

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของสารเพิ่มฟองอากาศที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา  
INFLUENCES OF FOAMING AGENT ON PROPERTIES OF  
LIGHTWEIGHT CONCRETE



๔๖  
๕๕๑๘ ๔  
๑๕๕๑

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72196  
วัน,เดือน,ปี..... 12 ส.ย. 2550

b. 117๖465X  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INFLUENCES OF FOAMING AGENT ON PROPERTIES OF  
LIGHTWEIGHT CONCRETE**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2006**


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ อธิปไตยของสารเพิ่มฟองอากาศที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา  
นักศึกษา นายชาติชาย พรหมวงศ์ รหัสประจำตัว 47015430  
นายศาสวัต เอี่ยมโหมด รหัสประจำตัว 47015464  
นางสาววิไลรัตน์ สุขศรี รหัสประจำตัว 47015815  
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.คมสัน มาลีสี

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ	
รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์	พานิชกุลพงศ์		
ดร.คมสัน มาลีสี	มาลีสี		
อ.ศิลป์ชัย งานสุวรรณ	งานสุวรรณ		
อ.ทรงกลด แซ่ฮ้อ	แซ่ฮ้อ		

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

  
(รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์)  
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
วันที่ 4 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการงานพิเศษ

อิทธิพลของสารเพิ่มฟองอากาศที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา  
INFLUENCES OF FOAMING AGENT ON PROPERTIES  
OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

นักศึกษา

นายชาติชาย พรหมวงศ์	รหัสประจำตัว	47015430
นายศาศวัต เอี่ยมโหมค	รหัสประจำตัว	47015464
นางสาววิไลรัตน์ สุขศรี	รหัสประจำตัว	47015815

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.คมสัน มาลีสี

ระดับการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา

2549

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มฟองอากาศที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของคอนกรีตเบา โดยใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศก่อนแล้วจึงนำไปผสมกับซีเมนต์และน้ำ มีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาคอนกรีตเบาเพื่อนำไปใช้ในงาน โครงสร้างซึ่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,400 - 1,800 กก./ลบ.ม. และกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน มากกว่า 180 กก./ตร.ซม. ทดลองโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.3 , 0.4 โดยทำการทดลองผสมฟองอากาศที่ได้จากน้ำยาแต่ละตัวลงไปคอนกรีต โดยการปรับปริมาณฟองอากาศที่ใช้เพื่อให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงไปอยู่ในช่วงที่ต้องการ แล้วทำการทดสอบว่าคอนกรีตผสมกับฟองอากาศตัวใดแล้วให้คุณสมบัติเหมาะสมที่สุด ใช้ซีเมนต์พิเศษและมอร์ต้าโดยใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด อัตราการดูดซึม การยืดหดตัว และการบ่มด้วยน้ำ

Title : INFLUENCES OF FOAMING AGENT ON PROPERTIES  
OF LIGHTWEIGHT CONCRETE

Name : MR.CHATCHAI PROMWONG  
MR.SASWAT EIAMMODE  
MISS.WILAIRAT SUKSRI

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : DR.KOMSAN MALEESEE

## ABSTRACT

This Project is study the Influence of foaming agent on Properties of Lightweight Concrete , by foaming agent made many bubble of air from foam generator , so the density of concrete was reduce. The object of this project is developed for Structural Lightweight Concrete that has density 1,400 to 1,800 kg/m<sup>3</sup> and compressive strength at age 28 days more than 180 ksc , test by used w/c ratio at 0.3 , 0.4 of cement paste and mortar used sand/cement ratio 1:1 and used to prepare a questionnaire of quantities of air bubble to mix into concrete for reduce unit weight of concrete in to the range of density at 1400 kg/m<sup>3</sup> - 1800 kg/m<sup>3</sup> for test the properties of concrete. By testing the Compressive strength , absorption , autogeneous shrinkage and study impact of curing by water.

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ ดร.คมสัน มาลีสี อาจารย์ปรึกษาโครงการพิเศษที่ตลอดเวลาได้สั่งสอนและให้คำปรึกษาในการปฏิบัติงาน และแนวทางการทำรายงานอย่างเต็มที่ จนรายงานเล่มนี้ประสบความสำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบคุณคณะอาจารย์ที่เป็นผู้ร่วมประเมินงานโครงการ และคุณรุ่งโรจน์ หนุมนรัตน์ ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้อย่างเต็มที่ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าความรู้ที่คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษา ทดลอง ในงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่มาศึกษาต่อในด้านงานวิจัยนี้

อนึ่งทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บริษัท แอล ซี เอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด และบริษัท ดับบลิว อาร์ เกรซ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้นายเคมีที่ใช้ทดลองในโครงการนี้ และเพื่อนๆ รวมทั้งบิดา มารดาผู้ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

นายชาติชาย พรหมวงศ์  
นายศาสวัต เอี่ยมโหมด  
น.ส.วิไลรัตน์ สุขศรี  
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	ก
ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
หน้าอนุมติ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
1 บทนำ	
1.1. กล่าวนำ	1
1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.4. ขอบเขตการศึกษา	2
1.5. วิธีการศึกษา	2
1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 วรรณกรรมปริทัศน์	
2.1. กล่าวนำ	4
2.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2.1. คอนกรีตที่ใช้ลเบา	4
2.2.2. โฟมคอนกรีต	5
2.2.3. คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียด	6
2.3. การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรื่อง	หน้า
<b>3</b>	<b>ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ</b>
3.1. การผสมฟองอากาศกับซีเมนต์เพสต์เพื่อหาค่ากำลังและความหนาแน่น	13
3.1.1. การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์	13
3.1.2. วิธีการดำเนินงาน	15
3.2. การผสมฟองอากาศกับมอร์ต้าเพื่อหาค่ากำลังและความหนาแน่น	20
3.2.1. การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์	20
3.2.2. วิธีการดำเนินงาน	20
3.3. การทดลองการยึดหดตัว	22
3.3.1. การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์	22
3.3.2. วิธีการดำเนินงาน	23
3.4. การทดลองเปรียบเทียบขนาดตัวอย่าง 5x5x5 cm. และขนาด 10x10x10 cm.	26
3.4.1. การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์	26
3.4.2. วิธีการดำเนินงาน	26
3.5. การทดลองหาอัตราการคูดซึ่ม	27
3.5.1. การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์	27
3.5.2. วิธีการดำเนินงาน	27
3.6. การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบ	29
3.6.1. การทดสอบหาความหนาแน่นและ กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์	29
3.6.2. การทดสอบหาความหนาแน่นและ กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า	30
3.6.3. การทดสอบหาอัตราการคูดซึ่ม	32
3.6.4. การทดสอบการยึดหดตัว	32

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	<b>ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล</b>	
4.1.	การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์	34
4.2.	การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์เพสต์	35
4.3.	การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า	37
4.4.	การทดสอบหาการแพร่ซึมของมอร์ต้า	38
4.5.	การทดสอบหาการบีดหดตัวของมอร์ต้า	41
4.6.	การทดสอบการสลายตัวของฟองอากาศที่เวลาต่าง ๆ	43
4.7.	การทดสอบแรงดึงผิวของน้ำยา	44
5	<b>สรุปผลการศึกษา</b>	
5.1.	กล่าวนำ	47
5.2.	การผสมฟองอากาศกับซีเมนต์เพสต์	47
5.2.1.	การหาความหนาแน่น โดยผสมฟองอากาศกับซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.30 และ w/c 0.40	47
5.2.2.	การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์เพสต์	48
5.3.	การผสมฟองอากาศกับมอร์ต้า	48
5.3.1.	การหาความหนาแน่น โดยผสมฟองอากาศกับมอร์ต้าที่ w/c 0.40	48
5.3.2.	ผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึม	48
5.3.3.	ผลการทดสอบหาการบีดหดตัวของมอร์ต้า	49
5.4.	ผลการทดสอบการสลายตัวของฟองอากาศที่เวลาต่างๆ	49
5.5.	ผลการทดสอบแรงดึงผิวของน้ำยา	50
5.6.	อัตราส่วนต่างๆที่เหมาะสมกับคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง	50
5.7.	คุณสมบัติทางกายภาพ	51
5.8.	ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

บทที่ เรือง

หน้า

บรรณานุกรม

52

ภาคผนวก

ผ1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	การจำแนกคอนกรีตเบาตามการนำไปใช้ ACI 211.2-18	5
3.1.	ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหาความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์	30
3.2.	ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหาความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า	31
3.3.	ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหาอัตราการดูดซึม	32
3.4.	จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการยืดหดตัว	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.1.	เครื่องโม	13
3.2.	เครื่องฉีดสารเพิ่มฟองอากาศ	14
3.3.	การเตรียมสารเพิ่มฟองอากาศ	14
3.4.	ฟองอากาศที่ใช้ในการผสม	14
3.5.	กระบอกตวงปริมาตร 1 ลิตร	15
3.6.	การเติมน้ำขณะทำการผสม	16
3.7.	ซีเมนต์เพสต์ที่ได้หลังจากการผสมด้วยฟองอากาศ	16
3.8.	แบบหล่อขนาด 5 cm.×5cm.×5cm.	17
3.9.	แบบหล่อขนาด 10cm.×10cm.×10cm.	17
3.10.	การบ่มตัวอย่างด้วยน้ำ	18
3.11.	คู่อบ	18
3.12.	การทดสอบแท่งตัวอย่าง	19
3.13.	แท่งตัวอย่างที่ทำการทดสอบแล้ว	19
3.14.	เตรียมตัวอย่างทรายที่ใช้ในการผสม	21
3.15.	โมที่ใช้ในการผสมมอร์ต้า	21
3.16.	แบบหล่อขนาด 4cm.×4cm.×16cm.	23
3.17.	การติดตั้ง gauge plug ภายในแบบหล่อ	23
3.18.	ทำการวัดระยะภายใน gauge plug	24
3.19.	เครื่องมือวัดAutogeneous Shrinkage	24
3.20.	แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือวัดAutogeneous Shrinkage	25
3.21.	ชิ้นงานภายหลังจากถอดแบบแล้ว	25
3.22.	แบบหล่อสำหรับทดลองหาอัตราการดูดซึม	28
3.23.	แท่งตัวอย่างสำหรับทดลองหาอัตราการดูดซึม	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.1.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์อายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30	34
4.2.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์อายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40	34
4.3.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30 ตัวอย่างน้ำยาของ Grace	35
4.4.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30 ตัวอย่างน้ำยาของ Neo-por	35
4.5.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30 ตัวอย่างน้ำยาของ LCM - Protein	36
4.6.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30 ตัวอย่างน้ำยาของ LCM - Synthetic	36
4.7.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับความหนาแน่นของมอร์ต้าอายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40	37
4.8.	รูปแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของมอร์ต้าผสมฟองอากาศที่ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้น้ำยา Grace	38
4.9.	รูปแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของมอร์ต้าผสมฟองอากาศที่ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้น้ำยา Neo-por	38
4.10.	รูปแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของมอร์ต้าผสมฟองอากาศที่ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้น้ำยา LCM-Protein	39
4.11.	รูปแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของมอร์ต้าผสมฟองอากาศที่ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้น้ำยา LCM- Synthetic	39
4.12.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเปอร์เซ็นต์การดูดซึมที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40	40
4.13.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึดหดตัวกับระยะเวลาที่ความหนาแน่นต่างๆกันของน้ำยาดตัวอย่าง LCM-Synthetic	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.14.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึดหดตัวกับ ระยะเวลาระหว่างการบ่มในอากาศกับบ่มในน้ำ	42
4.15.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสลายตัว ของน้ำหนักฟองอากาศต่อเวลา	43
4.16.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักฟองอากาศต่อเวลา	43
4.17.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิวกับน้ำยาที่ไม่ได้ผสมน้ำ	44
4.18.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิวกับน้ำยา ผสมน้ำของอัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบน้ำยาแต่ละชนิด	45
4.19.	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิวกับน้ำยาผสมน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ	45

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. กล่าวนำ

เนื่องจากประเทศไทยกำลังพัฒนาด้านเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ซึ่งงานด้านวิศวกรรมโยธาก็ได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วตามสภาพเศรษฐกิจ ทำให้เกิดการแข่งขันกันโดยใช้เทคโนโลยีใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดเวลาในการก่อสร้าง ลดค่าใช้จ่าย จึงได้มีการนำคอนกรีตเบามาใช้ในการก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย เช่น อิฐมวลเบา ซึ่งช่วยทำให้การก่อสร้างสะดวกรวดเร็วและง่ายในการทำงาน นวัตกรรมที่เบาช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วน of โครงสร้าง อีกทั้งยังเป็นฉนวนกันความร้อนได้อย่างดี ซึ่งจะมีประโยชน์ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยตลอดจนอาคารสูง

### 1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมากทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของ Dead Load ที่มาก จึงได้มีการคิดค้นวิธีการที่ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาลงกว่าเดิม เพื่อลดน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร ซึ่งวิธีการผลิตคอนกรีตเบาก็มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้ผงอะลูมิเนียมเป็นตัวทำปฏิกิริยา การใช้ fly ash เป็นส่วนประกอบหลัก การใช้ขี้เถ้าแกลบหรือขี้เถ้าในการผสม ฯลฯ ดังนั้นจึงได้มีการนำคอนกรีตเบามาใช้ในการก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย เพราะช่วยทำให้การก่อสร้างสะดวกรวดเร็ว ง่ายในการทำงาน ช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้าง และส่งผลให้เป็นการประหยัดต้นทุนโดยรวม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการนำสารเพิ่มฟองอากาศมาใช้ในการผลิตคอนกรีตเบาเพื่อให้คอนกรีตเบามีความหนาแน่นต่ำ และมีการรับกำลังอัดได้ดี โดยนำมาใช้แทนผงอะลูมิเนียมที่มีขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก

ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัยในการพัฒนาคอนกรีตเบาสำหรับโครงสร้าง โดยสามารถทำให้คอนกรีตที่ต้องรับกำลังอัดมีน้ำหนักลดลงได้ จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพด้านงานก่อสร้าง ต่อไปในอนาคต

### 1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาส่วนประกอบที่เหมาะสมของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง โดยใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดฟองอากาศก่อนแล้วจึงนำไปผสมกับคอนกรีต
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตเบาที่ได้จากผลการวิจัย

### 1.4. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาการทำคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง ซึ่งมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1,400-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังรับแรงอัด เมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในการทำวิจัยครั้งนี้พิจารณาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคอนกรีตเบา ดังนี้

1. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. ใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดฟองอากาศผสมในปูนซีเมนต์
3. ใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อทราย 1:1
4. ใช้แบบหล่อขึ้นทดสอบทรงลูกบาศก์ 5 cm. × 5 cm. × 5 cm. และ 10 cm. × 10 cm. × 10cm. ในการหาค่ากำลังรับแรงอัด , ความหนาแน่น
5. ใช้แบบหล่อขึ้นทดสอบ 4 cm. × 4 cm. × 16 cm. ในการทดสอบการยัดหดตัว
6. ใช้แบบหล่อทรงกลม ในการทดสอบหาอัตราการคูดซึมน้ำ

### 1.5. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและศึกษางานวิจัยการทำคอนกรีตเบา
2. ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเพิ่มฟองอากาศ กับ ความหนาแน่นและกำลังอัด
3. ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังอัด
4. ขั้นตอนทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตเบา
  - อัตราการคูดซึมน้ำ
  - กำลังรับแรงอัด
  - การยัดหดตัว (Autogeneous shrinkage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 2 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงส่วนประกอบที่เหมาะสมของคอนกรีตเบาสำหรับงาน โครงสร้างโดยใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดฟองอากาศก่อนผสมลงในส่วนผสมของคอนกรีต
2. สามารถทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตเบาที่ได้จากการวิจัย
3. สามารถที่จะวิเคราะห์ผลและนำไปพัฒนาใช้ประโยชน์ต่องาน โครงสร้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1. กล่าวนำ

คอนกรีตเบา เป็นคอนกรีตที่นิยมในต่างประเทศมาเป็นเวลานาน ซึ่งนำไปใช้ในการก่อสร้าง ตั้งแต่ทำเป็นฉนวนกันความร้อน จนถึงใช้เป็นชิ้นส่วนก่อสร้าง เช่น พื้น เสา คาน ราวบันได และผนังอาคาร เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานโครงสร้างที่สำคัญคือ ลดน้ำหนักของอาคาร ส่งผลให้เป็นการประหยัดต้นทุนโดยรวม

สำหรับในประเทศไทย ได้มีการพัฒนาและวิจัยคอนกรีตประเภทนี้มาเป็นเวลานาน แต่ความต้องการใช้งานคอนกรีตเบาในช่วงที่ผ่านมายังมีน้อย ปัจจุบันอาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ มีความสูงเพิ่มขึ้น ผู้ออกแบบได้ให้ความสนใจที่จะใช้คอนกรีตเบาเพิ่มขึ้น ในอนาคตอันใกล้นี้ วงการก่อสร้างของประเทศไทยคงจะได้มีโอกาสใช้

### 2.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามวัสดุที่ใช้คือ

#### 2.2.1. คอนกรีตที่ใช้มวลเบา (Light-Weight Aggregate Concrete)

มีหน่วยน้ำหนักกระหว่าง 60-1,000 กก./ลบ.ม. เทียบกับ 1,100-1,750 กก./ลบ.ม. ของมวลรวมปกติหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเบาแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.1 สามารถจำแนกมวลรวมเบาออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

1) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินที่เป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ มวลรวมชนิดนี้ใช้ผสมคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูง และมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก

2) มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต 3 กระบวนการคือ Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวผสมกับสารก่อฟองอากาศและนำไปเผาในหม้อเผาที่อุณหภูมิอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เกิดเป็นฟองอากาศอยู่ในเนื้อหิน ทำให้ภายในเป็นโพรงอากาศ ขบวนการที่สองคือ Expanded Shale เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aggregate ได้จากการนำดินดานผสมกับถ่านที่บดละเอียดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงค่อนข้างดีจึงนิยมนำมาทำคอนกรีตเบาและขบวนการที่สามคือ Sintered Fly Ash ได้จากการนำ Fly Ash นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ทำให้อนุภาคเกาะติดกัน ผิวของมวลรวมค่อนข้างเรียบ

- 3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกผสมในคอนกรีต
- 4) มวลที่ได้จากของเหลือของกระบวนการผลิต ได้แก่ ถ่านที่หนักที่ได้โรงไฟฟ้าถ่านหินหรือจากการพ่นน้ำไปบน Slag ที่หลอมเหลวแต่ถ้าจำแนกคอนกรีตเบาตามการนำไปใช้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.1.

ตารางที่ 2.1. การจำแนกคอนกรีตเบาตามการนำไปใช้ ACI 211.2-18

ประเภท	กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ (กก. / ตร.ซม.)	หน่วยน้ำหนัก (กก. / ลบ.ม.)
คอนกรีตเบาสำหรับงาน โครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete)	180-480	1,400-1,800
คอนกรีตสำหรับงานก่อ (Masonry Concrete)	100-180	500-800
คอนกรีตสำหรับงานฉนวนความร้อน (Insulating Concrete)	10-100	น้อยกว่า 800

(จากประเสริฐ คำรังษัย ,2542)

**2.2.2. โฟมคอนกรีต (Aerated or Foam Concrete)**

คอนกรีตประเภทนี้ เป็นคอนกรีตที่ได้จากการทำให้เกิดฟองอากาศ หรือที่เรียกว่า “โฟม” ขนาด 0.1 ถึง 1.0 มิลลิเมตร ในเนื้อคอนกรีต วิธีการผสมคอนกรีตพูนมี 2 วิธี คือ

- 1) วิธีทางเคมี โดยใช้ผลของการทำปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดฟองก๊าซในเนื้อคอนกรีต ในขณะที่ยังมีสภาพ Plastic
- 2) การทำให้เกิดฟองอากาศ (Foaming Agent) แล้วผสมลงในส่วนผสมคอนกรีตเนื่องจากคอนกรีตพูน มีโพรงที่เกิดจากการแทรกตัวของฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งทำให้ความหนาแน่นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตลดลง มีน้ำหนักเบา หน่วยน้ำหนักประมาณ 200 ถึง 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทั่วไป คอนกรีตประเภทนี้ นิยมนำไปใช้เป็นฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้คอนกรีตพรุนยังมีคุณสมบัติหลาย อย่างคล้ายไม้ เช่น สามารถเลื่อยได้ ตอกตะปูได้ สามารถเชื่อมต่อกันได้ด้วยกาว

### 2.2.3. คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้ เป็นคอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด (ทราย) อยู่ในส่วนผสม ส่วนผสมหลักจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวมหยาบ การยึดเกาะติดกันระหว่างมวลรวม หยาบ เกิดจากผิวที่ถูกละเลียดด้วยซีเมนต์เพชรหนาประมาณ 1 ถึง 3 มิลลิเมตร เมื่อคอนกรีตแข็งตัว จะ เกิดช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบนั้น และทำให้น้ำหนักของคอนกรีตลดลงหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ประเภทนี้ประมาณ 1,600 ถึง 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้ได้แก่ กรวดไม่ หินไม่ เป็นต้น ขนาดของมวลรวมควรมีขนาดเท่าๆกัน ขนาดที่ใช้ในช่วง 9.5 ถึง 20.0 มิลลิเมตร มีกำลังต้านทานแรงอัด 60 ถึง 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้กำลังต้านทานแรงอัด ของคอนกรีตประเภทนี้ ขึ้นอยู่กับมวลรวมที่ใช้ และปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ โดยทั่วไปส่วนผสมที่ ใช้จะประมาณ 1:8 โดยปริมาตร และอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ประมาณ 0.4

คุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตเบามีดังนี้

- 1) ความแข็งแรง ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตเบาจะมีค่าประมาณ 10 ถึง 140 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ยกเว้นคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง ซึ่งมีค่ากำลังต้านทาน แรงอัด 100 ถึง 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตเบา ทั่วไปอาจทำให้สูงขึ้น โดยการใช้ทรายธรรมชาติแทนมวลรวมน้ำหนักเบา แต่จะทำให้คอนกรีตมี น้ำหนักเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีต ที่มีมีความหนาแน่นสูงกว่า
- 2) ความคงทน คอนกรีตเบาโดยทั่วไปไม่สามารถทนการกัดกร่อนจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพ และการกระทบกระแทกเนื่องจากแรงภายนอกเนื่องจากคอนกรีตเบามีโพรงอากาศอยู่ภายใน ดังนั้น คอนกรีตเบาจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพที่มีสารจำพวกซัลเฟตเจือปนอยู่ หรือในสภาพ ดินชื้น ดังนั้นในการนำไปใช้งานควรมีการฉาบผิวเพื่อป้องกันการสึกกร่อน
- 3) คอนกรีตเบาหดรัดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5 – 40 % แต่คอนกรีตเบาที่ใช้วัสดุผสมซึ่งเป็น ผลผลิตจากดินเผา ดินดานหรือตะกรัน จะหดรัดตัวน้อยลง

- 4) การนำความร้อน คอนกรีตเบาเป็นตัวนำความร้อนที่เลว เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีโพรงอากาศมาก ทำให้คอนกรีตเบาดูดซึมความร้อนได้ไม่ดี
- 5) หน่วงน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 300 – 1,800 กก./ลบ.ม. กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ ประมาณ 4 – 480 กก./ตร.ซม.
- 6) คอนกรีตเบาดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า
- 7) ในปริมาณความสามารถเท่าได้เท่ากัน คอนกรีตมวลรวมเบาจะมีค่ายุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป
- 8) ความสามารถทนไฟได้ดี กำลังรับแรงดึงมากกว่าคอนกรีตปกติ
- 9) สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตเบาประมาณ  $7 \times 10^{-6}$  ถึง  $14 \times 10^{-6}$  ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

#### ข้อควรระวังของคอนกรีตเบาในการใช้งานประกอบด้วย

- 1) การแยกตัว ถ้าส่วนผสมมีค่ายุบตัวมากหรือมีการจึ้นเขย่ามากเกินไป คอนกรีตจะเกิดการแยกตัว มวลรวมที่หนักจะตกลงไปกองอยู่ก้นแบบ และน้ำจะเอี่ยมออกมาสู่ผิวหน้าคอนกรีตมาก ทำให้การแต่งผิวหน้าทำได้ยาก
- 2) การดูดซึมน้ำของมวลรวมจะมาก ดังนั้นในการออกแบบสัดส่วนส่วนผสมต้องนำมาปัจจัยนี้มาพิจารณารวมทั้งกำหนดวิธีการผสม
- 3) การผสมต้องผสมให้ถูกวิธีใช้เวลาผสมที่นานเกินไป อาจทำให้มวลรวมเบาแตก
- 4) ความทนทานในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

### 2.3. การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษาเรื่องคอนกรีตเบามีมากกว่า 50 ปี ในต่างประเทศ ในระยะแรกจะเป็นคอนกรีตเบาประเภท Lightweight Aggregate Concrete คือคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นวัสดุมวลเบา สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น หล่อเป็นก้อนสี่เหลี่ยมสำหรับนำไปทำกำแพง หรือ หล่อเป็นผนัง เป็นต้น

สำหรับคอนกรีตประเภท Aerated Concrete คือคอนกรีตที่มีการกักขังฟองอากาศขนาดเล็กให้กระจายอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ก็ได้มีการพัฒนาควบคู่กันมาอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 1976 C. Bagon และ S. Frondista-Yonas ได้ศึกษาและประดิษฐ์ คอนกรีตเบาประเภท Aerated Concrete ขึ้น โดยใช้ส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ประเภทสาม น้ำ ทรายละเอียด และสารทำให้เกิดฟอง คอนกรีตที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าหน่วยน้ำหนัก 845 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด 48 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่า Modulus of Elasticity  $5.9 \times 10^4$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต่อมา Aerated Concrete ได้ถูกพัฒนาในประเทศสวีเดนให้เป็น Autoclave Aerated Concrete โดยอาศัยหลักการของการเกิดปฏิกิริยาเคมีของผงอะลูมิเนียมกับแคลเซียมทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้นในส่วนผสม ทำให้เกิดการเร่งการแข็งตัว และไล่ก๊าซออกจากเนื้อคอนกรีตโดยการอบไอน้ำภายใต้แรงดันสูง ซึ่งเรียกว่า "Autoclave Concrete" คอนกรีตเบาประเภท Autoclave Aerated Concrete มีค่าหน่วยน้ำหนัก 300 ถึง 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถใช้ทำเป็นวัสดุไม่รับแรง เช่น ผนังกันห้อง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกันความร้อน และดูดซับเสียงได้เป็นอย่างดี แต่วิธีการนี้ไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากใช้ต้นทุนในการผลิตสูงมาก สำหรับในประเทศไทย การศึกษาและพัฒนาคอนกรีตเบาเพื่อนำไปใช้งานก็มีอยู่บ้าง แต่ยังไม่มากนักมีดังนี้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2529-2530) ได้ทำการศึกษาและประดิษฐ์คอนกรีตเบาประเภท Foam Concrete ขึ้น ทำให้ได้คอนกรีตที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,100 ถึง 1,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังต้านทานแรงอัด 20 ถึง 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (2535 - 2536) ได้ประดิษฐ์ผนังคอนกรีตเบาสำเร็จรูปขึ้น โดยใช้ผงกาบมะพร้าวและดินเผา เป็นส่วนผสม ซึ่งเป็นการผสมผสานกันระหว่าง คอนกรีตเบาประเภท Light-Weight Aerated Concrete และคอนกรีตเบาประเภท Aerated Concrete

สมคิด เตียรอุ้น และคณะ (2537 - 2538) ได้เสนอผลการศึกษาเรื่องคอนกรีตผสมโฟม โดยใช้โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ถึง 1.0 เซนติเมตร เป็นมวลรวมหยาบในส่วนผสมแทนหิน และเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีต 1 : 2 : 3 ซึ่งผลการศึกษาทำให้ได้คอนกรีตที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,550 ถึง 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด 153.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และในขั้นตอนของการผลิตคอนกรีตผสมโฟมยังพบว่า ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวมากเกินไป และมีการเขย่าหรือกระทบกอนกรีตขณะทำการผสมมากเกินไป จะทำให้คอนกรีตเกิดการแยกตัวได้ โดยโฟมจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของคอนกรีต สำหรับความเป็นไปได้ของการนำไปใช้งานสำหรับคอนกรีตผสมโฟมเหมาะสมที่จะนำไปใช้ทำผนังสำเร็จรูป เพื่อช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้าง

**ปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน และคณะ (2538 - 2539)** ได้เสนอผลการศึกษาเรื่องคอนกรีตเบา โดยการทดสอบคุณสมบัติการกักตัว ความสามารถเทได้ ปริมาณอากาศ และกำลังต้านทานแรงอัด ของคอนกรีตเบาประเภท Foam Concrete โดยการเติมสารเคมีผสมเพิ่ม ชนิด AEA-303 และออกแบบส่วนผสมที่กำลังอัด 180 , 210 และ 240 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณอากาศที่ได้จากการใส่สารกักกระจายฟองอากาศ มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อตัวลดลง 45 ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถเทได้ดีขึ้น โดยมีค่าการยุบตัว 20 ถึง 23 เซนติเมตร ค่ากำลังต้านทานแรงอัด 90 ถึง 130 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำให้สามารถนำคอนกรีตไปใช้กับงานที่มีขนาดแบบหล่อแคบได้ อย่างไรก็ตาม ผลจากการทดสอบยังพบว่า ยิ่งทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าลดลง คอนกรีตก็จะมีน้ำหนักเบาขึ้นแต่ความสามารถในการต้านทานแรงอัดก็จะลดลงด้วย

**เกรียงไกร ภรณ์ประเสริฐ และคณะ (2538-2539)** ได้เสนอผลการศึกษาเรื่องคอนกรีตเบา โดยใช้วัสดุคิบธรรมชาติ 2 ชนิด คือ pumice กับ perlite นำมาผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ในอัตราส่วนต่าง ๆ ผลจากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : pumice : perlite ในสัดส่วน 1 : 0.8 : 2.4 : 0.8 ซึ่งทำให้ได้คอนกรีตที่มีน้ำหนัก 1,450 ถึง 1,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด 118 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีอัตราการดูดซึมน้ำ 37.4 เปอร์เซ็นต์

**ธวัชชัย วนาพิทักษ์กุล และคณะ (2539-2540)** ได้เสนอผลการศึกษาเรื่องคอนกรีตผสมโฟม โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตธรรมดาในด้านกำลังต้านทานแรงอัดหน่วยน้ำหนัก และคุณสมบัติการนำความร้อน โดยเลือกใช้โฟมเม็ดกลมขนาด 1/4 , 1/2 และ 1 นิ้ว แทนหินในปริมาณ 200 , 400 และ 585 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลจากการศึกษาทำให้ได้คอนกรีตที่มีค่าหน่วยน้ำหนัก 1,185 ถึง 2,029 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังสูงสุด 213.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตผสมโฟมให้ค่ากำลังต้านทานแรงอัด ค่าหน่วยน้ำหนัก และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา และจะยิ่งมีค่าดังกล่าวลดลงอีก เมื่อมีการเพิ่มปริมาณส่วนผสมของโฟมมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตผสมโฟมมีน้ำหนักเบาและป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่มีความแข็งแรงน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ผลจากการทดสอบยังพบว่าในการใช้โฟมเป็นวัสดุในปริมาณที่เท่ากัน โฟมที่มีขนาดเล็กกว่าจะทำให้คอนกรีตมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดดีกว่าโฟมที่มีขนาดใหญ่กว่า

**ขจรพันธ์ ตันติพจน์ และคณะ (2540)** ได้เสนอผลการศึกษาเรื่องคุณสมบัติคอนกรีตพูนที่ผลิตโดยผงอะลูมิเนียม โดยใช้อัตราส่วน ปูน ต่อ ทราย 1:1 โดยน้ำหนัก ปูนขาว 5% และยิปซัม 3% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของปูนซีเมนต์ ได้ว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนจะแปรผกผันกับปริมาณผงอลูมิเนียม และแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตพรุนจะแปรผกผันกับปริมาณผงอลูมิเนียมและแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ความหนาแน่นของคอนกรีตพรุนจะแปรผกผันกับปริมาณผงอลูมิเนียมและแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพรุนจะแปรผันตรงกับปริมาณผงอลูมิเนียมและแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบครั้งนี้ โดยพิจารณาจากกำลังรับแรงอัด แรงเฉือน ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพรุน คือ ใช้ปริมาณผงอลูมิเนียม 0.15% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 มีราคาประมาณ 2,610 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และมีคุณสมบัติดังนี้ กำลังรับแรงอัด 46.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังรับแรงเฉือน 7.17 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 1.19 ตันต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 35.36% การศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การคูดคลื่นเสียงด้วยวิธี Standing Wave จะได้ว่า ช่วงความถี่ค่าสัมประสิทธิ์การคูดคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐฉาบปูนทั่วไปคือ 4.46% กับ 5% ตามลำดับ แต่จะมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้น ที่ความถี่ 500 เฮิรตซ์ มีค่า 24.98% กับ 20.6% ตามลำดับ ความถี่สำคัญที่ 1,000 เฮิรตซ์ มีค่าแตกต่างกันคือ 19.6% กับ 11.5% จากการนั้นค่าความถี่ 2,000 และ 4,000 เฮิรตซ์

เสถียร ทวีชีพ และคณะ (2541) ได้เสนอผลการศึกษารองคกริตเบาผสมทรายหยาบการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนผสมและศึกษาคุณสมบัติในด้านต่างๆของคอนกรีตเบาชนิด Aerated of From Concrete โดยวิธีผสมสารกระจายกักฟองอากาศ AEA 303 การศึกษาหาส่วนผสม โดยวิธีทดลองใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1:2 โดยน้ำหนักและใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 ใช้ปริมาณสาร AEA 303 เท่ากับ 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักซีเมนต์ ตามลำดับ จึงนำไปหาคุณสมบัติการก่อตัว หน่วยน้ำหนัก กำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงดึง และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น จากผลการทดลองใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และใช้ปริมาณสารกระจายกักฟองอากาศ เท่ากับ 0.00 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้ 438 กก./ตร.ซม. มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2156 กก./ลบ.ม. เมื่อเติมสาร AEA 303 เท่ากับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้ 250 กก./ตร.ซม. มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1980 กก./ลบ.ม. และเมื่อเพิ่มปริมาณสาร AEA 303 จนถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตรับกำลังอัดได้ 222 กก./ตร.ซม. มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1937 กก./ลบ.ม. เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.6 และใช้ปริมาณสารกระจายกักฟองอากาศเท่ากับ 0.00 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้ 294 กก./ตร.ซม. มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2107 กก./ลบ.ม. เมื่อเติมสาร AEA 303 เท่ากับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตรับกำลังอัดได้ 191 กก./ตร.ซม. มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1976 กก./ลบ.ม. เมื่อเพิ่มปริมาณสาร AEA 303 เท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้ 130 กก./ตร.ซม. มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1856 กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.7 และใช้ปริมาณสารกระจายกักฟองอากาศเท่ากับ 0.00 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้ 222 กก./ตร.ซม. และมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2006 กก./ลบ.ม. เมื่อเติมสารกระจายกักฟองอากาศเท่ากับ 0.20 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้ เท่ากับ 171 กก./ตร.ซม. มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1977 กก./ลบ.ม. เมื่อเพิ่มปริมาณสาร กระจายกักฟองอากาศ เท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้ 120 กก./ตร.ซม. และมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1838 กก./ลบ.ม. จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และเติม สาร AEA 303 เท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง 10.15 เปอร์เซ็นต์ และ คอนกรีตมีความสามารถรับกำลังอัดได้ลดลง 49.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.6 เติมสาร AEA 303 เท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง 11.89 เปอร์เซ็นต์ และคอนกรีตมีความสามารถ รับกำลังอัดได้ลดลง 55.78 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.7 และเติมสาร AEA 303 เท่ากับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง เท่ากับ 8.35 เปอร์เซ็นต์ และคอนกรีตมีความสามารถรับกำลังอัดได้ลดลง 45.9 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณอากาศเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต เป็นผลโดยตรงทำให้คอนกรีต มีหน่วยน้ำหนักลดลง โดยฟองอากาศเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.50 มม. จะเข้าไปแทรกอยู่ในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักลดลง

เขตสยาม สุขาทิพย์ และคณะ (2544-2545) ได้เสนอผลการศึกษาเรื่องคอนกรีตเบา โดยทำการศึกษา เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างคอนกรีตเบาผสม โฟมกับคอนกรีตธรรมดาในด้านกำลังต้านทานแรงอัด หน่วยน้ำหนัก โดยเลือกใช้โฟมเม็ดกลมขนาด 3 , 7 และ 10 มิลลิเมตร โดยคอนกรีตเบาผสมเม็ดโฟม มี หน่วยน้ำหนักต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา 6.8-16.5 เปอร์เซ็นต์ และ กำลังต้านทานแรงอัดลดลง 14.8-47.7 เปอร์เซ็นต์แสดงให้เห็นว่า ขนาดของเม็ดโฟม และการกระจายตัวของเม็ดโฟมในคอนกรีต เป็นปัจจัยที่ ทำให้กำลังต้านทานแรงอัดและหน่วยน้ำหนักเปลี่ยนไป

กฤษฎา โรจน์ประสิทธิ์พร และคณะ (2546) ได้เสนอผลการศึกษาเรื่องคุณสมบัติของคอนกรีตเบาผสม เส้นใยไมโครไฟเบอร์ คอนกรีตมวลเบาที่ใช้เป็นคอนกรีตมวลเบาที่เกิดจากการกักฟองอากาศในเนื้อ คอนกรีต โดยการผสมเส้นใยไฟเบอร์นั้นวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มกำลังรับแรงให้คอนกรีต ทำให้ การแตกหักระหว่างการขนส่งและทำงานลดลง ผลการทดลองพบว่าปริมาณ ไฟเบอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ ประมาณ 0.05% (โดยปริมาตร) ซึ่งแสดงให้เห็นจากการเพิ่มขึ้นของทั้งกำลังอัดและกำลังดัดสูงสุดที่ค่านี้ อย่างไรก็ตามคอนกรีตมวลเบาที่มีแนวโน้มที่จะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ธีรพล สุวรรณรัชตกุล และคณะ (2547)** ได้เสนอผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลดของกำลังอัดในคอนกรีตผสมชานอ้อยซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของคอนกรีตธรรมดา ในด้านกำลังต้านทานแรงอัดและหน่วยน้ำหนัก โดยออกแบบที่กำลังอัด 240 ksc. และใช้ชานอ้อยที่มีขนาดความยาว 1 – 1.5 ซม. ผสมในคอนกรีตธรรมดาในอัตราส่วน 1 , 2 , 3 และ 4% ของมวลรวมละเอียดผลจากการศึกษาพบว่าคอนกรีตที่ผสมชานอ้อย 4% ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด จะทำให้หน่วยน้ำหนักและกำลังอัดลดลงมากที่สุดที่ 20% และ 98.26% ซึ่งจากการศึกษาได้พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลดของกำลังอัดเกิดจาก วิธีการผสม , จำนวนวันที่ถอดแบบ , วิธีการบ่ม , ปริมาณการดูดซึมน้ำของชานอ้อย และ ปริมาณชานอ้อยที่ใช้ผสม

**อัครวิญ น้อยสุวรรณ และคณะ (2548)** ได้เสนอผลการศึกษาคูสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแกลบ ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของคอนกรีตธรรมดา ในด้านกำลังต้านทานแรงอัด หน่วยน้ำหนัก และ ปริมาณการดูดซึมน้ำ โดยออกแบบกำลังอัดประลัยที่ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และใช้ปริมาณแกลบที่ผสมในคอนกรีตมีอัตราส่วนร้อยละ 5,10,20,50 และ 100 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักและกำลังต้านทานแรงอัด มีค่าลดลงเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น แต่ ปริมาณการดูดซึมน้ำ มีค่ามากขึ้น

**รณฤทธิ์ รักรวงษ์ และคณะ (2548)** ได้เสนอผลการศึกษาเรื่องอิทธิพลของผงอะลูมิเนียมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง โดยใช้ปริมาณผงอะลูมิเนียมต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักตั้งแต่ 0-0.1 % และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักตั้งแต่ 0-2.5 ได้ว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเบาจะแปรผกผันกับปริมาณผงอะลูมิเนียม, อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะแปรผกผันตรงกับอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ ความหนาแน่นของคอนกรีตเบาจะแปรผกผันกับปริมาณผงอะลูมิเนียม , อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะแปรผกผันตรงกับอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ อัตราการซึมน้ำของคอนกรีตเบาจะแปรผกผันกับปริมาณผงอะลูมิเนียม , อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะแปรผกผันตรงกับอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบครั้งนี้ โดยพิจารณาจาก กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพูน คือ ใช้ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1 มีคุณสมบัติดังนี้ กำลังรับแรงอัด 211.9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่น 1,774 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 13.43% และที่ใช้ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 2 มีคุณสมบัติดังนี้ กำลังรับแรงอัด 204.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่น 1,771.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 13.05%

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 3.1. การผสมสารเพิ่มฟองอากาศกับซีเมนต์เพสต์เพื่อหาค่าดึงและความหนาแน่น

##### 3.1.1. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

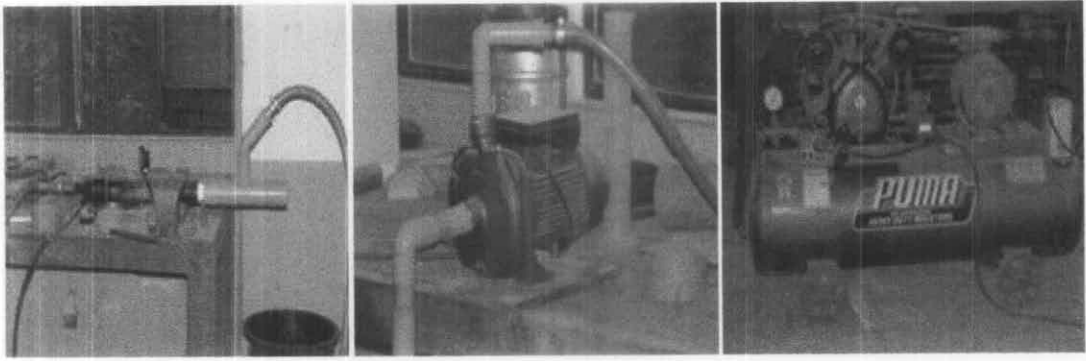
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. น้ำ
3. สารเพิ่มฟองอากาศเลือกใช้ตัวอย่างนางง 4 ตัวอย่าง ได้แก่
  - GRACE AE4
  - NEO-POR
  - LCM - PROTEIN BASE
  - LCM - SYNTHETIC BASE
4. แบบหล่อขนาด 5cm.×5cm.×5cm. และแบบหล่อขนาด 10cm.×10cm.×10cm.
5. เครื่องไม้
6. เครื่องฉีดสารเพิ่มฟองอากาศ
7. เครื่องชั่ง
8. กระบอกลงปริมาตร 1 litre
9. คู่มือ

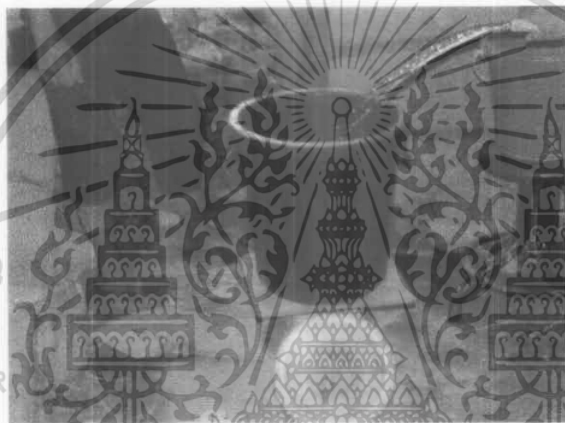


รูปที่ 3.1. เครื่องไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2. เครื่องฉีดสารเพิ่มฟองอากาศ

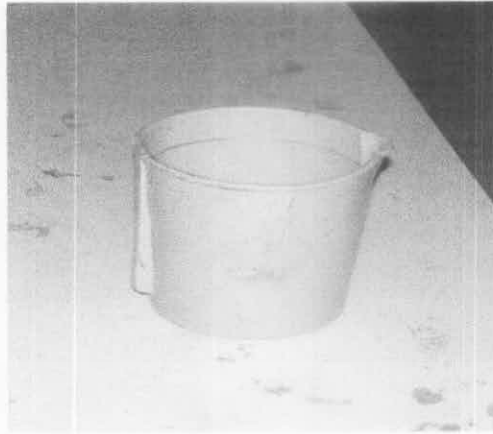


รูปที่ 3.3. การเตรียมสารเพิ่มฟองอากาศ



รูปที่ 3.4. ฟองอากาศที่ใช้ในการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5. กระบอกตวงปริมาตร 1 ลิตร

### 3.1.2. วิธีการดำเนินงาน

ได้ดังนี้

1. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ สารเพิ่มพองอากาศ โดยแบ่งเป็นกรณีต่างๆ

ที่ w/c 0.3

- GRACE AE4 ความเข้มข้น 1 : 40
- NEO-POR ความเข้มข้น 1 : 100
- LCM – PROTEIN BASE ความเข้มข้น 1 : 30
- LCM – SYNTHETIC BASE ความเข้มข้น 1 : 50

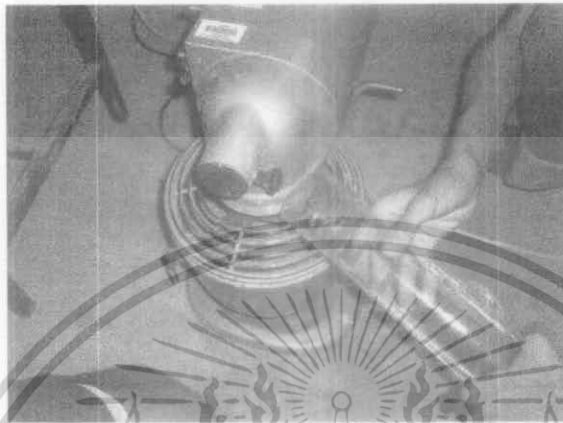
ที่ w/c 0.4

- GRACE AE4 ความเข้มข้น 1 : 40
- NEO-POR ความเข้มข้น 1 : 100
- LCM – PROTEIN BASE ความเข้มข้น 1 : 30
- LCM – SYNTHETIC BASE ความเข้มข้น 1 : 50

2. ผสมน้ำกับปูนซีเมนต์ในไม้ โดยแบ่งน้ำที่ใช้เดิมออกเป็น 2 ส่วน โดยเติมน้ำส่วนแรกลงไป 2/3 ของทั้งหมด ปั่นรวมกันประมาณ 1 นาที จากนั้นจึงทำการผสมน้ำส่วนที่เหลือ โดยที่ในแต่ละกรณีนั้นจะทำการผสมสารเพิ่มพองอากาศที่ได้จากน้ำยาแต่ละตัวลงในส่วนผสม โดยก่อนที่จะผสมสารเพิ่มพองอากาศลงไปนั้น ต้องทำการชั่งน้ำหนักสารเพิ่มพองอากาศเสียก่อนเพราะสารเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟองอากาศแต่ละตัวนั้นมีช่วงน้ำหนักที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ผสมไม่เท่ากัน นำสารเพิ่มฟองอากาศที่ได้มาทำการผสมในไม่จนกว่าสารเพิ่มฟองอากาศและซีเมนต์เพสต์จะเข้ากันดี แต่ไม่ควรใช้เวลาในการผสมเกิน 5 นาที



รูปที่ 3.6. การเติมน้ำขณะทำการผสม

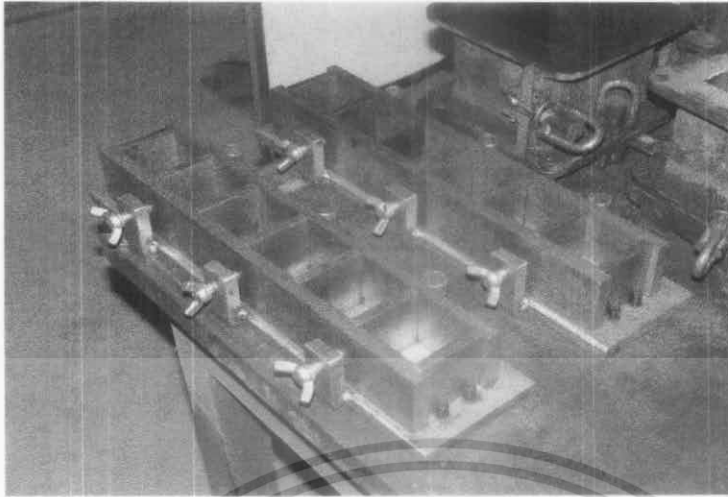


รูปที่ 3.7. ซีเมนต์เพสต์ที่ได้หลังจากการผสมด้วยฟองอากาศ

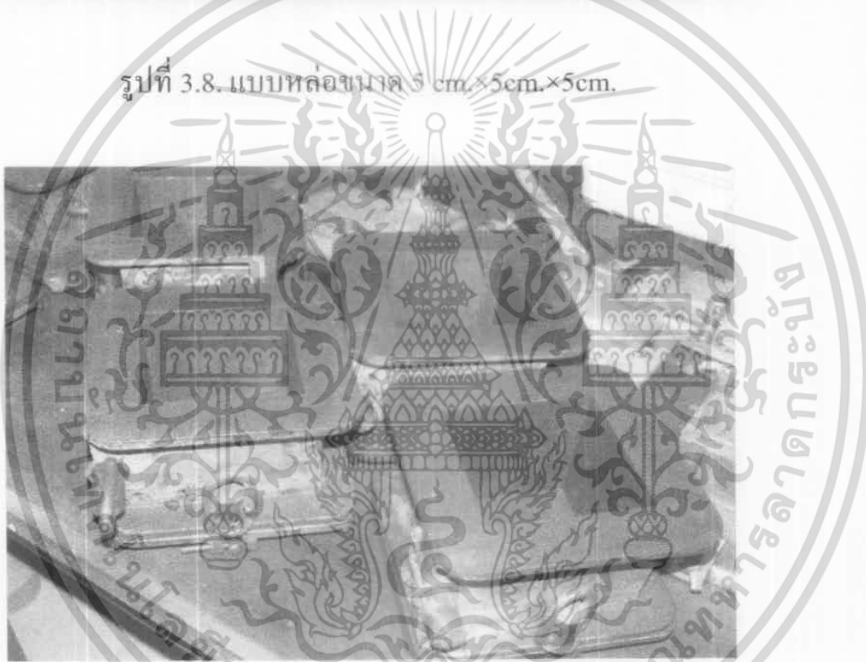
3. เทซีเมนต์เพสต์ที่ได้ลงในแบบหล่อขนาด 5cm.×5cm.×5cm. ในแต่ละกรณีใช้ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบกำลังอัดที่ 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน และเทลงในแบบหล่อขนาด10cm.×10cm.×10cm. ในแต่ละกรณีจะใช้ 1 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบกำลังอัดที่ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.8. แบบหล่อขนาด 5 cm.×5cm.×5cm.

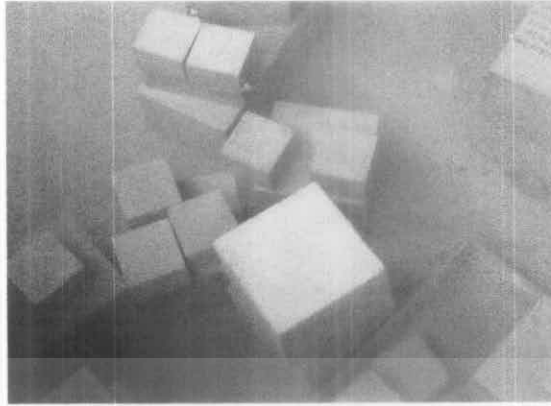


รูปที่ 3.9. แบบหล่อขนาด 10cm.×10cm.×10cm.

4. จากนั้นทำการแกะแบบเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์เข้าแบบได้ดีขึ้น จากนั้นปาดแต่งผิวหน้าด้วยเกรียงให้เรียบร้อย
5. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วจึงทำการแกะแบบ วัดขนาดและชั่งน้ำหนักเสียก่อน จากนั้นจึงนำไปบ่มน้ำ

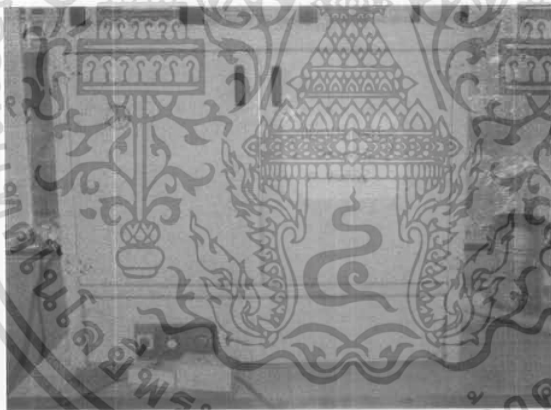
72196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10. การบ่มตัวอย่างด้วยน้ำ

6. เมื่อแท่งตัวอย่างมีอายุครบตามกำหนดแล้วให้นำน้ำแท่งตัวอย่างขึ้นจากน้ำ แล้วนำแท่งตัวอย่างไปอบให้น้ำระเหยออกไป โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักแท่งตัวอย่าง แล้วจึงทำการทดสอบแท่งตัวอย่าง



รูปที่ 3.11. ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12. การทดสอบแท่งตัวอย่าง



รูปที่ 3.13. แท่งตัวอย่างที่ทำการทดสอบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2. การผสมสารเพิ่มฟองอากาศกับมอร์ต้าเพื่อหาค่าดึงและความหนาแน่น

#### 3.2.1. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. น้ำ
3. ทรายละเอียด
4. สารเพิ่มฟองอากาศ เลือกใช้ตัวอย่างน้ำยา 4 ตัวอย่าง ได้แก่
  - GRACE AE4
  - NEO-POR
  - LCM – PROTEIN BASE
  - LCM – SYNTHETIC BASE
5. แบบหล่อขนาด 5cm.×5cm.×5cm. และแบบหล่อขนาด 10cm.×10cm.×10cm.
6. เครื่องไม้
7. เครื่องฉีดสารเพิ่มฟองอากาศ
8. เครื่องชั่ง
9. กระบอกตวงปริมาตร 1 litre
10. ตู้อบ

#### 3.2.2. วิธีการดำเนินงาน

1. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ สารเพิ่มฟองอากาศ โดยแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

ที่ w/c 0.4

- GRACE AE4 ความเข้มข้น 1 : 40
- NEO-POR ความเข้มข้น 1 : 100
- LCM – PROTEIN BASE ความเข้มข้น 1 : 30
- LCM – SYNTHETIC BASE ความเข้มข้น 1 : 50



รูปที่ 3.14. เตรียมตัวอย่างทรายที่ใช้ในการผสม



รูปที่ 3.15. โมที่ใช้ในการผสมมอร์ต้า

2. ผสมปูนซีเมนต์กับทรายในโมแล้วทำการป็นให้เข้ากัน จากนั้นจึงผสมน้ำกับปูนซีเมนต์และทรายในโม โดยแบ่งน้ำที่ใช้เติมออกเป็น 2 ส่วน โดยเติมน้ำส่วนแรกลงไป  $\frac{2}{3}$  ของทั้งหมด ป็นรวมกันประมาณ 1 นาที จากนั้นจึงทำการผสมน้ำส่วนที่เหลือ โดยทีในแต่ละกรณีนั้นจะทำการผสมสารเพิ่มฟองอากาศที่ได้จากน้ำยาแต่ละตัวลงในส่วนผสม โดยก่อนทำการผสมต้องชั่งน้ำหนักสารเพิ่มฟองอากาศทุกครั้ง จากนั้นนำสารเพิ่มฟองอากาศที่ได้ผสมในโมจนกว่าสารเพิ่มฟองอากาศและมอร์ต้าจะเข้ากันดี แต่ไม่ควรใช้เวลาในการผสมเกิน 5 นาที

3. เทมอร์ต้าที่ได้ลงในแบบหล่อขนาด 5cm.×5cm.×5cm. ในแต่ละกรณีใช้ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง เพื่อใช้ทำการทดสอบกำลังอัดที่ 3 วัน, 7 วัน และ 28 วัน และเทลงในแบบหล่อขนาด 10cm.×10cm.×10cm. ในแต่ละกรณีจะใช้ 3 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบกำลังอัดที่ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นทำการแกะแบบเพื่อให้ออร์ต้าเข้าแบบได้ดีขึ้น จากนั้นปาดแต่งผิวหน้าด้วย  
เกรียงให้เรียบร้อย

5. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วจึงทำการแกะแบบ วัดขนาดและชั่งน้ำหนักเสียก่อน จากนั้นจึง  
นำไปป่นน้ำ

6. นำเมื่อแห้งตัวอย่างมีอายุครบตามกำหนดแล้วนั้นให้นำแห้งตัวอย่างขึ้นจากน้ำ แล้ว  
นำแห้งตัวอย่างไปอบให้น้ำระเหยออกไป โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 3  
ชั่วโมง ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักแห้งตัวอย่าง แล้วจึงทำการกดแห้งตัวอย่าง

### 3.3. การทดลองการยึดหดตัว Autogeneous Shrinkage

#### 3.3.1. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีดังนี้

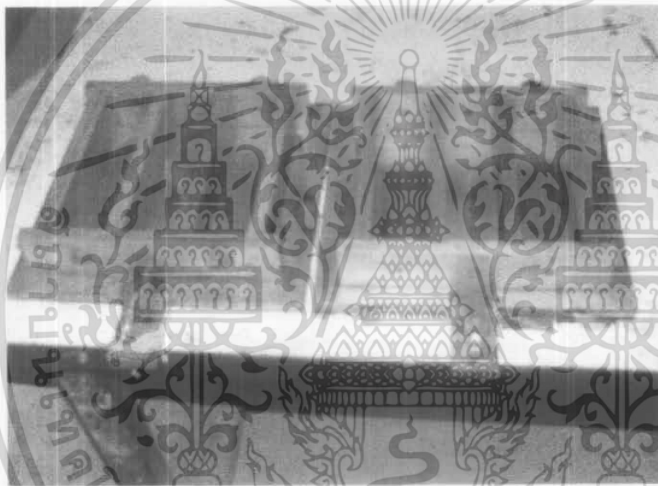
- 1.ซีเมนต์
- 2.น้ำ
- 3.ทรายละเอียด
- 4.สารเพิ่มฟองอากาศ เลือกใช้น้ำยา 4 ตัวอย่าง ได้แก่
  - GRACE AE4
  - NEO-POR
  - LCM-PROTIN BASE
  - LCM-SYNHETIC BASE
- 5.แบบหล่อขนาด 5cm.×5cm.×5cm.และแบบหล่อขนาด 10cm.×10cm.×10cm.
- 6.เครื่องไม้
- 7.เครื่องฉีดสารเพิ่มฟองอากาศ
- 8.เครื่องชั่ง
- 9.กระบอกตวงปริมาตร 1 litre
- 10.คู่มือ

### 3.3.2. วิธีการดำเนินงาน

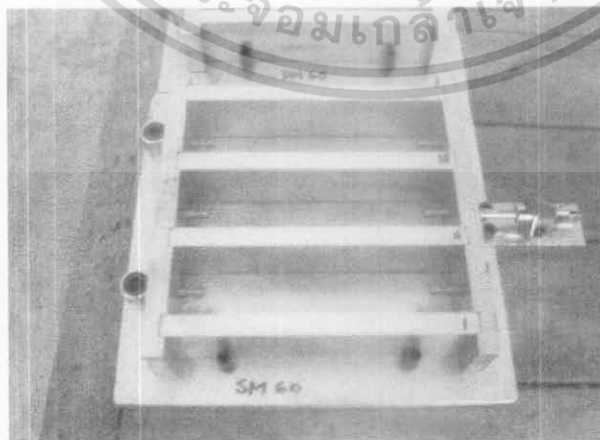
1. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ สารเพิ่มฟองอากาศ โดยแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

ที่ w/c 0.4

- GRACE AE4 ความเข้มข้น 1 : 40
- NEO-POR ความเข้มข้น 1 : 100
- LCM – PROTEIN BASE ความเข้มข้น 1 : 30
- LCM – SYNTHETIC BASE ความเข้มข้น 1 : 50

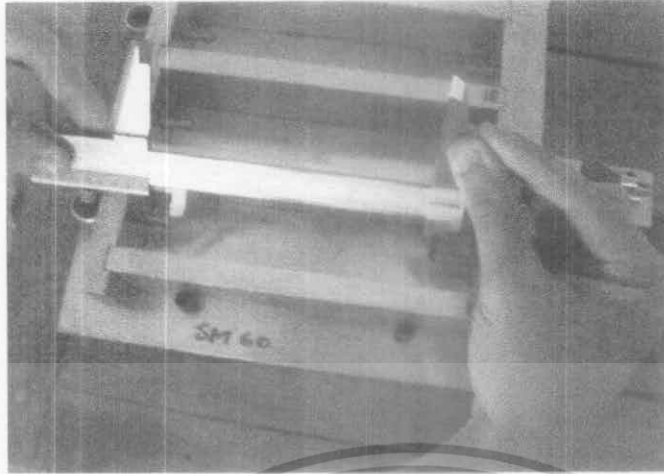


รูปที่ 3.16. แบบหล่อขนาด 4cm. x 4cm. x 16cm.



รูปที่ 3.17. การติดตั้ง gauge plug ภายในแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



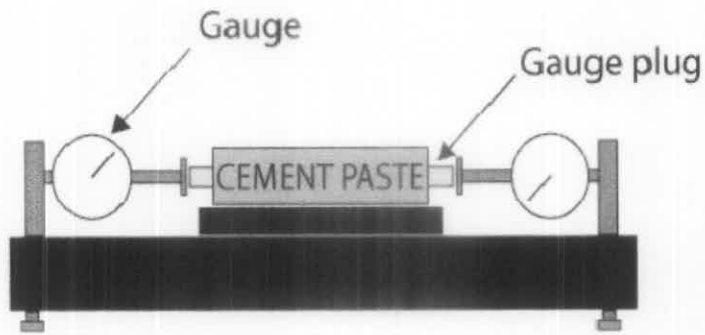
รูปที่ 3.18. ทำการวัดระยะภายใน gauge plug

2. จัดเตรียมแบบหล่อโดยทาน้ำมันแบบหล่อ แล้วใส่ gauge plug ลงในแบบ และวัดระยะภายใน gauge plug
3. ผสมวัสดุต่างๆ ที่ทำการทดลอง เทมอร์ต่ำลงในแบบหล่อ 4cm×4cm×16cm.
4. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการแค่น้ำและทำการวัดระยะเป็นค่าเริ่มต้น แล้วจึงนำแท่งตัวอย่างไปบ่มน้ำและนำแท่งตัวอย่างขึ้นน้ำหนักมวลทุกวันจนครบอายุ 28 วัน



รูปที่ 3.19. เครื่องมือวัด Autogeneous Shrinkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20. แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือวัด Autogeneous Shrinkage



รูปที่ 3.21. ชิ้นงานภายหลังจากถอดแบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4. การทดลองเปรียบเทียบขนาดตัวอย่าง 5×5×5 และขนาด 10×10×10

#### 3.4.1. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. ทรายละเอียด
3. น้ำ
4. สารเพิ่มฟองอากาศ เลือกใช้ 4 ตัวอย่าง ได้แก่
  - GRACE AE4
  - NEO-POR
  - LCM-SYNTHETIC BASE
  - LCM-PROTEIN BASE
5. แบบหล่อขนาด 5cm.×5cm.×5cm. และขนาด 10cm.×10cm.×10cm.
6. เครื่องไม้
7. เครื่องฉีดสารเพิ่มฟองอากาศ
8. เครื่องชั่ง
9. กระบอกตวงปริมาตร 1 litre
10. ตู้อบ

#### 3.4.2. วิธีการดำเนินการทดลอง

1. หล่อมอร์ต้าทั้งขนาด 5cm.×5cm.×5cm. และขนาด 10cm.×10cm.×10cm.
2. ทำการเปรียบเทียบทั้งกำลังและความหนาแน่นว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงไร

### 3.5. การทดลองหาอัตราการดูดซึม

#### 3.5.1. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

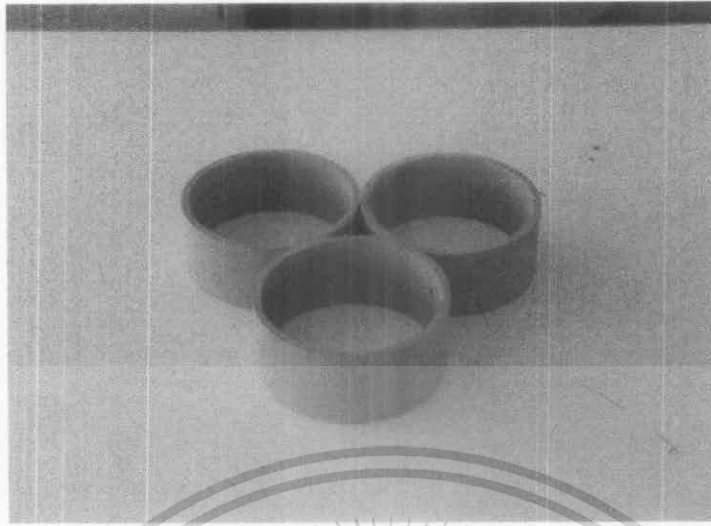
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

- 1.ซีเมนต์
- 2.ทรายละเอียด
- 3.น้ำ
- 4.สารเพิ่มฟองอากาศ
- 5.แบบหล่อ
- 6.เครื่องไม้
- 7.เครื่องฉีดสารเพิ่มฟองอากาศ
- 8.เตาอบ
- 9.เครื่องชั่ง
- 10.กระบอกตวงปริมาตร 1 litre

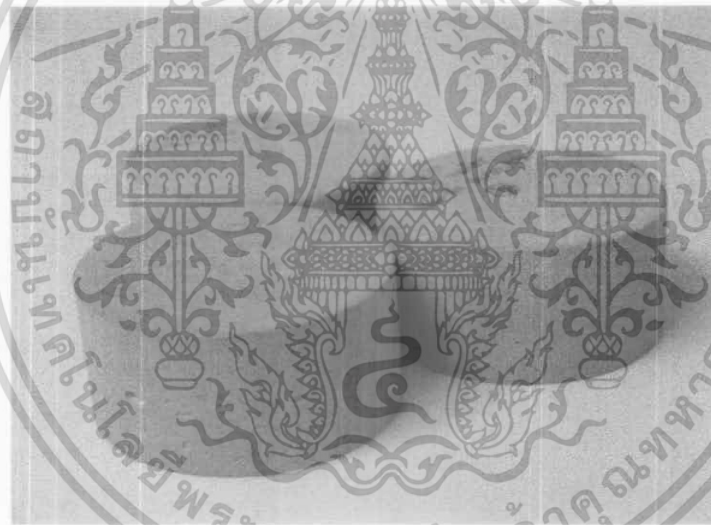
#### 3.5.2. วิธีการทดลอง

นำแท่งตัวอย่างไปทำการอบที่อุณหภูมิ 100 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำแท่งตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักทำการบันทึกค่า นำแท่งตัวอย่างแช่ในน้ำสะอาดเมื่อครบกำหนดให้นำขึ้นจากน้ำ ทำการชั่งน้ำหนักที่ผิวออกแล้วทำการชั่งน้ำหนักจذبบันทึกค่า คำนวณหาอัตราการดูดซึ้มดังสมการ

$$\text{อัตราการดูดซึ้มน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังบ่มน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนบ่มน้ำ}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนบ่มน้ำ}}$$



รูปที่ 3.22. แบบหล่อสำหรับทศองหาอีตราการคูคซิม



รูปที่ 3.23. แท่งตัวอย่างสำหรับทศองหาอีตราการคูคซิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6. การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างนี้จะแสดงจำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองและจำนวนแบบหล่อที่ใช้ในการหล่อชิ้นงาน โดยในการทดลองนั้นได้มีการใช้สารเพิ่มฟองอากาศในการทดลอง 4 ตัวเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวชิ้นงานที่ได้ผสมสารเพิ่มฟองอากาศแต่ละตัว โดยกำหนดให้ผสมสารเพิ่มฟองอากาศเข้ากับตัวอย่างโดยให้หน่วยน้ำหนักของตัวชิ้นงานลดลงมาอยู่ในช่วงพิจารณา  $1400 \text{ kg/m}^3 - 1800 \text{ kg/m}^3$  อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ในการทดลองนี้เลือกใช้ที่ 1:1 โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นหัวข้อต่างๆดังนี้

#### 3.6.1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์

การทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเพิ่มฟองอากาศกับหน่วยน้ำหนักที่ลดลงของซีเมนต์เพสต์ และความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.3 และ 0.4 หน่วยน้ำหนักที่พิจารณาอยู่ในระหว่างช่วง  $1400 \text{ kg/m}^3$  ถึง  $1800 \text{ kg/m}^3$  สารเพิ่มฟองอากาศที่ใช้มี 4 ตัวอย่าง แบบหล่อที่ใช้ในการทดลองขนาด  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ . และขนาด  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ . ภายหลังจากที่ได้ถอดแบบแล้วนั้นเก็บตัวอย่างด้วยการบ่มน้ำเป็นเวลา 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน จำนวนตัวอย่างชิ้นงานตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1.ดังนี้

ตารางที่ 3.1.ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์

w/c	Foaming Agent	Size of sample	Sample		
			3 Day	7 Day	28 Day
0.3	GRACE AE4	5×5×5	12	12	24
		10×10×10	0	0	4
	NEO-POR	5×5×5	12	12	24
		10×10×10	0	0	4
	LCM-SYNTHETIC BASE	5×5×5	12	12	24
		10×10×10	0	0	4
LCM-PROTEIN BASE	5×5×5	12	12	24	
	10×10×10	0	0	4	
0.4	GRACE AE4	5×5×5	12	12	24
		10×10×10	0	0	4
	NEO-POR	5×5×5	12	12	24
		10×10×10	0	0	4
	LCM-SYNTHETIC BASE	5×5×5	12	12	24
		10×10×10	0	0	4
	LCM-PROTEIN BASE	5×5×5	12	12	24
		10×10×10	0	0	4

### 3.6.2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

การทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเพิ่มฟองอากาศกับหน่วยน้ำหนักที่ลดลงของมอร์ต้า และความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ w/c 0.3 และ 0.4 หน่วยน้ำหนักที่พิจารณาอยู่ในระหว่างช่วง 1400 kg/m<sup>3</sup> ถึง 1800 kg/m<sup>3</sup> สารเพิ่มฟองอากาศที่ใช้มี 4 ตัวอย่าง แบบหล่อที่ใช้ในการทดลองขนาด 5×5×5 cm. และขนาด

10×10×10 cm. ภายหลังจากที่ได้ถอดแบบแล้วนั้นเก็บตัวอย่างด้วยการบ่มน้ำเป็นเวลา 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน จำนวนตัวอย่างชิ้นงานตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2. ดังนี้

ตารางที่ 3.2.ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

w/c	Sand/Cement	Foam Agent	Size of sample	Sample		
				3 Day	7 Day	28 Day
0.3	1	GRACE AE4	5×5×5	12	12	24
			10×10×10	0	0	12
		NEO-POR	5×5×5	12	12	24
			10×10×10	0	0	12
		LCM-SYNTHETIC BASE	5×5×5	12	12	24
			10×10×10	0	0	12
LCM-PROTEIIN BASE	5×5×5	12	12	24		
	10×10×10	0	0	12		
0.4	1	GRACE AE4	5×5×5	12	12	24
			10×10×10	0	0	12
		NEO-POR	5×5×5	12	12	24
			10×10×10	0	0	12
		LCM-SYNTHETIC BASE	5×5×5	12	12	24
			10×10×10	0	0	12
		LCM-PROTEIIN BASE	5×5×5	12	12	24
			10×10×10	0	0	12

### 3.6.3. การทดสอบหาอัตราการดูดซึม

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมกับหน่วยน้ำหนัก w/c และปริมาณทราย โดยทำการทดสอบครั้งนี้เลือกทำที่จะการทดสอบหาอัตราการดูดซึมของมอร์ต้า และใช้ขนาดของตัวอย่างทดสอบ คือ

ตารางที่ 3.3. ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหาอัตราการดูดซึม

w/c	Sand/Cement	Foam Agent	Sample
0.4	1	GRACE AE4	12
		NEO-POR	12
		LCM-SYNTHETIC BASE	12
		LCM-PROTEIN BASE	12

### 3.6.4. การทดสอบการยืหดตัว (Autogeneous Shrinkage)

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาการยืหดตัวโดยการป้อนด้วยน้ำ มีจำนวนชิ้นตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.4 แบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบ คือ แบบหล่อขนาด 4cm. × 4cm. × 16cm. ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยจะมีการติดตั้ง gauge plug 2 ตัวที่ด้านหัวและค้ำท้ายตัวอย่าง (ดูรูปที่ 3.17) เพื่อใช้เป็นจุดในการวัดการยืหดตัว และก่อนทำการหล่อตัวอย่างจะทำการวัดความยาวภายในระหว่าง gauge plug ทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ในการทดสอบจะทำการวัดการยืหดตัวหลังการป้อน และที่ระยะเวลา 3 วัน , 7 วัน และ 28 วัน

ตารางที่ 3.4. แสดงจำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการยึดหดตัว

w/c	Sand/Cement	Foam Agent	Curing Type	Number of sample
0.4	1	GRACE AE4	water	12
		NEO-POR		12
		LCM-SYNTHETIC BASE		12
		LCM-PROTEIN BASE		12

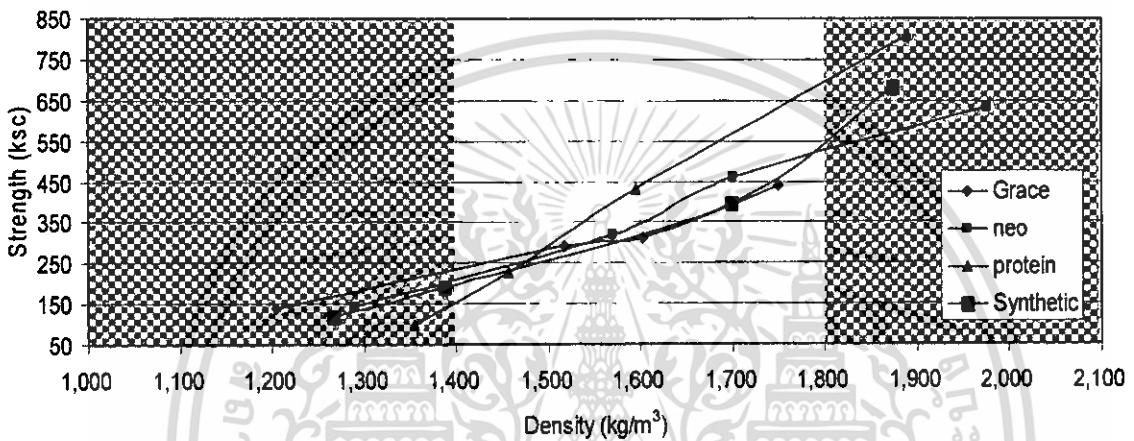


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

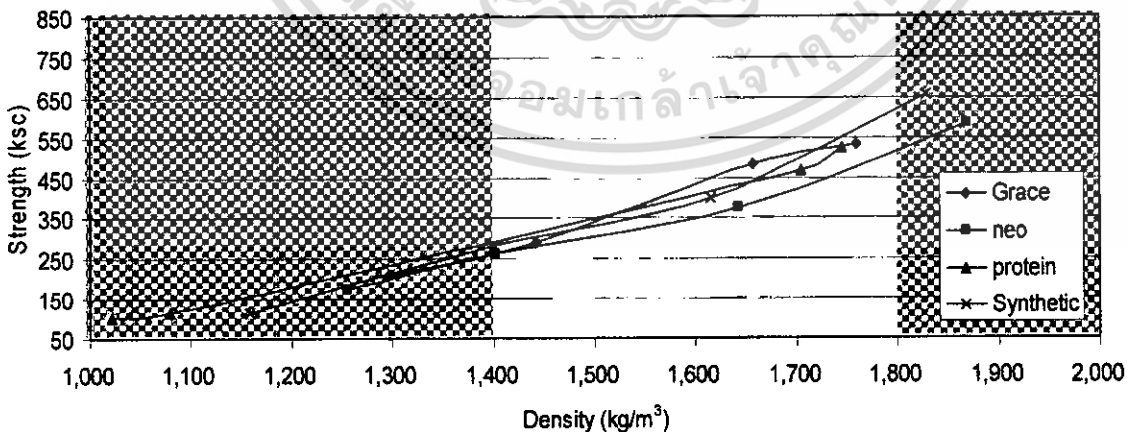
# บทที่ 4

## ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

### 4.1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์พิเศษ



รูปที่ 4.1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับความหนาแน่นซีเมนต์พิเศษอายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30

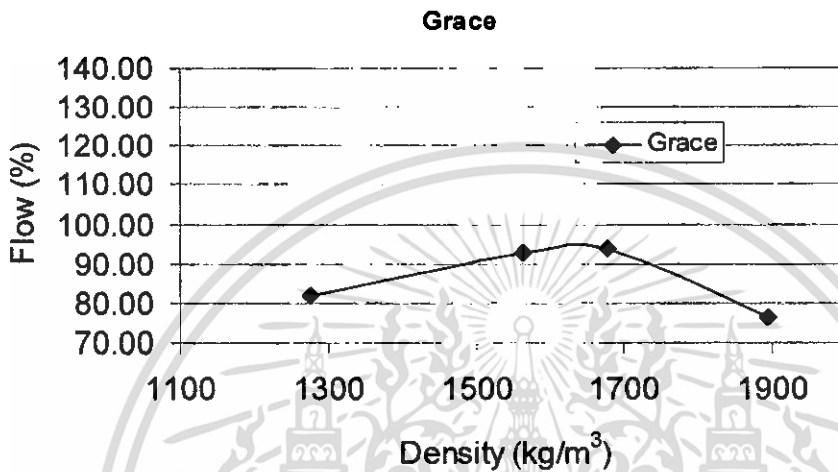


รูปที่ 4.2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับความหนาแน่นของซีเมนต์พิเศษอายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40

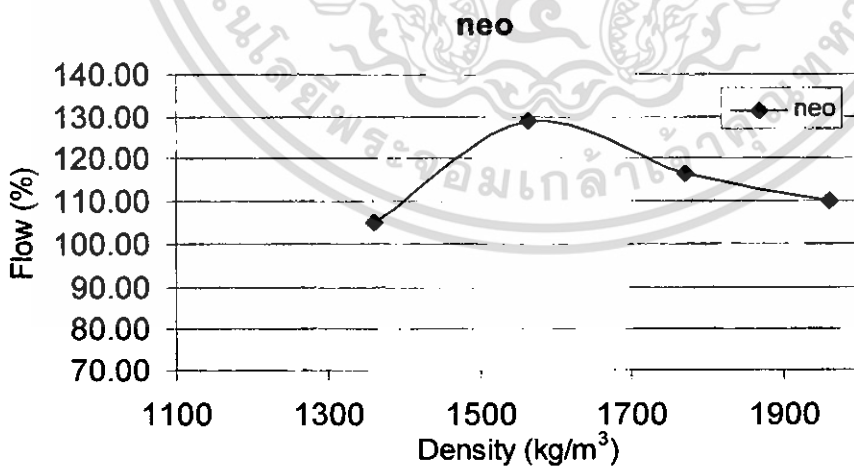
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับกำลังอัดที่ได้พบว่ากำลังอัดจะแปรผันตามความหนาแน่น

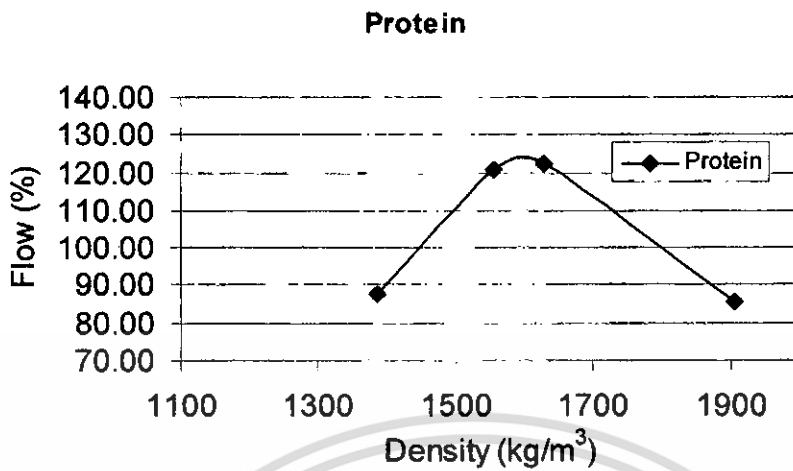
#### 4.2. การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์เพสต์



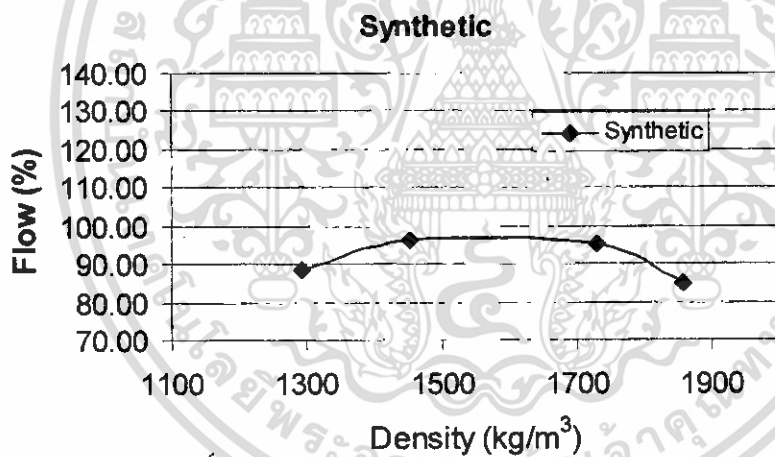
รูปที่ 4.3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.30 (Grace)



รูปที่ 4.4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 (Neo-Por)

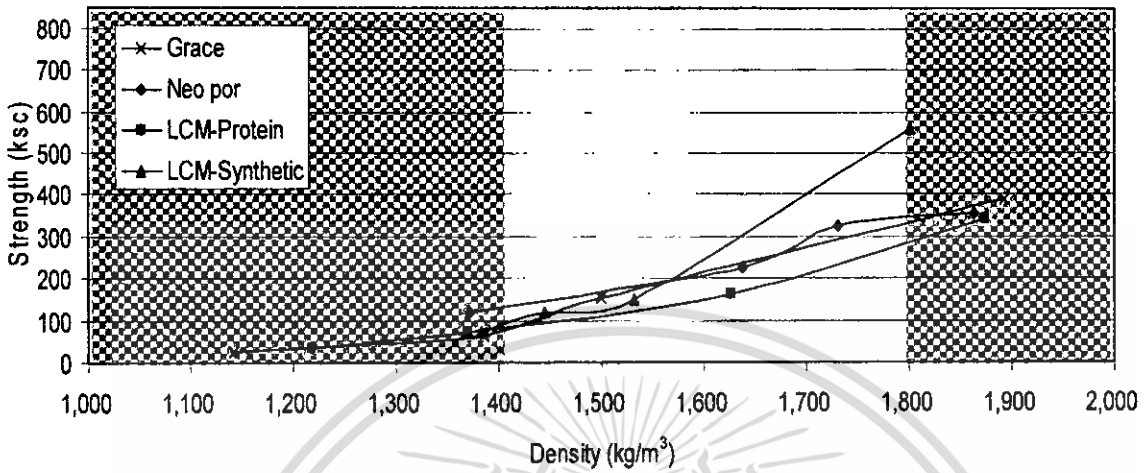


รูปที่ 4.5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่น  
ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 (LCM – Protein)



รูปที่ 4.6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่น  
ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 (LCM – Synthetic)

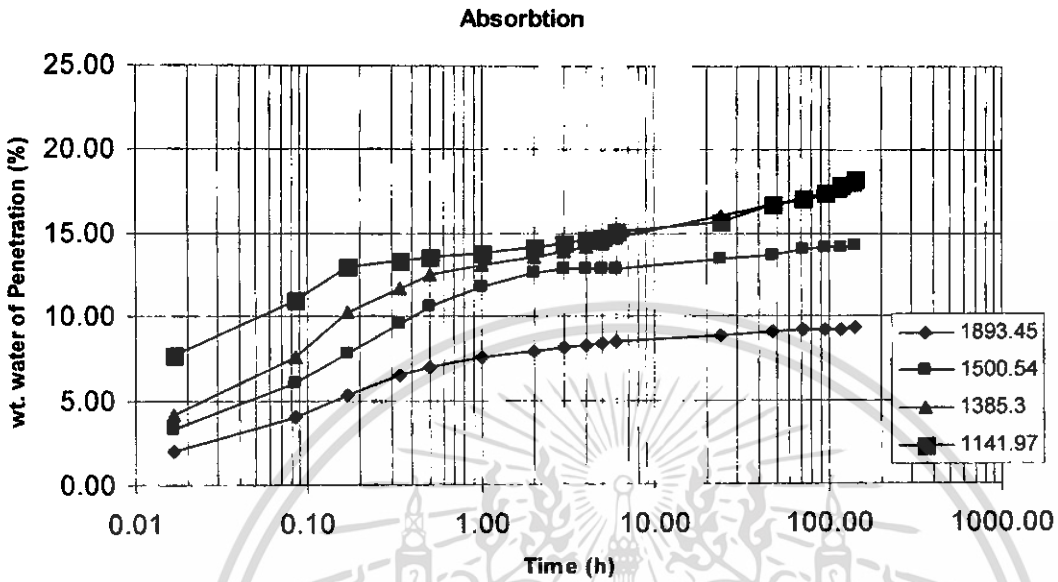
### 4.3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า



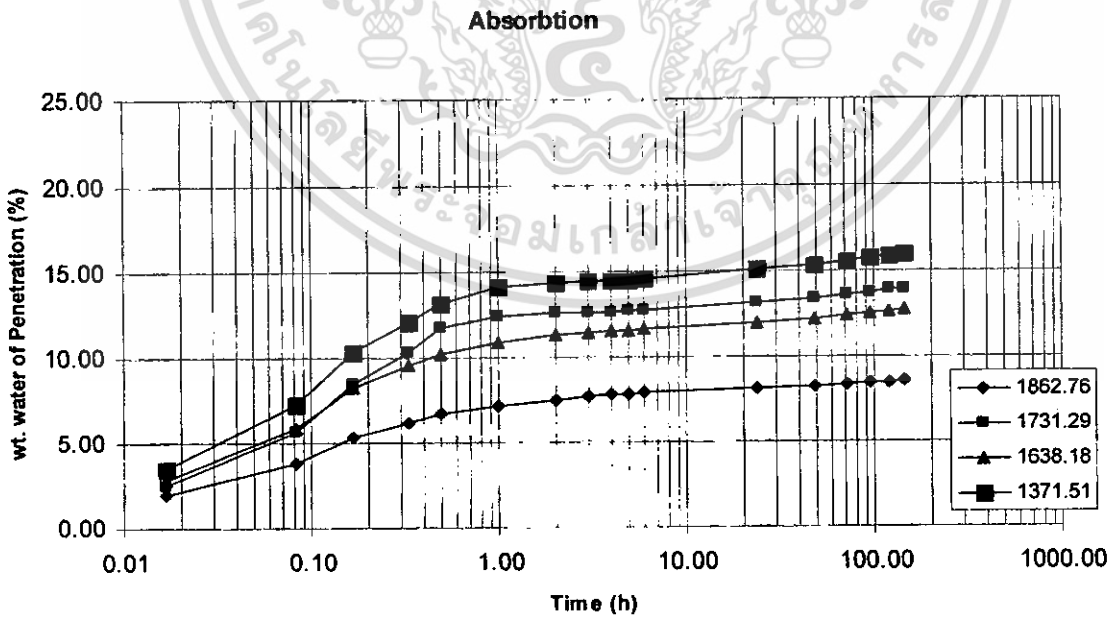
รูปที่ 4.7. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับความหนาแน่นของมอร์ต้าอายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40

จากกราฟข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับกำลังอัดที่ได้พบว่ากำลังอัดจะแปรผันตามความหนาแน่น ค่ากำลังอัดของ LCM-Synthetic ที่ 28 วันมีค่ามากที่สุด และค่ากำลังอัดของการใช้น้ำยา Grace , LCM-Protein , Neo- Por มีค่าใกล้เคียงกัน

#### 4.4. การทดสอบหาการดูดซึ่มของมอร์ต้า



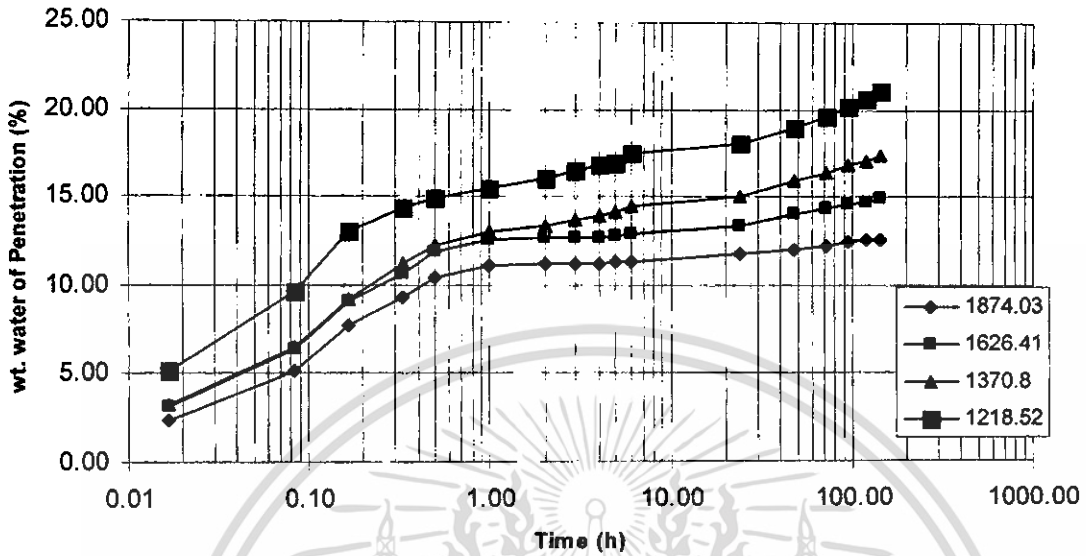
รูปที่ 4.8. แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึ่มของมอร์ต้าผสมพองอากาศที่ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้น้ำยา Grace



รูปที่ 4.9. แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึ่มของมอร์ต้าผสมพองอากาศที่ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้น้ำยา Neo-Por

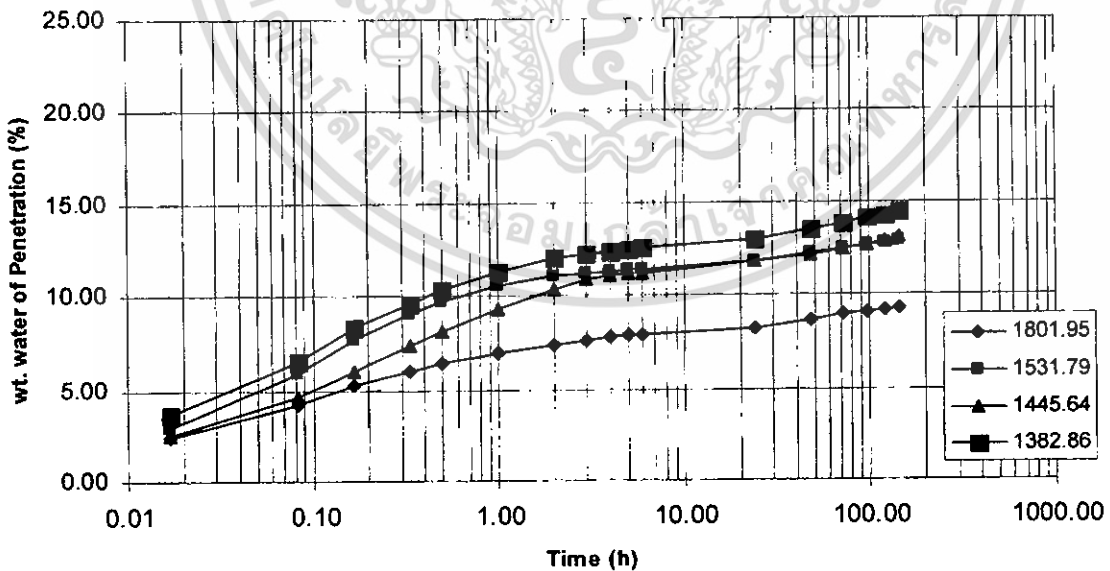
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absorbion



รูปที่ 4.10. แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของมอร์ต้าผสมฟองอากาศที่ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้ น้ำยา LCM - Protein

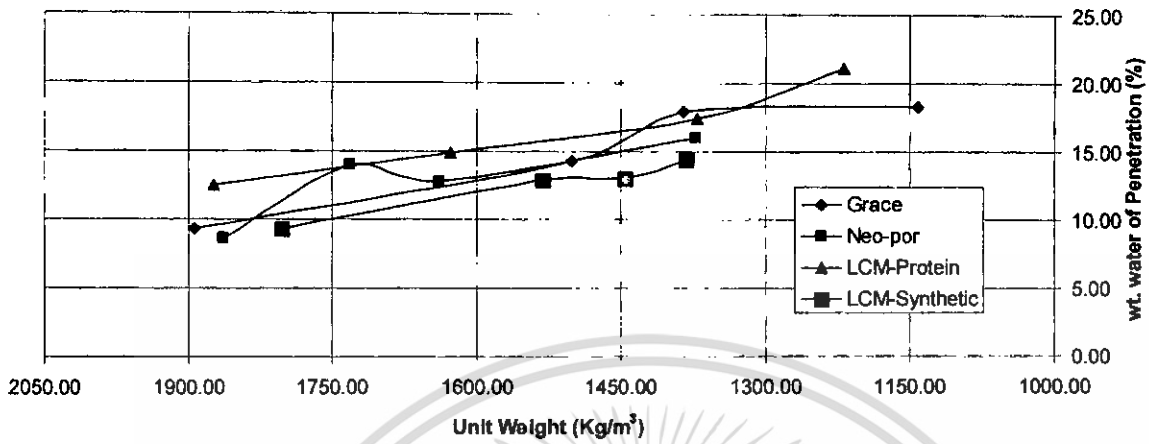
### Absorbion



รูปที่ 4.11. แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของมอร์ต้าผสมฟองอากาศที่ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้ น้ำยา LCM - Synthetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

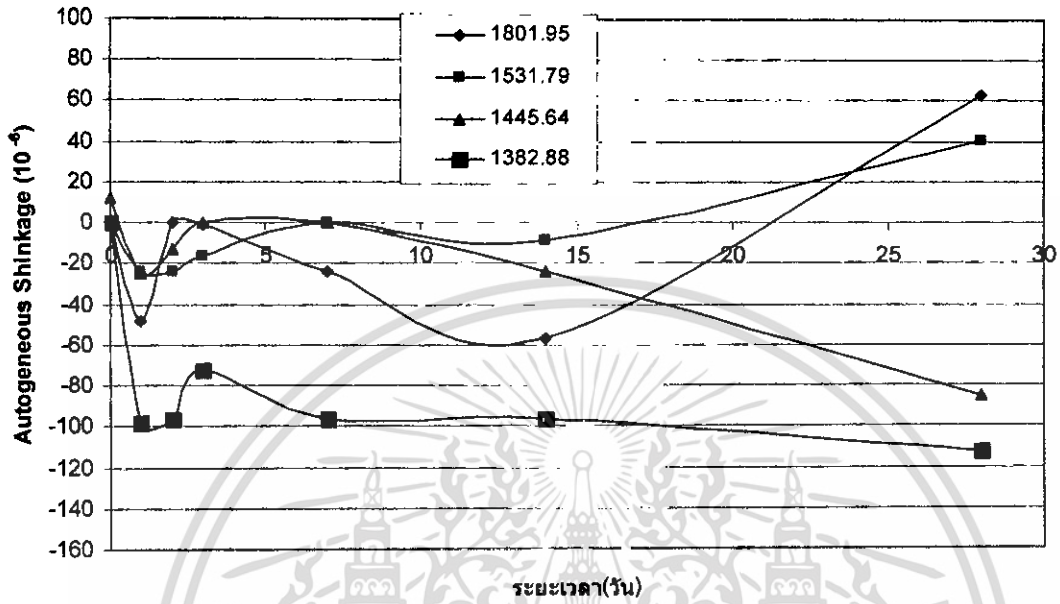
### Absorbtion



รูปที่ 4.12. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.40

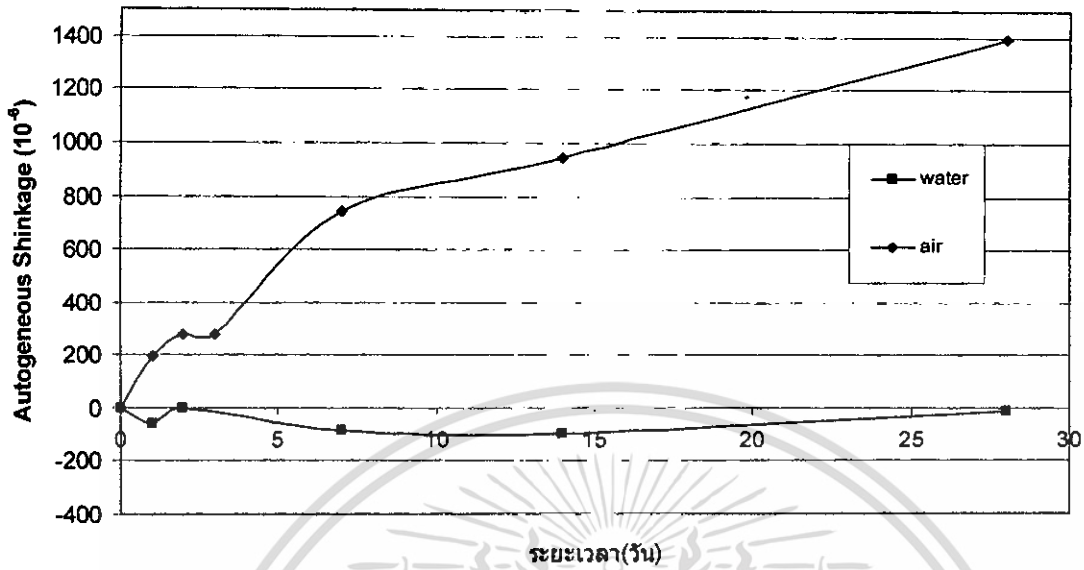
จากกราฟการหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ได้พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ได้จะแปรผกผันกับความหนาแน่น และเมื่อเปรียบเทียบน้ำยาทั้งหมดพบว่า มวลเบาน้ำยา LCM - Protein จะมีการดูดซึมน้ำที่มากกว่า มวลเบาน้ำยาที่ผสมด้วยน้ำยา Grace , Neo-Por , LCM-Synthetic

#### 4.5. การทดสอบหาการยึดหดตัวของมอร์ต้า



รูปที่ 4.13. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึดหดตัวกับระยะเวลาที่ความหนาแน่นต่างๆ กับของน้ำด้วยอย่าง LCM-Synthetic

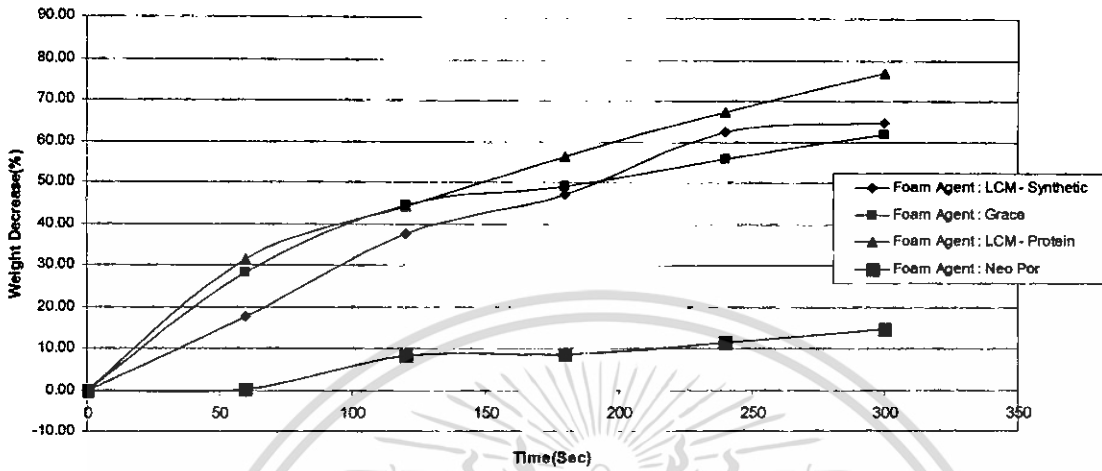
จากกราฟหาเปอร์เซ็นต์การยึดหดตัวพบว่าเมื่อคอนกรีตเบาที่มีความหนาแน่นลดลงจะเกิดการยึดตัวขึ้นอย่างมากเนื่องจากน้ำสามารถซึมผ่านไปทำปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า



รูปที่ 4.14. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การหดตัวกับระยะเวลาที่การบ่มที่ต่างกัน ระหว่างการบ่มในอากาศกับบ่มในน้ำ

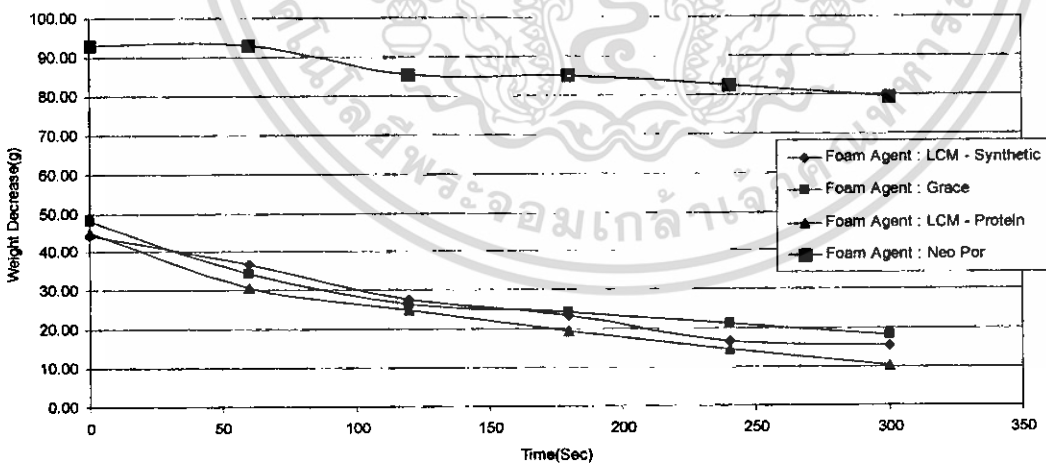
จากกราฟหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ได้พบว่า การบ่มในอากาศจะเกิดการหดตัวอย่างต่อเนื่อง แต่การบ่มในน้ำจะเกิดการขยายตัวก่อนในช่วงแรกจากนั้นจะเกิดการหดตัวในช่วงหลัง

#### 4.6. การทดสอบการสลายตัวของฟองอากาศที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4.15. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของน้ำหนักของฟองอากาศต่อเวลา

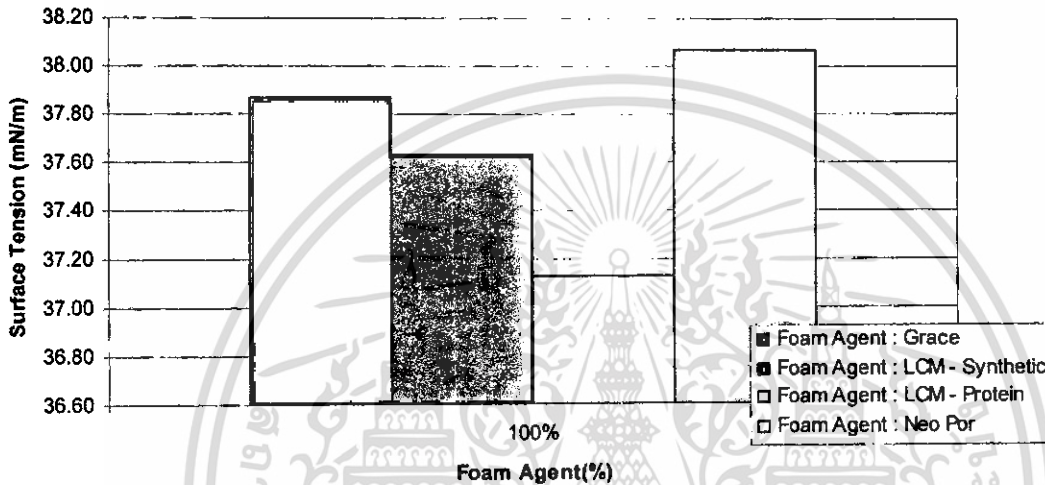
จากกราฟการหาเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของฟองอากาศพบว่าฟองอากาศที่เกิดจากน้ำยาของ Neo-Por มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวที่น้อยเมื่อเทียบกับน้ำยาอีก 3 ชนิด



รูปที่ 4.16. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักฟองอากาศต่อเวลา

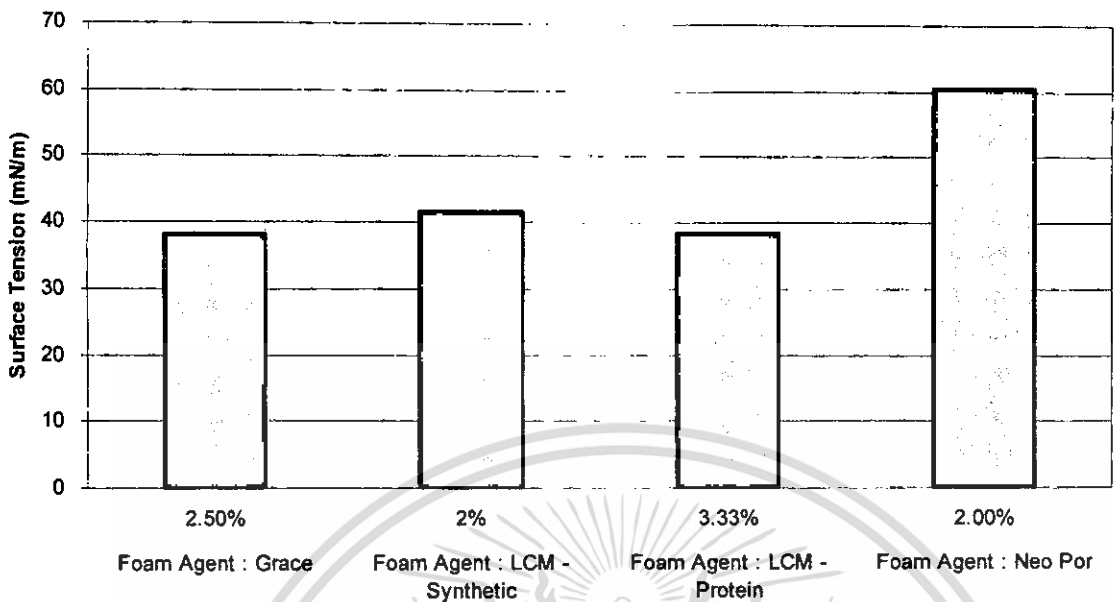
จากกราฟพบว่าฟองอากาศที่เกิดจากน้ำยาของ Neo-Por เมื่อทำการผ่านกระบวนการแล้วจะมีน้ำหนักรวมมากที่สุดแต่การสลายตัวจะน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำยาอีก 3 ชนิด และทั้ง 3 ชนิดที่เหลือจะมีการสลายตัวใกล้เคียงกัน

#### 4.7. การทดสอบแรงตึงผิวของน้ำยา



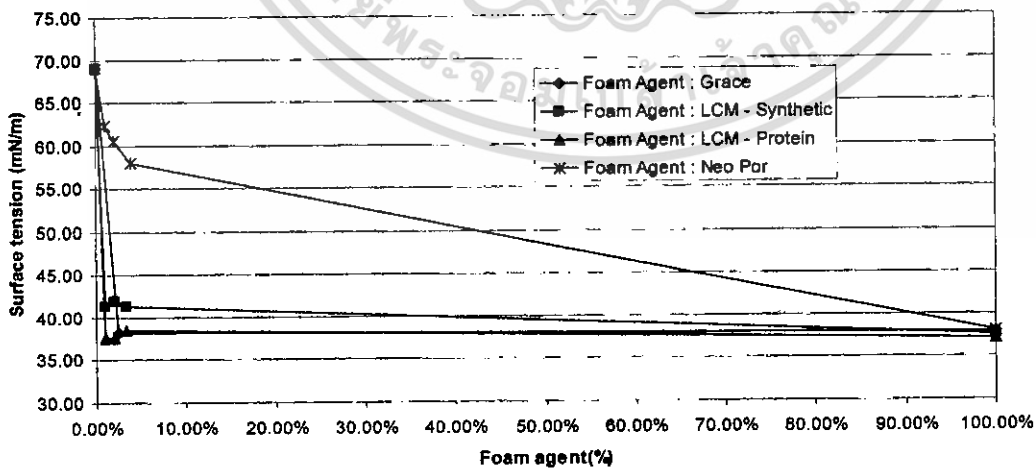
รูปที่ 4.17. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับน้ำยาที่ไม่ได้ผสมน้ำ

จากรูปที่ 4.17. แสดงให้เห็นว่าน้ำยาของ Neo-Por มีค่าแรงตึงผิวใกล้เคียงกับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำยาอีก 3 ชนิด และ น้ำยาของ LCM-Protein ค่าแรงตึงผิวใกล้เคียงกับน้ำน้อยที่สุด



รูปที่ 4.18. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับน้ำยาผสมน้ำของอัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบน้ำยาแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.18. แสดงให้เห็นว่าน้ำยาผสมน้ำของ Neo-Por มีค่าแรงตึงผิวใกล้เคียงกับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำยาทั้ง 4 ชนิด และ น้ำยาของ LCM-Protein และ Grace เมื่อผสมน้ำมีค่าแรงตึงผิวใกล้เคียงกับน้ำน้อยที่สุด



รูปที่ 4.19. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับน้ำยาผสมน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ 4.19. แสดงให้เห็นว่าน้ำยาผสมน้ำของ Neo-Por มีค่าแรงดึงผิวใกล้เคียงกับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำยาทั้ง 4 ชนิด และ น้ำยาของ LCM-Protein และ Grace เมื่อผสมน้ำมีค่าแรงดึงผิวใกล้เคียงกับน้ำน้อยที่สุด

จากแนวโน้มของเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำน้ำยาผสมกับน้ำจะทำให้แรงดึงผิวเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## สรุปผลการศึกษา

### 5.1. กล่าวนำ

จากการศึกษาการใช้ฟองอากาศผสมในคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง โดยใช้ w/c 0.3 , w/c 0.4 และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 1:1 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

### 5.2. การผสมฟองอากาศกับซีเมนต์เพสต์

#### 5.2.1. การหาความหนาแน่นโดยผสมฟองอากาศกับซีเมนต์เพสต์

จากการศึกษาดังที่แสดงในรูปที่ 4.1. จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นจะแปรผันตามกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์อายุ 28 วัน ที่ w/C 0.30 พบว่าที่ความหนาแน่นในช่วงระหว่าง 1,400-1,800 กก./ลบ.ม. ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำยาของ LCM-Protein จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 650 - 750 ksc. ส่วน Grace , Neo-Por และ LCM-Synthetic จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 450 - 550 ksc.

จากการศึกษาดังที่แสดงในรูปที่ 4.2. จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นจะแปรผันตามกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์อายุ 28 วัน ที่ w/C 0.40 พบว่าที่ความหนาแน่นในช่วงระหว่าง 1,400-1,800 กก./ลบ.ม. ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำยาของ LCM-Synthetic จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 550 - 650 ksc. ส่วน Grace , Neo-Por และ LCM-Protein จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 450 - 550 ksc.

## 5.2.2. การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์เพสต์

จากการศึกษาดังที่แสดงในรูปที่ 4.3. ถึง รูปที่ 4.6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การไหลกับความหนาแน่นที่  $w/c$  0.30 พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผสมด้วยฟองอากาศจากน้ำยา ทั้ง 4 ชนิด มีค่าแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลของซีเมนต์เพสต์ที่ดีที่สุดจากการทดลองอยู่ในช่วงความหนาแน่น 1,600 กก. / ลบ.ม.

## 5.3. การผสมฟองอากาศกับมอร์ต้า

### 5.3.1. การหาความหนาแน่นโดยผสมฟองอากาศกับมอร์ต้า

จากการศึกษาดังที่แสดงในรูปที่ 4.7. จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นจะแปรผันตามกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์อายุที่ 28 วัน ที่  $w/c$  0.40 พบว่าที่ความหนาแน่นในช่วงระหว่าง 1,400-1,800 กก. /ลบ.ม. ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำยาของ LCM-Synthetic จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 500 - 600 ksc. ส่วน Grace , Neo-Por และ LCM-Protein จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 200 - 400 ksc.

### 5.3.2. ผลการทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ

จากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.8. ถึง 4.11. จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าที่  $w/c$  0.40 ในการใช้น้ำยาของแต่ละชนิดที่ความหนาแน่นต่าง ๆ พบว่าทั้งน้ำยาของ Grace, Neo-Por, LCM-Protein และ LCM- Synthetic ค่าอัตราการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกันคือที่ความหนาแน่นต่ำค่าอัตราการดูดซึมน้ำก็จะมาก

จากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.12.การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ได้พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ได้จะแปรผกผันกับความหนาแน่น และเมื่อเปรียบเทียบน้ำยาทั้งหมดพบว่า มวลเบาที่ผสมน้ำยา LCM - Protein จะมีการดูดซึมน้ำมากกว่า มวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยา Grace, Neo-Por, LCM-Synthetic

### 5.3.3. ผลการทดสอบการยึดหดตัวของมอร์ต้า

จากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.13. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึดหดตัวกับระยะเวลาที่ความหนาแน่นต่างๆของน้ำยาตัวอย่าง LCM-Synthetic พบว่าเมื่อคอนกรีตเบามีความหนาแน่นลดลงจะเกิดการยึดตัวขึ้นอย่างมากเนื่องจากน้ำสามารถซึมผ่านไปทำปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า

จากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.14. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึดหดตัวกับระยะเวลาการบ่มที่ต่างกันระหว่างการบ่มในอากาศกับบ่มในน้ำ พบว่าการบ่มในอากาศจะเกิดการหดตัวอย่างต่อเนื่อง แต่การบ่มในน้ำจะเกิดการขยายตัวก่อนในช่วงแรกจากนั้นจะเกิดการหดตัวในช่วงหลัง

### 5.4. ผลการทดสอบการสลายตัวของฟองอากาศที่เวลาต่างๆ

จากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.15. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของฟองอากาศต่อเวลา จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปฟองอากาศที่เกิดจากน้ำยาของ Neo – Por มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวที่น้อยซึ่งอยู่ในช่วง 10 – 20 % , LCM- Protein มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวอยู่ในช่วง 70 – 80 % ส่วน Grace และ LCM- Synthetic มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวอยู่ในช่วง 70 – 80 %

จากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.16. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักฟองอากาศต่อเวลา จะเห็นได้ว่าน้ำยาของ Grace, LCM- Synthetic และ LCM- Protein เมื่อเวลาผ่านไปจากการทดลองที่ 300 วินาที น้ำหนักของฟองอากาศจะลดลงอยู่ในช่วง 10 – 20 กรัม ส่วน Neo-Por นั้นเมื่อเวลาผ่านไปจากการทดลองที่ 300 วินาที น้ำหนักของฟองอากาศจะลดลงอยู่ในช่วงประมาณ 80 กรัม

## 5.5. ผลการทดสอบแรงดึงผิวของน้ำยา

จากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.17. ถึง รูปที่ 4.18. พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำยาที่ 100% น้ำยาที่มีแรงดึงผิวมากที่สุดคือน้ำยา Neo – Por และน้ำยาที่มีแรงดึงผิวรองลงมาคือน้ำยา Grace, LCM- Synthetic และ LCM- Protein ตามลำดับ ดังนั้นในการนำมาใช้งานจึงต้องใช้น้ำยาแต่ละตัวที่ความเข้มข้นต่างกัน เมื่อนำความเข้มข้นของน้ำยาแต่ละตัวมาเปรียบเทียบกับพบว่า น้ำยา Grace ความเข้มข้นที่ 2.5%, LCM- Protein ความเข้มข้นที่ 3.33% และ LCM- Synthetic ความเข้มข้นที่ 2 % มีค่าแรงดึงผิวใกล้เคียงกันมากประมาณ 40 mN/m. แต่น้ำยา Neo – Por ความเข้มข้นที่ 2 % นั้นมีค่าแรงดึงผิวสูงกว่าน้ำยาทั้ง 3 ชนิด ซึ่งค่าแรงดึงผิวอยู่ที่ประมาณ 60 mN/m.

จากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.19. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิวกับน้ำยาผสมน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าความเข้มข้นของน้ำยา Grace, LCM- Protein และ LCM- Synthetic มีค่าแรงดึงผิวที่เพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของน้ำยาทั้ง 3 ชนิดที่ 100% แต่น้ำยาผสมน้ำของ Neo-Por มีค่าแรงดึงผิวเพิ่มขึ้นมากจนเกือบเท่ากับแรงดึงผิวของน้ำยาเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดึงผิวของน้ำยาที่มีความเข้มข้น 100% และจากแนวโน้มของเส้นกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อนำน้ำยามาผสมกับน้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ จะเห็นได้ชัดว่าค่าแรงดึงผิวที่ได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นลดลง

## 5.6. อัตราส่วนต่างๆของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้างที่ใช้ในการทำวิจัย

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการทดลองใช้ส่วนผสมต่างๆของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง ซึ่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,400 – 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน มากกว่า 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้ดังนี้

### 1. อัตราส่วนสำหรับซีเมนต์เฟสค์ มีรายละเอียดดังนี้

จากการทดสอบพบว่าค่ากำลังที่ได้จาก W/C 0.3 และ W/C 0.4 มีค่าใกล้เคียงกัน

- W/C 0.4 ใช้ ความหนาแน่นอยู่ระหว่างช่วง 1,300-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผสมฟองอากาศปริมาณ

Grace	- Foam 0.5-2 ลิตร/ปูนซีเมนต์ 5000 กรัม - น้ำหนักฟองอากาศประมาณ 40-60 กรัม/ลิตร
Neo – Por	- Foam 0.5-1.5 ลิตร/ปูนซีเมนต์ 5000 กรัม - น้ำหนักอากาศประมาณ 80-100 กรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- LCM-Protein - Foam 1-2 ลิตร/ปูนซีเมนต์ 5000 กรัม  
 - น้ำหนักอากาศประมาณ 30-60 กรัม/ลิตร
- LCM-Synthetic - Foam 0.5-2 ลิตร/ปูนซีเมนต์ 5000 กรัม  
 - น้ำหนักอากาศประมาณ 40-60 กรัม/ลิตร

## 2. อัตราส่วนสำหรับมอดาร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- W/C 0.4 ใช้ความหนาแน่นอยู่ระหว่างช่วง 1400-1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  
 ผสมฟองอากาศปริมาณ

- Grace - Foam 3-5 ลิตร/ปูนซีเมนต์ 10000 กรัม  
 - น้ำหนักฟองอากาศประมาณ 40-60 กรัม/ลิตร
- Neo-Por - Foam 5-8 ลิตร/ปูนซีเมนต์ 10000 กรัม  
 - น้ำหนักฟองอากาศประมาณ 80-100 กรัม/ลิตร
- LCM-Protein - Foam 2-6 ลิตร/ปูนซีเมนต์ 10000 กรัม  
 - น้ำหนักฟองอากาศประมาณ 30-60 กรัม/ลิตร
- LCM-Synthetic - Foam 3-5 ลิตร/ปูนซีเมนต์ 10000 กรัม  
 - น้ำหนักฟองอากาศประมาณ 40-60 กรัม/ลิตร

## 5.7. คุณสมบัติทางกายภาพ

- สีของคอนกรีตเบาที่ได้นั้นเหมือนกับคอนกรีตธรรมดา
- น้ำหนักจะเบากว่าคอนกรีตธรรมดา ขึ้นอยู่กับปริมาณของฟองอากาศที่ใช้ผสม
- ความหนาแน่นจะลดลงตามปริมาณฟองอากาศที่ผสมลงไป
- ลักษณะผิวภายนอก จะมีรูพรุนเพราะเกิดจากการแทรกตัวของฟองอากาศที่ผสมอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต

## 5.8. ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา

ในการศึกษาและการทดสอบได้พบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ดังนี้

1. การฉีดสารเพิ่มฟองอากาศผ่านเครื่องมือควบคุมได้ยาก คุณภาพฟองอากาศที่ได้ไม่คงที่ ต้องอาศัยการชั่งน้ำหนักฟองอากาศที่ได้เปรียบเทียบกับปริมาณเพื่อตรวจสอบคุณภาพ
2. การปล่อยให้ฟองอากาศที่ฉีดออกมาแล้วอยู่นานเกินไป จะทำให้เกิดการสลายตัว กลายเป็นฟองใหญ่ไม่สามารถนำมาผสมได้
3. การผสมฟองอากาศในโม้นานเกินไป จะทำให้เกิดการฟูของซีเมนต์เกิดเป็นโพรงใหญ่เมื่อแข็งตัวทำให้รับกำลังได้น้อยลง



## บรรณานุกรม

- วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี , พิมพ์ครั้งที่ 9 (กรุงเทพมหานคร: หป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2544)
- ศิริวัฒน์ ไชยชนะ , ปฏิบัติคอนกรีตเทคโนโลยี , พิมพ์ครั้งที่ 2 (กรุงเทพมหานคร: หจก.วี.เจ.พรินต์ติ้ง จำกัด, 2542)
- กฤษฎา โรจน์ประสิทธิ์พร, อราวินท์ บริรักษ์อรวินท์ และ สุภัทรชัย สุดเกล้า, “คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์, ” (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2546)
- ชีรพล สุวรรณรัชตกุล , ปรินทร์ ภูประเสริฐ , ปริญา แสงสว่าง และ วรเชษฐ์ มงคลกาวิณ, “การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมซังอ้อย, ” (ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2547)
- ปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน และ สิทธิโชค หอมกระจาย “คอนกรีตเบา, ” (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2539)
- รณฤทธิ์ รักวงศ์, วัชร มณีวงศ์ และ ศิริพงศ์ พรหมศาสตร์, “อิทธิพลของผงอะลูมิเนียมที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา, ” (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2548)
- เสถียร ทวีชีพ และ วิเชียร นิยมศรี, “คอนกรีตเบาผสมทรายหยาบ, ” (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2541)
- อัครวิน น้อยสุวรรณ, สกนธ์ เลิศมัลลิกาพร, วรากร หมั่นสระเกษ และ สุรเชษฐ์ สุพรรณกลาง, “คอนกรีตผสมแกลบ, ” (ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2548)
- ขจรพันธ์ ดันดิพงษ์, ณัฐพงษ์ อภินันท์กุล และ ปรีชา ชีวะเจริญไชย “การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตพรุนที่ผลิตโดยวิธีผงอะลูมิเนียม, ” (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2548)

# ภาคผนวก

## ผลการทดลอง

1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์
2. การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การไหล
3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า
4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ
5. การทดสอบหาการยี้ดหดตัว (Autogeneous shrinkage)
6. การทดสอบหาการยี้ดหดตัวที่การบ่มต่างกัน (Autogeneous shrinkage)
7. การทดสอบหาการสลายตัวของโฟม
8. การทดสอบหาแรงดึงผิวของน้ำยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์พิเศษ

ตารางที่ ผ.1. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของซีเมนต์พิเศษ

W/C	Type	Foam (L)	Weight Foam (g)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Strength (ksc) at		
					3 day	7 day	28 day
0.3	Pure Cement	0	0	2096.1	606.2	699.9	715.9
	Grace	2	51.35	1749.60	301.25	368.74	439.60
		4.5	40	1602.56	254.91	275.65	310.67
		4	48.84	1518.05	228.21	265.88	292.60
		5	68.31	1204.10	101.87	132.06	137.76
		Neo-por	1	51.71	1975.71	533.92	597.29
	Neo-por	2	61.58	1700.53	327.18	424.21	459.35
		2.5	76	1570.74	254.54	261.95	319.97
		4	56.75	1289.34	129.49	133.20	140.57
	LCM-Protein	0.5	51.93	1888.80	643.57	659.56	811.45
		1	70.27	1595.61	347.37	325.43	430.94
		2	37.2	1457.72	201.46	209.34	227.73
		3	92.81	1354.39	143.79	107.32	99.64
	LCM-Synthetic	0.5	33.97	1874.53	483.40	682.04	679.50
		1	37.41	1699.19	325.41	380.24	396.32
		1.5	43.29	1386.82	122.21	164.46	192.66
		2	47.84	1266.74	100.34	99.09	116.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของซีเมนต์พิเศษ

0.4	Cement	0	0	1900.90	431.20	434.00	459.90
	Grace	0.5	46.75	1758.85	374.73	452.72	439.60
		1	79.58	1657.06	299.90	335.91	482.23
		2	54.09	1441.97	151.12	237.70	290.72
		3	48.5	1297.30	123.54	151.47	210.58
	Neo-por	0.5	83.46	1868.88	436.97	498.31	583.94
		1	87.11	1642.85	283.13	326.20	374.29
		1.5	129.8	1402.30	233.73	234.98	264.78
		2	82.33	1255.01	165.45	152.85	173.53
	LCM-Protein	2	35.15	1744.36	395.41	477.27	526.34
		1	55.22	1703.95	372.61	394.33	469.97
		4	29.11	1078.89	75.74	79.25	112.36
		3	51.11	1021.46	70.38	61.88	100.57
	LCM-Synthetic	0.5	49.83	1828.64	468.92	518.74	655.20
		1	57.86	1615.51	311.94	339.48	399.15
		2	40.66	1399.91	162.63	209.97	281.64
		3	49.95	1158.11	23.07	78.39	114.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การไหล

ตารางที่ ผ.2. เปอร์เซ็นต์การไหลและความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์

W/C	Type	Foam (L)	Weight Foam (g)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	% Flow
0.3	Grace	2	51.35	1749.60	76.52
		4.5	40	1602.56	94.05
		4	48.84	1518.05	92.74
		5	68.31	1204.10	81.90
	Neo-por	1	51.71	1975.71	110.15
		2	61.58	1700.53	116.47
		2.5	76	1570.74	128.73
		4	56.75	1289.34	104.96
	LCM-Protein	0.5	51.93	1888.80	85.68
		1	70.27	1595.61	122.12
		2	37.2	1457.72	120.89
		3	92.81	1354.39	87.77
	LCM-Synthetic	0.5	33.97	1874.53	96.12
		1	37.41	1699.19	107.63
		1.5	43.29	1386.82	96.43
		2	47.84	1266.74	88.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

ตารางที่ ผ.3. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของซีเมนต์เพสต์

W/C	Type	Foam (L)	Weight Foam (g)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Strength (ksc) at		
					3 day	7 day	28 day
0.4	Grace	3	61.51	1893.45	332.27	365.16	390.78
		6	75.41	1500.54	100.30	110.25	153.29
		5	54.15	1385.30	38.80	61.49	65.07
		8	52.17	1141.97	15.42	18.46	23.87
	Neo-por	5	86.22	1862.76	257.43	279.39	355.22
		6	107.33	1731.29	205.25	232.04	322.70
		7	98.92	1638.18	151.38	177.04	226.81
		9	120.3	1371.29	51.01	68.58	117.98
	LCM-Protein	2	82.75	1874.03	235.31	277.66	341.63
		4	74.2	1626.41	133.50	140.89	160.64
		6	74.94	1370.80	51.22	56.68	71.54
		8	67.17	1218.52	20.50	29.91	32.36
	LCM-Synthetic	3	38.02	1801.45	271.85	284.06	560.16
		4	40.57	1531.79	114.95	126.08	148.49
		5	56.21	1445.64	83.87	103.14	120.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำของซีเมนต์มอร์ต้า

ตารางที่ ผ.4. อัตราการดูดซึมน้ำ

W/C	Type	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Precent Absorbtion
0.4	Grace	1893.45	9.30
		1500.54	14.31
		1385.30	17.87
		1141.97	18.30
	Neo-por	1862.76	8.62
		1731.29	13.96
		1638.18	12.76
		1371.29	16.03
	LCM-Protein	1874.03	12.52
		1626.41	14.94
		1370.80	17.36
		1218.52	21.10
	LCM-Synthetic	1801.45	9.28
		1531.79	12.87
		1445.64	13.04
		1382.86	14.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การทดสอบหาการยืหดตัว (Autogeneous shrinkage)

ตารางที่ ผ.5. การยืหดตัว

Foam Agent	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Autogeneous shrinkage (10 <sup>-6</sup> )			
		1 days	7 days	14 days	28 days
LCM - Synthetic	1801.95	-48.12	-24.20	-56.41	63.16
	1531.79	-24.26	0.00	-8.05	40.45
	1445.64	-24.60	0.36	-24.24	-85.30
	1382.88	-97.87	-96.42	-96.06	-112.61
LCM-Protein	1862.76	-73.8389	-24.8108	-73.6779	57.76292
	1731.29	-49.1461	24.61296	16.42196	12.31647
	1638.18	-61.3828	-85.9758	-98.2922	-12.2766
	1371.51	-24.5174	-24.343	0.52299	-7.38835

## 6. การทดสอบหาการยืหดตัวที่การบ่มต่างกัน (Autogeneous shrinkage)

ตารางที่ ผ.6. การยืหดตัวที่การบ่มต่างกัน

Foam Agent	Density (kg/m <sup>3</sup> )	type of curing	Autogeneous shrinkage (10 <sup>-6</sup> )			
			1 days	7 days	14 days	28 days
Neo-por	1638.18	Water	-61.3828	-85.9758	-98.2922	-12.2766
		Air	197.8176	741.0208	947.425	1392.037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. การทดสอบหาการสลายตัวของฟองอากาศ

ตารางที่ ผ.7.1. การสลายตัวของฟองอากาศที่ได้จากน้ำยา LCM - Synthetic

Foam Agent : LCM - Synthetic						
Foam Agent/Water 1:50						
Time (sec.)	Weight of Foam			Average	weight Decrease	%
	1	2	3			
0	47.67	44.65	40.97	44.43	0	0.00
60	36.74	35.86	37.40	36.67	7.76	17.47
120	29.90	25.94	27.56	27.80	16.63	37.43
180	24.73	27.10	18.75	23.53	20.90	47.05
240	17.04	14.96	17.87	16.62	27.81	62.59
300	14.66	14.54	17.60	15.60	28.83	64.89

ตารางที่ ผ.7.2. การสลายตัวของฟองอากาศที่ได้จากน้ำยา Grace

Foam Agent : Grace						
Foam Agent/Water 1:40						
Time (sec.)	Weight of Foam			Average	weight Decrease	%
	1	2	3			
0	52.93	45.15	45.55	47.88	0	0.00
60	38.72	35.77	28.4	34.30	13.58	28.36
120	29.77	29.3	20.63	26.57	21.31	44.51
180	25.76	29.16	18.21	24.38	23.50	49.08
240	23.45	23.45	16.7	21.20	26.68	55.72
300	21.07	20.46	13.29	18.27	29.60	61.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.7.3. การสลายตัวของฟองอากาศที่ได้จากน้ำยา LCM - Protein

Foam Agent : LCM - Protein						
Foam Agent/Water 1:30						
Time (sec.)	Weight of Foam			Average	weight Decrease	%
	1	2	3			
0	53.16	34.82	46.61	44.86	0	0.00
60	41.54	24.21	26.68	30.81	14.05	31.32
120	31.21	21.66	22.12	25.00	19.87	44.28
180	25.15	15.52	18.11	19.59	25.27	56.33
240	17.89	11.36	14.74	14.66	30.20	67.32
300	13.71	7.86	9.41	10.33	34.54	76.98

ตารางที่ ผ.7.4. การสลายตัวของฟองอากาศที่ได้จากน้ำยา Neo - Por

Foam Agent : Neo-Por						
Foam Agent/Water 1:100						
Time (sec.)	Weight of Foam			Average	weight Decrease	%
	1	2	3			
0	93.02	-	-	93.02	0	0.00
60	92.94	-	-	92.94	0.08	0.09
120	85.42	-	-	85.42	7.60	8.17
180	85.03	-	-	85.03	7.99	8.59
240	82.45	-	-	82.45	10.57	11.36
300	79.33	-	-	79.33	13.69	14.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. การทดสอบหาแรงตึงผิวของน้ำยา

ตารางที่ ผ.8.1. แรงตึงผิวของน้ำยา Grace

Foam Agent : Grace			
Foam Agent/Water			
sample	Foam Agent/Water		
	0%	2.50%	
1	38.00	37.50	
2	38.00	38.60	
3	37.60	38.60	
Average	37.87	38.23	

ตารางที่ ผ.8.2. แรงตึงผิวของน้ำยา LCM - Synthetic

Foam Agent : LCM - Synthetic				
Foam Agent/Water				
sample	Foam Agent/Water			
	0%	1.00%	2.0%	3.33%
1	37.50	42.50	41.50	41.6
2	37.20	40.50	42.00	41
3	38.20	40.80	42.10	41.20
Average	37.63	41.27	41.87	41.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.8.3. แรงตึงผิวของน้ำยา LCM - Protein

Foam Agent : LCM - Protein				
sample	Foam Agent/Water			
	0%	1.00%	2%	3.33%
1	37.00	37.50	37.50	39.00
2	37.20	37.50	37.50	38.00
3	37.20	37.60	38.00	38.50
Average	37.13	37.53	37.67	38.50

ตารางที่ ผ.8.4. แรงตึงผิวของน้ำยา Neo - Por

Foam Agent : Neo-Por				
sample	Foam Agent/Water			
	0%	1.00%	2%	4.00%
1	38.10	61.80	61.20	58.00
2	38.10	63.00	60.50	58.00
3	38.00	62.30	60.00	58.00
Average	38.07	62.37	60.57	58.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงไฟล์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้