟองโฟมที่แม่นยำได้ จะได้คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในการทดสอบ มีความถูกต้องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สามารถศึกษาคุณสมบัติในด้านอื่นๆ เช่น คุณสมบัติการการป้องกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธีการแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

5) ในการผสมแบบ SM และการผสมแบบ DM สามารถทำกับซีเมนต์เพสต์ก่อนที่จะผสมทรายลงไป แล้วใส่ฟองโฟมในลำดับต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


[1] ประณต กุลประสูตร. 2552.เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. 2000 เล่ม พิมพ์ครั้งที่ 9 .สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] Maleesee ,K. 2004. “Influence of Curing Conditions On Properties of Cementitious Materials.” Doctor Thesis,Tokai University.Japan.

[3] ปิยะ ประสบแสง. 2550. “การศึกษาอิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[4] Ei-ichi TAZAWA and Tetsorou KASAI. “Double Mixing of Fresh Cementplase.” JSCE, No.396/V-9 1988-8

[5] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2549. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต. พิมพ์ครั้งพิเศษ.กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.

[6] JSCE-F531-1993. “Test Method for Fluidity Test by Using J-14 Funnel.”

[7] JIS A 1129. “Test Method for Length Change of Mortar and Concrete”

[8] ASTM C109. “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar.” Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก.

## การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) ของฟองโฟมคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก.

## การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) ของฟองโฟมคอนกรีตมวลเบา

การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) ของฟองโฟมที่ใส่ในคอนกรีตมวลเบา โดยการชั่งน้ำหนักของแก้วตวงเปล่าขนาดความจุ 1 ลิตรและบันทึกค่า จากนั้นฉีดฟองโฟมใส่แก้วตวงเดิมแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า จากนั้นนำค่าน้ำหนักของแก้วตวงเปล่าที่ชั่งไว้ครั้งแรกลบน้ำหนักที่ชั่งไว้ในครั้งที่สอง ก็จะได้น้ำหนักขฟองโฟมที่ใช้ผสมในคอนกรีตมวลเบา จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสมการ

$$D = \frac{m}{v} \qquad (1)$$

โดยที่ D=ความหนาแน่น

m=มวล (mass)

v=ปริมาตร (volume)

**รูปที่ ก-1** แสดงการทดสอบความหนาแนนของฟองโฟม (Density)

ในการทดลอง 4 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของหน่วยน้ำหนักของฟองโฟม ซึ่งในการทดลองนี้ได้ค่าเฉลี่ย = 50.25 $kg/m^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-1** ค่าความหนาแน่นของฟองโฟมที่ใช้ในการทดสอบ

| ค่าความหนาแน่นของฟองโฟม ($kg/m^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ค่าเฉลี่ย |
| 50 | 65 | 44 | 42 | 50.52 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข.

## ขอมูลที่ได้จากการเก็บค่าจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข.

## ขอมูลที่ได้จากการเก็บค่าจากการทดลอง

**ตารางที่ ข-1** แสดงค่าจากการเก็บข้อมูลในการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา

| ชนิดของการผสม | ปริมาตรแก้วตวง ($m^3$) | นน.แก้วตวง (kg.) | นน.แก้ว+ คอนกรีต (kg.) | หน่วยน้ำหนักที่ได้ ($kg/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| W/C=0.4 | | | | |
| SM. | 0.001 | 0.229 | 1.765 | 1536 |
| DM. | 0.001 | 0.229 | 1.65 | 1421 |
| W/C=0.4 ผสมสาร SP | | | | |
| SM. | 0.001 | 0.229 | 1.643 | 1414 |
| DM. | 0.001 | 0.229 | 1.559 | 1330 |
| W/C=0.5 | | | | |
| SM. | 0.001 | 0.229 | 1.634 | 1405 |
| DM. | 0.001 | 0.229 | 1.613 | 1384 |
| W/C=0.5 ผสมสาร SP | | | | |
| SM. | 0.001 | 0.229 | 1.622 | 1393 |
| DM. | 0.001 | 0.229 | 1.568 | 1339 |
| W/C=0.6 | | | | |
| SM. | 0.001 | 0.229 | 1.640 | 1411 |
| DM. | 0.001 | 0.229 | 1.603 | 1374 |
| W/C=0.6 ผสมสาร SP | | | | |
| SM. | 0.001 | 0.229 | 1.634 | 1405 |
| DM. | 0.001 | 0.229 | 1.586 | 1357 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-2** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C = 0.4 ($10^{-6}$)

| วัน | SM 0.4 | DM 0.4 | SM 0.4 with SP 0.5% | DM 0.4 with SP 0.5% |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 178 | 267 | 133 | 67 |
| 3 | 267 | 378 | 267 | 156 |
| 4 | 378 | 422 | 400 | 267 |
| 5 | 511 | 511 | 467 | 289 |
| 6 | 556 | 556 | 467 | 311 |
| 7 | 600 | 578 | 622 | 378 |
| 8 | 667 | 644 | 644 | 422 |
| 9 | 733 | 667 | 667 | 511 |
| 10 | 756 | 689 | 689 | 533 |
| 11 | 844 | 711 | 756 | 556 |
| 12 | 867 | 800 | 778 | 578 |
| 13 | 933 | 822 | 800 | 622 |
| 14 | 956 | 844 | 911 | 667 |
| 21 | 1,133 | 1,000 | 956 | 800 |
| 28 | 1,222 | 1,044 | 1,133 | 956 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-3** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C = 0.5 ($10^{-6}$)

| วัน | SM 0.5 | DM 0.5 | SM 0.5 with SP 0.5% | DM 0.5 with SP 0.5% |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 89 | 44 | 44 | 0 |
| 3 | 178 | 67 | 89 | 111 |
| 4 | 244 | 111 | 222 | 200 |
| 5 | 289 | 133 | 244 | 244 |
| 6 | 333 | 222 | 244 | 267 |
| 7 | 378 | 267 | 333 | 333 |
| 8 | 400 | 333 | 400 | 422 |
| 9 | 444 | 400 | 400 | 444 |
| 10 | 489 | 422 | 400 | 489 |
| 11 | 511 | 444 | 489 | 578 |
| 12 | 578 | 467 | 511 | 644 |
| 13 | 622 | 511 | 533 | 711 |
| 14 | 644 | 533 | 556 | 733 |
| 21 | 800 | 689 | 733 | 844 |
| 28 | 956 | 889 | 911 | 844 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-4** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C = 0.6 ($10^{-6}$)

| วัน | SM 0.6 | DM 0.6 | SM 0.6 with SP 0.5% | DM 0.6 with SP 0.5% |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 67 | 0 |
| 3 | 0 | 67 | 111 | 89 |
| 4 | 67 | 89 | 111 | 89 |
| 5 | 89 | 133 | 133 | 111 |
| 6 | 111 | 156 | 133 | 156 |
| 7 | 133 | 200 | 178 | 178 |
| 8 | 211 | 289 | 267 | 222 |
| 9 | 267 | 311 | 267 | 222 |
| 10 | 289 | 356 | 333 | 244 |
| 11 | 378 | 356 | 378 | 289 |
| 12 | 378 | 422 | 422 | 333 |
| 13 | 422 | 467 | 467 | 333 |
| 14 | 467 | 511 | 489 | 400 |
| 21 | 644 | 711 | 622 | 511 |
| 28 | 844 | 822 | 756 | 644 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-5** แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา

| W/C | SM (3 days) | DM (3 days) | SM (7 days) | DM (7 days) | SM (28 days) | DM (28 days) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| W/C=0.4 | 98.46 | 98.76 | 112.45 | 112.50 | 134.66 | 135.79 |
| W/C=0.4 With SP 0.5% | 68.07 | 67.85 | 76.69 | 76.74 | 87.74 | 88.06 |
| W/C=0.5 | 78.87 | 79.05 | 87.94 | 88.27 | 102.46 | 103.15 |
| W/C=0.5 With SP 0.5% | 77.51 | 84.63 | 91.75 | 93.31 | 104.27 | 104.43 |
| W/C=0.6 | 78.06 | 90.65 | 88.72 | 101.08 | 113.26 | 124.92 |
| W/C=0.6 With SP 0.5% | 68.43 | 82.82 | 82.21 | 93.24 | 100.19 | 109.62 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค.

## ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

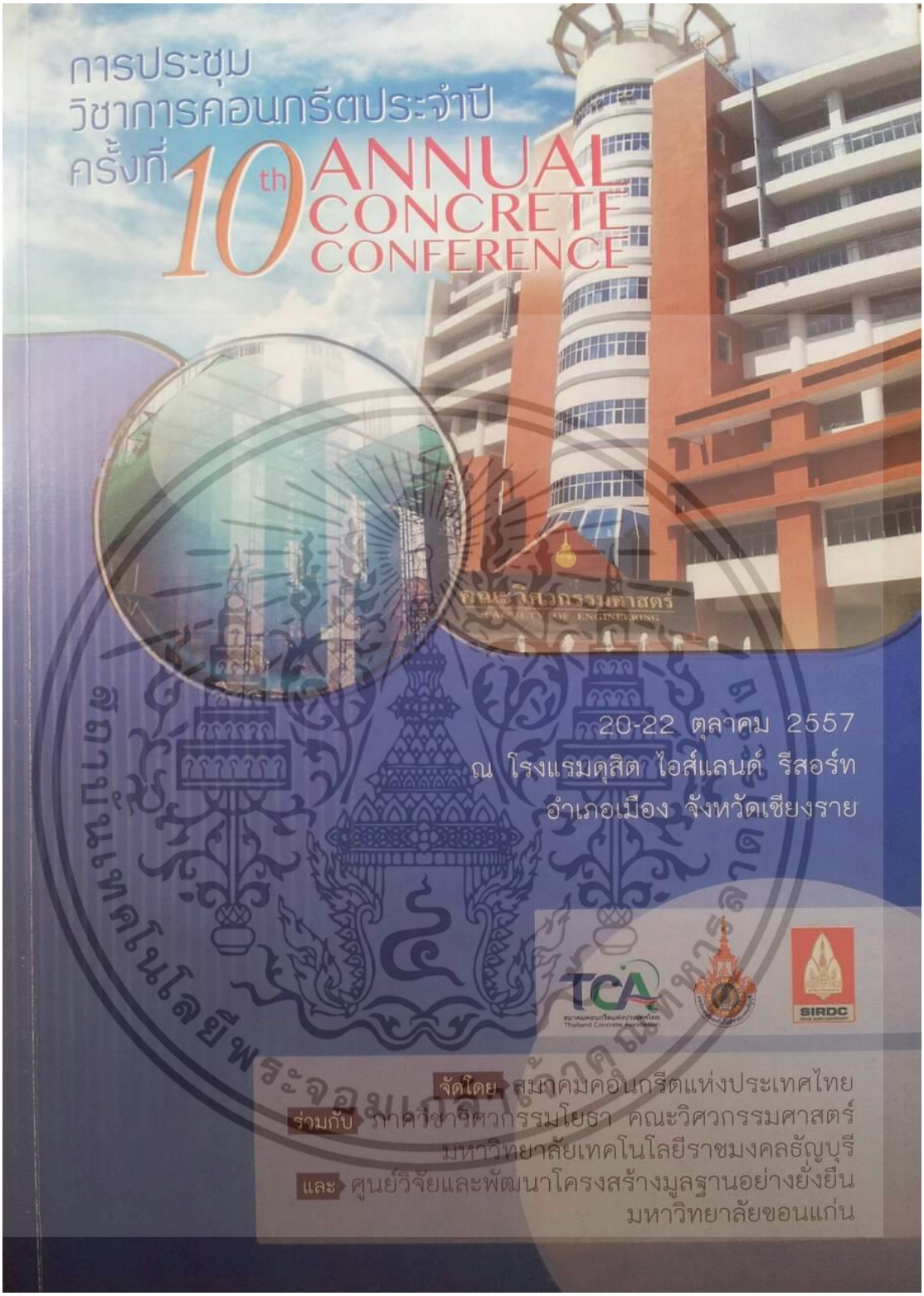
# ภาคผนวก ค.

## ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1) วสุ จารุฐานะกร, รศ.ดร.คมสัน มาลีสี อิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนกับคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 10, หน้า MAT-41-MAT-47, จ.เชียงราย, ประเทศไทย, ตุลาคม 20-22, 2557.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# อิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน กับคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC.

# The Influence Of Double Mixing Cementitious Material On Properties Of Cellular Lightweight Concrete.

**วสุ จารุฐานะกร (Wasu Jaruthanakorn)**[1]

**คมสัน มาลีสี (Komsan Maleesee)**[2]

[1]*นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง jaruthanakorn_wasu@hotmail.com*

[2]*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง kmkomsan@kmitl.ac.th*

**บทคัดย่อ :** งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน(Double Mixing Method : DM) กับคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC. โดยเปรียบเทียบกับการผสมด้วยวิธีธรรมดา (Simple Mixing Method : SM) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 รวมถึงการผสมสารลดน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) ในอัตราส่วนสารลดน้ำจำนวนมากต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.005 จากการทดสอบการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน สามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาให้ดีขึ้น สามารถลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาลงได้ อีกทั้งเพิ่มความสามารถในการไหลในคอนกรีตสด ลดการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา และยังเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาได้อีกด้วย

**ABSTRACT :** This research is to study the Influence Of Double Mixing Cementitious Material On Properties Of Cellular Lightweight Concrete. Compared with Simple Mixing Method . By use water to cement ratio = 0.4, 0.5 and 0.6. Include Superplasticizer. In Superplasticizer to cement ratio = 0.005. Test results for Double Mixing Method Properties of lightweight concrete can develop better. Can reduce the unit weight of lightweight concrete. Also add the Workability in fresh concrete. Reduce the shrinkage of lightweight concrete. And increases the ability of compressive strength of lightweight concrete as well.

**KEYWORDS :** (Double Mixing, Simple Mixing, Cellular Lightweight Concrete)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

อาคารสูงเป็นอาคารที่ใช้พื้นที่ในแนวราบน้อย แต่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากเนื่องจากมีจำนวนชั้นของอาคารที่มากขึ้น ดังนั้นอาคารก็จะต้องมีน้ำหนักที่มากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ต้องออกแบบองค์อาคารให้มีขนาดใหญ่ เพื่อให้เพียงพอต่อการรับน้ำหนักบรรทุกและรับน้ำหนักของตัวอาคารเองได้อย่างปลอดภัย

คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC (Cellular Lightweight Concrete) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคาร ส่งผลให้สามารถลดขนาดขององค์อาคารได้เป็นอย่างมาก คอนกรีตมวลเบายังมีความสะดวกในการนำไปใช้ในงาน ด้วยคุณสมบัติที่มีน้ำหนักเบาเนื่องจากมีฟองอากาศขนาดเล็ก (Air Bubble) จำนวนมากผสมอยู่ในเนื้อคอนกรีต

จากเดิมได้มีการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบามาอย่างต่อเนื่อง โดยวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่จะเป็นมวลรวมที่มีน้ำหนักเบาที่อยู่ในกลุ่มสารปอซโซลาน ( Pozzolan ) เช่น เถ้าลอย ( Fly ash ) เถ้าภูเขาไฟเทียม ( Artificial cinders ) เถ้าแกลบ ( Rice husk ash ) ซิลิกาฟูม ( Silica fume) เพอร์ไลต์ขยายตัว ( Expanded perlite ) ผงเทอร์โมโคล (Thermocole bead) และตะกรันที่ได้จากเตาถลุง ( Blast furnace slag ) เป็นต้น [1]

## 2. ความสำคัญของงานวิจัย

จากงานวิจัย [2], [3]ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตธรรมดาโดยการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่ต่างกัน รวมถึงการผสมสาร Superplasticizerในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไป พบว่าการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) สามารถลดการเยิ้มน้ำ(Bleeding)ลงได้ถึงสองเท่าในซีเมนต์เพสท์ที่มีค่า W/C=0.6 สามารถเพิ่มความสามารถในการไหลได้มากกว่าสองเท่าสำหรับซีเมนต์เพสท์ที่ W/C=0.4 โดยไม่ใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) จำพวกสารลดน้ำหรือสารลดน้ำพิเศษมาช่วย และสามารถเพิ่มกำลังอัดที่ 28 วันได้มากกว่าการผสมแบบธรรมดา (SM) ได้ถึง 4.83% ในคอนกรีตที่ W/C=0.6

จากงานศึกษาวิจัยของ Prof.Eiich TAZAWA และ Prof.Tetsurou KASAI [4] เป็นทฤษฎีที่นำมาใช้ในการศึกษาคือวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์กับน้ำ หรือที่เรียกว่า ซีเมนต์ที่แตกต่างกันออกไปจากวิธีการผสมแบบปกติโดยวิธีการผสมมีดังนี้

$$\text{SM} : W \xrightarrow[+\text{Cement}]{\text{L:0.5 min}} \underset{\text{Mixing}}{\text{H:x min}} \quad (1)$$

$$\text{DM} : W_1 \xrightarrow[+\text{Cement}]{\text{L:0.5 min}} \underset{\text{PM}}{\text{H:y min}} + W_2 \underset{\text{SM.}}{\text{H: z min}} \quad (2)$$

x : mixing time for SM , y,x: primal and secondary mixing time for DM, x=y+z

C : cement, W : water, $W_1$ :primal water, $W_2$ : secondary water, L : low speed

H : high speed, p.m.: primal mixing, s.m.: secondary mixing

ทฤษฎีการผสมซีเมนต์เพสต์แบบปกติและการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน

ดังนั้นหากสามารถนำวิธีการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน (DM) มาประยุคต์ใช้กับคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC น่าจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้น อีกทั้งยังลดน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำคอนกรีตมวลเบาที่ได้ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หรือส่วนประกอบของงานโครงสร้าง บางประการเช่น ใช้ทำเป็นคอนกรีตหล่อสำเร็จผนังเบา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. การทดลอง

### *3.1 การเตรียมตัวอย่าง*

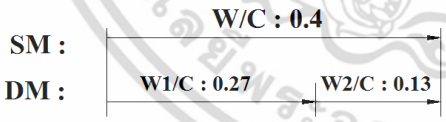
ในการทดลองจะทำการแบ่งตัวอย่างการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแยกตาม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) =0.4, 0.5, และ 0.6 ตามลำดับ ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง จะใช้สัดส่วนที่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อทราย = 1:1 รวมถึงการการผสมสารผสมเพิ่มชนิดสารลดน้ำจำนวนมาก Typ F (Superplasticizer)ในสัดส่วนร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ซึ่งจะใช้วิธีการผสมแบบ SM และ DM เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาและอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งาน

### *3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม*

ในการทดลองจะทำการออกแบบอัตราส่วนผสมตามตารางที่ 1-6 และขั้นตอนแบ่งน้ำในการผสมตามรูปที่ 1-6 ตามลำดับ โดยที่ทุกอัตราส่วนจะได้ปริมาตรคอนกรีตมวลเบาที่เท่ากัน

**ตารางที่ 1** แสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.4

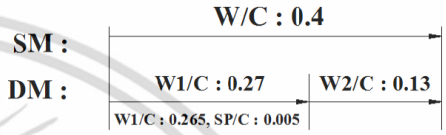
| W/C Ratio | 0.4 |
|---|---|
| ปูนซีเมนต์ (กก.) | 100 |
| ทราย (กก.) | 100 |
| น้ำ (กก.) | 40 |
| ฟองโฟม (ลิตร) | 90 |




**รูปที่ 1** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.4

**ตารางที่ 2** แสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.4+Sp

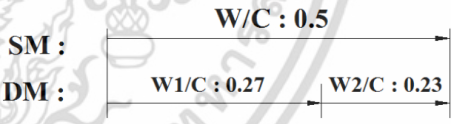
| W/C Ratio | 0.4 |
|---|---|
| ปูนซีเมนต์ (กก.) | 100 |
| ทราย (กก.) | 100 |
| น้ำ + Superplasticizer (กก.) | 39.5+0.5 |
| ฟองโฟม (ลิตร) | 90 |




**รูปที่ 2** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.4+Sp

**ตารางที่ 3** แสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.5

| W/C Ratio | 0.5 |
|---|---|
| ปูนซีเมนต์ (กก.) | 100 |
| ทราย (กก.) | 100 |
| น้ำ (กก.) | 50 |
| ฟองโฟม (ลิตร) | 80 |



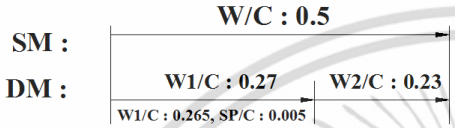

**รูปที่ 3** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4** แสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.5+Sp

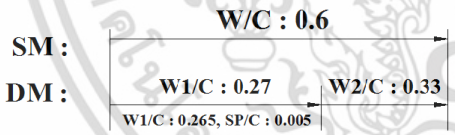
| W/C Ratio | 0.5 |
|---|---|
| ปูนซีเมนต์ (กก.) | 100 |
| ทราย (กก.) | 100 |
| น้ำ + Superplasticizer (กก.) | 49.5+0.5 |
| ฟองโฟม (ลิตร) | 80 |




**รูปที่ 4** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.5+Sp

**ตารางที่ 5** แสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.6

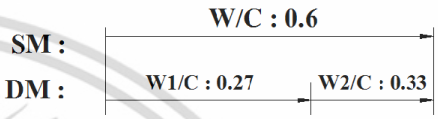
| W/C Ratio | 0.6 |
|---|---|
| ปูนซีเมนต์ (กก.) | 100 |
| ทราย (กก.) | 100 |
| น้ำ (กก.) | 60 |
| ฟองโฟม (ลิตร) | 70 |




**รูปที่ 5** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.6

**ตารางที่ 6** แสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.6+Sp

| W/C Ratio | 0.6 |
|---|---|
| ปูนซีเมนต์ (กก.) | 100 |
| ทราย (กก.) | 100 |
| น้ำ + Superplasticizer (กก.) | 59.5+0.5 |
| ฟองโฟม (ลิตร) | 70 |




**รูปที่ 6** แสดงการแบ่งน้ำที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยใช้ W/C=0.6+Sp

### *3.3 การทดลอง*

3.3.1 การทดสอบค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา (Density) ชั่งน้ำหนักของแก้วตวงเปล่าขนาดความจุ 1 ลิตรและบันทึกค่า จากนั้นตวงคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากการผสมตามขั้นตอนข้างต้นลงในแก้วตวงแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า จากนั้นนำค่าน้ำหนักของแก้วตวงเปล่าที่ชั่งไว้ครั้งแรกลบน้ำหนักที่ชั่งไว้ในครั้งที่สอง ก็จะได้น้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา นำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสมการ

$$D = \frac{m}{v} \quad (1)$$

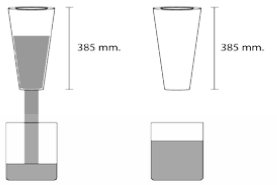
โดยที่ D=ความหนาแน่น
m=มวล (mass)
v=ปริมาตร (volume)

3.3.2 การทดสอบความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบา( Workability )ตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 [5]นำตัวอย่างของซีเมนต์เพสท์ของคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากการผสมตามขั้นตอนข้างต้นเทลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็ม โดยปิดช่องเปิดส่วนล่างของ



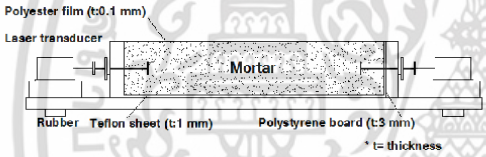
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ทดสอบให้สนิท ทำการจับเวลาทันทีหลังจากปล่อยให้ซีเมนต์เพสท์ของคอนกรีตมวลเบาไปผ่านช่องเปิดส่วนล่างของอุปกรณ์ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7




**รูปที่ 7** แสดงการทดสอบการไหล ตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993

3.3.3 การทดลองการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา ( Autogeneous Shrinkage )ทำการเทตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมไว้ลงในแบบหล่อ และทำการเก็บค่าการหดตัวภายนอกของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน JIS A 1129 [6] ดังแสดงในรูปที่ 8




**รูปที่ 8** แสดงการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา

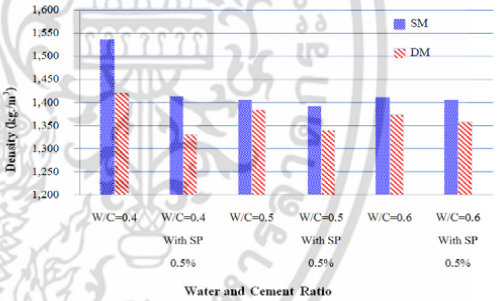
3.3.4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา ( Compressive Strength )ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 [7]โดยจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 ซม. ทำการทดสอบที่อายุคอนกรีต 3, 7, และ 28 วัน ในการทดสอบ จะทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยวิธี SM และ DM ตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 ,0.5 และ 0.6 ตามลำดับ

**รูปที่ 9** แสดงการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

## 4. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

*4.1 ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา*

จากการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา พบว่าค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี DM มีค่าลดลงในทุกอัตราส่วน เมื่อเทียบกับการผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธี SM เนื่องจากการผสมด้วยวิธี DM ทำให้มอร์ต้าของคอนกรีตมวลเบาเหลวมากขึ้น ส่งผลให้ฟองอากาศเข้าไปผสมได้ดี ดังนั้นจึงได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบากว่าเมื่อเทียบกับการผสมด้วยวิธี SM ดังกราฟที่แสดงค่าความหนาแน่นตามรูปที่ 10




**รูปที่ 10** แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาในแต่ละอัตราส่วน W/C

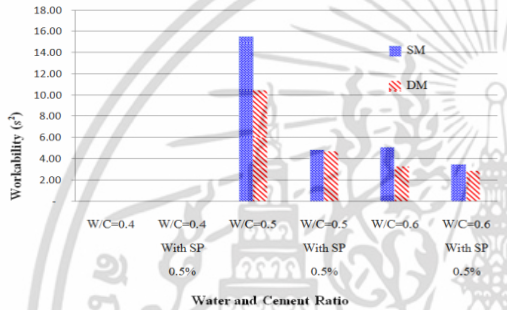
*4.2 ผลการทดสอบทดสอบความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบา( Workability )*

จากการทดสอบความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐานของ JSCE-F531-1993



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

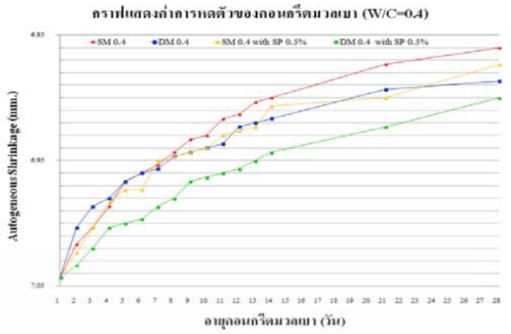
พบว่าที่ W/C =0.4 คอนกรีตมีความเหนียว ไม่สามารถไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้ จากนั้นคอนกรีตเริ่มไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้ที่ W/C =0.5 เป็นต้นไป โดยคอนกรีตที่ผสมด้วยวิธี DM สามารถไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบได้ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี SM จากกราฟที่แสดงตามรูปที่ 11 W/C=0.6 ผสม Sp=0.5% ให้ค่าความสามารถในการไหลมากที่สุด ค่าความสามารถในการไหลจากการผสมด้วยวิธี DM สูงกว่าการผสมด้วยวิธี SM คิดเป็น 18.65 % โดยสาเหตุหลักเกิดจากการผสมด้วยวิธี DM ทำให้มอร์ต้าของคอนกรีตมวลเบามีความเหลวมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับข้อ 4.1



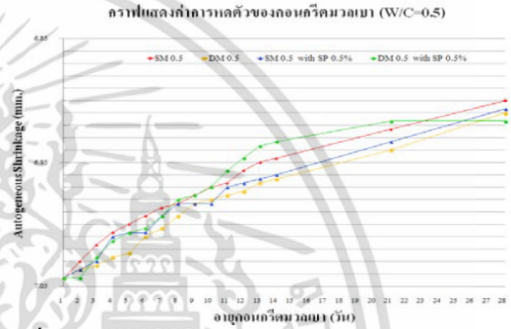

**รูปที่ 11** แสดงค่าความสามารถในการไหลของคอนกรีตมวลเบาในแต่ละอัตราส่วน W/C

*4.3 ผลการทดสอบอัตราการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา ( Autogeneous Shrinkage )*

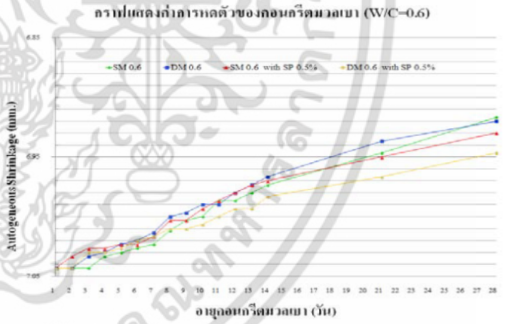
จากการทดสอบอัตราการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาโดยการวัดค่าและบันทึกค่าในทุกๆวันจาก 1-28 วัน ด้วยอุปกรณ์ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 1129 ดังแสดงตามรูปที่ 8 พบว่า ค่าการหดตัวเริ่มต้นจะสูงและจะมีค่าลดลงเมื่ออายุของคอนกรีตมวลเบามากขึ้น ดังแสดงตามรูปที่ 12 และเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี DM มีค่าการหดตัวลดลงกว่าการผสมด้วยวิธี SM ในทุกอัตราส่วน W/C และพบว่าคอนกรีตมวลเบาที่ W/C=0.6 มีค่าการหดตัวน้อยสุด ดังแสดงในรูปที่ 14




**รูปที่ 12** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.4




**รูปที่ 13** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.5



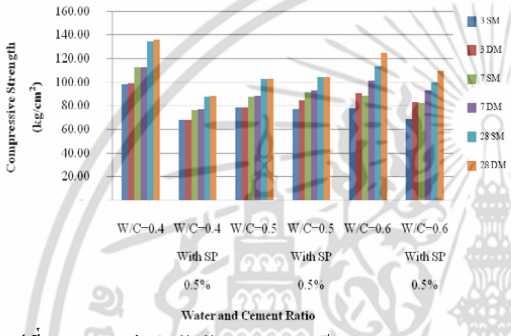

**รูปที่ 14** แสดงค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา W/C=0.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*4.4 ผลการทดสอบกำลังอัด ( Compressive Strength )*

จากการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา ที่อายุ 3, 7 และ 14 วัน โดยการเปรียบเทียบระหว่างการผสมด้วยวิธี SM กับการผสมด้วยวิธี DM พบว่าการผสมด้วยวิธี DM มีแนวโน้มให้ค่ากำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าการผสมด้วยวิธี SM เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์กับค่า ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากการทดสอบข้างต้น จากกราฟที่แสดงดังรูปที่ 15 ที่ W/C – 0.6 จะเห็นความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาอย่างชัดเจน




**รูปที่ 15** แสดงค่ากำลังอัด ของคอนกรีตมวลเบา W/C–0.4, 0.5 และ 0.6

## 5. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธี DM ทำให้ได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบากว่าการผสมด้วยวิธี SM ในทุกอัตราส่วน W/C

2.การผสมคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธี DM ในอัตราส่วน W/C–0.6 ผสม Sp–0.5% ให้ค่าความสามารถในการไหลมากที่สุด จากการผสมด้วยวิธี DM สูงกว่าการผสมด้วยวิธี SM คิดเป็น 18.65 %

3.พบว่าเมื่อค่า W/C สูงขึ้น ค่าการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาจะลดลง อีกทั้งการผสมด้วยวิธี DM ค่าการหดตัวจะน้อยกว่าการผสมด้วยวิธี SM

4. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมด้วยวิธี DM จะสูงกว่าการผสมด้วยวิธี SMในทุกอัตราส่วน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในอัตราส่วน W/C–0.6

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ คมสัน มาลีสี ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่อำนวยความสะดวกและสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือในการทดสอบและขอบคุณทุกคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจช่วยเหลือสนับสนุนในการทดลองครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] ประณต กุลประสูตร, 2552.เทคนิคงานปูน-คอนกรีต.2000 เล่ม พิมพ์ครั้งที่ 9 .สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] ปิยะ ประสบแสง, 2550.การศึกษาอิทธิพลของสารผสมเพิ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน.วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] Maleesee K., Influence of Curing Conditions On Properties of Cementitious Materials. Doctor Thesis, Tokai University.Japan (2004)

[4] Ei-ichi TAZAWA and Tetsorou KASAI,Double Mixing of Fresh Cementplase, JSCE, No.396/V-9 1988-8

[5] JSCE-F531-1993, "Test Method for Fluidity Test by Using J-14 Funnel"

[6] JIS A 1129, "Test Method for Length Change of Mortar and Concrete"

[7] ASTM C109, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar." Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นายวสุ จารุฐานะกร |
| วัน เดือน ปีเกิด | 5 กันยายน 2517 ที่พิษณุโลก |
| ที่อยู่ | 1143/30 ถ.เคหะร่มเกล้า แขวงคลองสองต้นนุ่น เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร.086-5540465 |
| ประวัติการศึกษา | 2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| | 2553 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ความชำนาญเฉพาะด้าน | 1.) การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก |
| | 2.) ถอดแบบประมาณราคา |
| ประสบการณ์การทำงาน | |
| พ.ศ.2546-2549 | ตำแหน่งวิศวกรภาคสนาม บริษัท แสงฟ้าก่อสร้าง จำกัด |
| พ.ศ.2550-2551 | ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท ซีฆาก่อสร้าง จำกัด |
| พ.ศ.2552-2552 | ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท 27 วิศวกรรม จำกัด |
| พ.ศ.2553-ปัจจุบัน | ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท สยาม พี. ซี. เอส. จำกัด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้