อิทธิพลของ FOAMING AGENT ระบบ CLC ที่มีต่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยว ในคอนกรีตเสริมเหล็ก

INFLUENCE OF FOAMING AGENT ON BONDING IN REINFORCED CONCRETE

ศิวะ วาสลา
SIWA VASALA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
ศูนย์นวัตกรรมโลหะและวัสดุขั้นสูงเพื่ออุตสาหกรรมยั่งยืน
พ.ศ. 2552

KMUTL-2009-EN-M-098-055

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของ FOAMING AGENT ระบบ CLC ที่มีต่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยว ในคอนกรีตเสริมเหล็ก

INFLUENCE OF FOAMING AGENT ON BONDING IN REINFORCED CONCRETE

ศิวะ วาสาลา

SIWA VASALA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105247
วัน,เดือน,ปี 17 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL-2009-EN-M-093-055

INFLUENCE OF FOAMING AGENT ON BONDING IN REINFORCED CONCRETE

SIWA VASALA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MSATER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-EN-M-093-055

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อิทธิพลของ Foaming Agent ระบบ CLC ที่มีต่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตเสริมเหล็ก

Thesis Title Influence of Foaming Agent on Bonding in Reinforced Concrete

นักศึกษา นายศิวะ วาสาลา

รหัสประจำตัว 49061510

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-093-055

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.อำนวย	พานิชกุลพงศ์	
ผศ.ศักดิ์ชัย	สกานุพงษ์	
รศ.ดร.ปิติ	สุคนธสุขกุล	
ผศ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
ผศ.ดร.คมสัน	มาลีสี	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 08.00-10.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของ FOAMING AGENT ระบบ CLC ที่มีต่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตเสริมเหล็ก
นักศึกษา	นายศิวะ วาสาลา
รหัสประจำตัว	49061510
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของ Foaming Agent ที่มีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมในคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยจุดประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้างซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ 1,200–2,000 กก./ม.^{3} และมีกำลังรับแรงอัดมากกว่า 180 กก./ซม.^{2} ที่อายุ 28 วัน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และ 0.5 ในส่วนของมอร์ต้าร์ใช้อัตราส่วนปูนต่อทราย 1:1 ในการผสมและทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว จากผลการทดสอบพบว่า มอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนัก 1,200 – 2,000 กก./ม.^{3} และใช้ทรายละเอียดในการผสมมีค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 20.47 – 70.93 กก./ซม.^{2} ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และมีค่าระหว่าง 19.64-58.61 กก./ซม.^{2} ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 หลังจากนั้นทดสอบแรงยึดเหนี่ยวในมอร์ต้าร์ที่ใช้ทรายหยาบที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และ 0.5 มีค่าระหว่าง 10.82-57.06 กก./ซม.^{2} และ 8.01-55.62 กก./ซม.^{2}ตามลำดับ

Thesis	Influence of foaming agent on bonding in reinforced concrete
Student	Mr.Siwa Vasala
Student ID.	49061510
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Komsan Maleesee

ABSTRACT

This research is to study the influence of foaming agent on bonding in reinforced concrete of cellular lightweight concrete (CLC) by mixing the foam with cement paste or mortar to reduce the weight of the specimens. The purpose of this research is to develop the lightweight concrete for structural. In this research use density between 1,200-2,000 kg/m^3 and the compressive strength at the ages of 28 days more than 180 ksc. with w/c ratio at 0.4 and 0.5. In case of mortar, cement / sand ratio of 1:1 was used and test for bond stress. From the test results, it was found that the mortar mixing with foam having the unit weight of 1,200 to 2,000 kg/m^3, cement/sand ratio of 1:1with fine sand has the bond stress between 20.47-70.93 ksc, at w/c 0.4 and has the bond stress between 19.64-58.61 ksc. at w/c 0.5 after that use coarse sand to mixing lightweight concrete at w/c 0.4 and 0.5 has bond stress between 10.82-57.06 ksc. and 8.01-55.62 ksc. respectively

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.คมสัน มาลีสี ที่ให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานส่งเสริมวิสาหการขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ภายใต้โครงการสร้างกำลังคน เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.-สสว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆในห้องปฏิบัติการ เพื่อนๆและน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ไปด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ศิวะ วาสาลา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1. กล่าวนำ.....1

1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.3. วัตถุประสงค์.....2

1.4. ขอบเขตการวิจัย.....2

1.5. ขั้นตอนของการศึกษา.....3

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....5

2.1. กล่าวนำ.....5

2.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....6

2.2.1. คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete).....6

2.2.2. คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Cellular Concrete).....9

2.2.3. การผลิต Lightweight Cellular Concrete.....12

2.2.4. คุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตมวลเบา.....12

2.2.5. ข้อควรระวังของคอนกรีตมวลเบาในการใช้งาน.....14

2.2.6. การนำคอนกรีตพรุนมาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ.....14

2.2.7. ความแตกต่างระหว่างคอนกรีตระบบมวลเบา CLC กับ ACC.....15

2.2.8. คอนกรีตมวลเบาในงานคอนตกรีตอัดแรง.....16

2.3. การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา.....20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ....24

3.1. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์....24

3.2. การทดสอบกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนัก (Compressive Strength)....26

3.2.1.การจัดเตรียมตัวอย่าง....26

3.3. การทดสอบการหดตัว (Autogenous Shrinkage)....29

3.4. การทดสอบอัตราการดูดซึม....31

3.5. วิธีการทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว....32

3.5.1. การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์....32

3.5.2. วิธีการดำเนินงาน....32

3.5.3. การคำนวณหาค่าแรงยึดเหนี่ยว....33

3.6.การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบ....35

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล....36

4.1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง....36

4.1.1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์....36

4.1.2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์....38

4.2. การทดสอบหาการหดตัว (Autogenous Shrinkage)....40

4.2.1. การทดสอบการหดตัวกับอายุของซีเมนต์เพสต์....40

4.2.2. การทดสอบการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์....42

4.3. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ (Absorption)....43

4.3.1. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ ด้วยน้ำยาโฟมชนิด G-S....43

4.3.2. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ ด้วยน้ำยาโฟมชนิด L-S....40

4.4. การทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว....46

4.4.1. การทดสอบหาความกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ต้าร์ น้ำยาชนิด G-S....46

4.4.2. การทดสอบหาความกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ต้าร์ น้ำยาชนิด L-S..... 49

4.4.3. การทดสอบหาความกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ต้าร์ น้ำยาชนิด L-P....50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา....51
5.1. สรุปผลการศึกษา....51
5.2. ข้อเสนอแนะ....53
เอกสารอ้างอิง....54
ภาคผนวก....55
ประวัติผู้เขียน....71

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามการนำไปใช้ ACI 211.2-18.....7
2.2 การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนัก.....8
2.3 ความแตกต่างระหว่างคอนกรีตมวลเบาระบบ AAC กับ 16

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การใช้งานคอนกรีตมวลเบาในประเทศไทย	1
2.1	แสดงการเกิด Bond และ Adhesion ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	18
2.2	แสดงการกระจายตัวในเนื้อคอนกรีต เมื่อมีการเติมฟองอากาศที่ปริมาณต่างๆ	23
3.1.	อุปกรณ์ผสมปูน	24
3.2.	อุปกรณ์ฉีดน้ำยาโฟม	25
3.3.	การผสมโฟมกับซีเมนต์เพสท์หรือมอร์ต้าร์	25
3.4.	ตู้อบ	26
3.5.	มอร์ต้าร์ที่ทำการปาดแต่งผิวหน้า	27
3.6.	แบบหล่อขนาด 5 cm. x 5cm. x 5 cm.	27
3.7.	แบบหล่อขนาด 10 cm. x 10 cm. x 10 cm.	28
3.8.	การทดสอบแท่งตัวอย่าง	28
3.9.	เครื่องมือวัด Autogeneous Shrinkage	29
3.10.	แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือวัด Autogeneous Shrinkage	29
3.11.	ชิ้นงานภายหลังจากถอดแบบแล้ว	30
3.12.	ชิ้นงานที่ทำการ Wrapping แล้ว	30
3.13.	แบบหล่อสำหรับทดลองหาอัตราการดูดซึม	30
3.14.	แท่งตัวอย่างสำหรับทดลองหาอัตราการดูดซึม	31
3.15.	ตัวอย่างที่แช่น้ำเพื่อทดลองหาอัตราการดูดซึม	31
3.16.	แท่งตัวอย่างสำหรับทดลองหาแรงยึดเหนี่ยว	33
3.17.	การบ่มตัวอย่างโดยการแช่ในน้ำ	33
3.18.	การติดตั้ง Dial gauge เพื่อวัดการลื่นไถล	34
3.19.	การทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่อง UTM	34
4.1.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของซีเมนต์เพสต์. ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 น้ำยาโฟมชนิด G-S	36
4.2.	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของซีเมนต์เพสต์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 น้ำยาโฟมชนิด G-S	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 น้ำยาโฟมชนิด G-S.....38

4.4. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 น้ำยาโฟมชนิด G-S.....39

4.5. ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4.....40

4.6. ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5.....41

4.7. ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4.....42

4.8. ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5.....42

4.9. ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4.....43

4.10. ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5.....44

4.11. ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4.....45

4.12. ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมกับอายุของมอร์ต้าร์ ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5.....45

4.13. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4ผสมด้วยทรายละเอียด น้ำยาโฟมชนิด G-S..... 47

4.14. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ผสมด้วยทรายละเอียด น้ำยาโฟมชนิด G-S.....47

4.15. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4ผสมด้วยทรายหยาบ น้ำยาโฟมชนิด G-S.....48

4.16. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5ผสมด้วยทรายหยาบ น้ำยาโฟมชนิด G-S..... 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.17. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 ผสมด้วยทรายละเอียด น้ำยาโฟมชนิด L-S..... 49

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลหน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 ผสมด้วยทรายละเอียด น้ำยาโฟมชนิด L-P.....50

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ซึ่งเป็นการผลิตคอนกรีตมวลเบาโดยใช้น้ำยาเคมี พ่นให้เกิดโฟมแล้วจึงนำผสมกับซีเมนต์และน้ำ เพื่อให้คอนกรีตเบามีความหนาแน่นต่ำและมีการรับกำลังอัดได้ดี ซึ่งคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือการช่วยลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต แต่ก็มีข้อเสียคือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวเหล็กกับคอนกรีตลดลง เนื่องจากเมื่อทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตแล้วแล้ว เนื้อของคอนกรีตมีความพรุน ทำให้พื้นที่ของคอนกรีตที่สัมผัสกับเหล็กลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา โดยเมื่อทำการผลิตคอนกรีตแล้วจะมีข้อจำกัดมากขึ้นกว่าในซีเมนต์เพสต์ เพราะเมื่อใส่มวลรวมหยาบเข้าไปแล้ว จะยิ่งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างหินกับคอนกรีตมากขึ้นด้วย จึงส่งผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตค่อนข้างมาก

ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัยในการพัฒนาคอนกรีตเบาสำหรับโครงสร้าง โดยสามารถนำมาใช้งานได้เหมือนในคอนกรีตธรรมดา จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพด้านงานก่อสร้าง ต่อไปในอนาคต

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เช่น ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (Unit Weight) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) และขนาดมวลรวม

2. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนในการออกแบบที่เหมาะสม สัดส่วนและน้ำหนักโฟมที่ใช้ เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงยึดเหนี่ยวได้ดีที่สุด

3. เพื่อเปรียบเทียบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตในคอนกรีตธรรมดา ซีเมนต์เพสต์มวลเบา มอร์ต้ามวลเบา และคอนกรีตมวลเบา

4. เพื่อศึกษาหาแนวโน้มและวิธีการพัฒนาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC สำหรับงานโครงสร้าง ที่มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 1,200-2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีตัวแปรที่ทำการศึกษาดังนี้

- ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ที่ 0.4 และ 0.5
- อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ที่ 0 และ 1
- น้ำยาโฟม
- ขนาดมวลรวม

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต ลักษณะการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต และพื้นที่รับแรงยึดเหนี่ยวของเนื้อคอนกรีตกับเหล็ก (Bond Zone)

2. ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการเปรียบเทียบค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต ในซีเมนต์เพสต์มวลเบา มอร์ต้ามวลเบา และคอนกรีตมวลเบา

3. ศึกษามาตรฐานการทดสอบที่ใช้สำหรับการหาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C234

4. เตรียมน้ำยาโฟม (Foaming Agent) เพื่อใช้ในการหล่อชิ้นตัวอย่างที่เป็นมวลเบา

5. สร้างชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น หน่วยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัด อัตราการหดตัว อัตราการดูดซึมน้ำ ที่ปัจจัยต่างๆกัน โดยจำแนกเป็นซีเมนต์เพสต์มวลเบา มอร์ต้ามวลเบา คอนกรีตมวลเบา

6. วิเคราะห์ลักษณะที่เกิดขึ้นในเนื้อตัวอย่าง เปรียบเทียบที่ปัจจัยต่างกัน เช่น หน่วยน้ำหนัก w/c และน้ำยาโฟมที่ใช้

7. สร้างชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบหาหน่วยแรงยึดเหนี่ยว ที่อัตราส่วนที่เหมาะสม โดยจำแนกเป็นซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้าร์ที่ใช้ทรายหยาบ และมอร์ต้าร์ที่ใช้ทรายละเอียด

8. สร้างชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบหาหน่วยแรงยึดเหนี่ยว ที่อัตราส่วนที่เหมาะสม ในส่วนของคอนกรีตมวลเบา

9. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบทั้งในส่วน ซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้าร์ที่ใช้ทรายหยาบ และมอร์ต้าร์ที่ใช้ทรายละเอียด และคอนกรีตมวลเบา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้พัฒนาความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆ รวมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณฟองอากาศมวลเบาระบบ CLC

2. ได้พัฒนา Parameter ที่เหมาะสมในการออกแบบคอนกรีต เช่น อัตราน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ขนาดของมวลรวมหยาบที่เหมาะสม ขนาดและน้ำหนักของโฟมที่ใช้ในการผสมคอนกรีต เป็นต้น

3. ได้พัฒนาหาวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว เช่น โดยการเติมสารที่มีค่าความละเอียดสูง เพื่อลดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลง หรือโดยการทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

4. ได้พัฒนาความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของฟองอากาศกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

5. ได้พัฒนาคอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการใช้งานดีมากยิ่งขึ้น เพื่อการลดค่าใช้จ่ายในส่วนของโครงสร้าง และเพื่อเพิ่มศักยภาพในงานด้านการก่อสร้าง

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

สำหรับในประเทศไทย ได้มีการพัฒนาและวิจัยคอนกรีตประเภทนี้ต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน แต่ความต้องการใช้งานคอนกรีตมวลเบาในช่วงแรกที่ผ่านมายังมีน้อย ปัจจุบันอาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ มีความสูงเพิ่มขึ้นและต้องการความรวดเร็วในการสร้าง ผู้ออกแบบได้ให้ความสนใจที่จะใช้คอนกรีตมวลเบานี้มากขึ้น ความต้องการในการใช้คอนกรีตมวลเบาจึงเพิ่มขึ้นตาม

ในปัจจุบันการก่อสร้างโดยทั่วไปในประเทศ มีส่วนประกอบทำด้วยวัสดุจำพวกคอนกรีตเป็นวัสดุหลัก การใช้คอนกรีตมีความสะดวกและความเหมาะสมกว่าวัสดุอื่น ๆ เพราะสามารถขึ้นรูปร่างลักษณะตามขนาดที่ต้องการได้ง่าย แต่โดยปกติแล้วคอนกรีตมีน้ำหนักมากทำให้โครงสร้างต่าง ๆ ที่รองรับมีขนาดใหญ่ขึ้น นั่นก็หมายความว่ารากฐานก็ย่อมมีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นกัน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุในการก่อสร้าง

ดังนั้นถ้าสามารถทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคารมีขนาดเบาลง จะทำให้ประหยัดวัสดุในการก่อสร้าง ขนาดของโครงสร้างหลักจะลดขนาดลงได้บ้างจากแนวคิดดังกล่าว จึงมีการค้นคิดที่จะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาลงกว่าคอนกรีตธรรมดา ซึ่งจะทำให้ราคาก่อสร้างประหยัดลงได้มาก ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มีการนำเอาคอนกรีตมวลเบามาใช้งานมากขึ้น โดยปกติคอนกรีตมวลเบามีน้ำหนัก 400 - 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รับกำลังอัดได้ 10 - 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและมีจุดเด่นในด้านที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน(Insulating Materials) แต่คอนกรีตมวลเบาก็มีข้อจำกัดด้านการผลิตและมีคุณสมบัติในด้านการดูดซึมสูง (Absorption) จึงทำให้การใช้คอนกรีตมวลเบามีขอบเขตไม่กว้างเท่าที่ควร

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตมวลเบา คือคอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป นิยมในต่างประเทศมาเป็นเวลานาน ซึ่งนำไปใช้ในการก่อสร้าง ตั้งแต่ทำเป็นฉนวนกันความร้อน จนถึงใช้เป็นชิ้นส่วนก่อสร้าง เช่น พื้น เสา คาน ฐานราก และผนังอาคาร เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานโครงสร้างที่สำคัญคือ ลดน้ำหนักขององค์อาคาร ส่งผลให้เป็นการประหยัดต้นทุนโดยรวม

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) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินที่เป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ มวลรวมชนิดนี้ใช้ผสมคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูง และมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก

2) มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต 3 กระบวนการคือ

- Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวผสมกับสารก่อฟองอากาศและนำไปเผาในหม้อเผาที่อุณหภูมิอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสเกิดเป็นฟองอากาศอยู่ในเนื้อหิน ทำให้ภายในเป็นโพรงอากาศ

- Expanded Shale Aggregate ได้จากการนำดินดานผสมกับถ่านที่บดละเอียดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงค่อนข้างดี จึงนิยมนำมาทำคอนกรีตมวลเบา

- Sintered Fly Ash ได้จากการนำ Fly Ash นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ทำให้อนุภาคเกาะติดกัน ผิวของมวลรวมค่อนข้างเรียบ

3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกผสมในคอนกรีต

4) มวลที่ได้จากของเหลวของกระบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าที่หนักที่ได้โรงไฟฟ้าถ่านหินหรือจากการพ่นน้ำไปบน Slag ที่หลอมเหลว

ตารางที่ 2.1 การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามการนำไปใช้ ACI 211.2-18

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

หากจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนักจากตารางที่ 2.1 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete) มีน้ำหนักระหว่าง 1,400 -1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังต้านทานแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2. คอนกรีตชนิดกึ่งมวลเบา (Semi - Lightweight Concrete) มีน้ำหนักตั้งแต่ 1,800 - 2,050 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นำมาทำพวกคอนกรีตบล็อก สำหรับกำแพงรั้วและใช้เป็นวัสดุทนไฟ และมีกำลังต้านทานแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3. คอนกรีตสำหรับงานฉนวนกันความร้อน (Insulating Lightweight Concrete) มีน้ำหนักตั้งแต่ 315 - 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังต้านทานแรงอัดระหว่าง 7 - 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนัก

ประเภท	กำลังอัดรูปทรงกระบอก (กก. / ตร.ซม.)	หน่วยน้ำหนัก (กก. / ลบ.ม.)
คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete)	ไม่ต่ำกว่า 170	1,400-1,800
คอนกรีตชนิดกึ่งมวลเบา (Semi - Lightweight Concrete)	ไม่ต่ำกว่า 120	1,800 - 2,050
คอนกรีตสำหรับงานฉนวนกันความร้อน (Insulating Concrete)	7 - 70	315 - 1,100

2.2.1.2 คอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีต (Aerated or Foam Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้ เป็นคอนกรีตที่ได้จากการทำให้เกิดฟองอากาศ หรือที่เรียกว่า "โฟม" ขนาด 0.1 ถึง 1.0 มิลลิเมตร ในเนื้อคอนกรีต วิธีการผสมคอนกรีตพรุนมี 2 วิธี คือ

1) วิธีทางเคมี โดยใช้ผลของการทำปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดฟองก๊าซในเนื้อคอนกรีต ในขณะที่ยังมีสภาพ Plastic

2) การทำให้เกิดฟองอากาศ (Foaming Agent) แล้วผสมลงในส่วนผสมคอนกรีตเนื่องจากคอนกรีตพรุน มีโพรงที่เกิดจากการแทรกตัวของฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง มีน้ำหนักเบา หน่วยน้ำหนักประมาณ 200 ถึง 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทั่วไปคอนกรีตประเภทนี้ นิยมนำไปใช้เป็นฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้คอนกรีตพรุนยังมีคุณสมบัติหลายอย่างคล้ายไม้ เช่น สามารถเลื่อยได้ ตอกตะปูได้ สามารถเชื่อมต่อกันได้ด้วยกาว

2.2.1.3 คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียด (No-Finess Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้ เป็นคอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด (ทราย) อยู่ในส่วนผสม ส่วนผสมหลักจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวมหยาบ การยึดเกาะติดกันระหว่างมวลรวมหยาบ เกิดจากผิวที่ถูกเคลือบด้วยซีเมนต์เพสต์หนาประมาณ 1 ถึง 3 มิลลิเมตร เมื่อคอนกรีตแข็งตัว จะเกิดช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบนั้น และทำให้น้ำหนักของคอนกรีตลดลงหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตประเภทนี้ประมาณ 1,600 ถึง 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้ได้แก่ กรวดโม่ หินโม่ เป็นต้น ขนาดของมวลรวมควรมีขนาดเท่าๆกัน ขนาดที่ใช้อยู่ในช่วง 9.5 ถึง 20.0 มิลลิเมตร มีกำลังต้านทานแรงอัด 60 ถึง 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตประเภทนี้ ขึ้นอยู่กับมวลรวมที่ใช้ และปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ โดยทั่วไปส่วนผสมที่ใช้จะประมาณ 1 : 8 โดยปริมาตร และอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ประมาณ 0.4

2.2.2 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Cellular Concrete)

(Lightweight Cellular Concrete) กล่าวคือ เป็นการผลิตคอนกรีตโดยทำให้คอนกรีตมีฟองอากาศกลมเม็ดเล็กๆ (Air Bubble) ขนาด 0.1 – 1.0 มิลลิเมตร จำนวนมากผสมอยู่ในเนื้อคอนกรีต มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ (Microscopic) เรียกคอนกรีตประเภทนี้ว่า "คอนกรีตน้ำหนักเบาแบบมีฟองอากาศ" (Lightweight Cellular Concrete) ด้วยคุณสมบัติของฟองอากาศจำนวนมากที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียง ทนไฟ การหด - ขยายตัวน้อย มีค่าการนำความร้อนต่ำ ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบามีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนในตัว

2.2.3 การผลิต Lightweight Cellular Concrete

แบ่งตามวิธีการสร้างฟองอากาศได้ 2 วิธี

1. สร้างฟองอากาศโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Method)

เป็นการสร้างฟองอากาศโดยใช้ "ผงอลูมิเนียม" (Aluminum Powder) ทำปฏิกิริยากับปูนขาวทำให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนขนาดเล็กสร้างฟองจำนวนมาก ทำให้ส่วนผสมมีการขยายตัว จากนั้นกาซไฮโดรเจนจะระเหยออกไป และอากาศจะเข้าไปแทนที่ในฟองอากาศ จากนั้นจึงนำไปบ่มโดยใช้วิธีอบไอน้ำด้วยความดัน (Steam Autoclave) ภายใต้อุณหภูมิและแรงดันที่เหมาะสม คอนกรีตที่ได้จากการผลิตดังกล่าวจะมีชื่อเรียกว่า "ACC" (Autoclave Cellular Concrete) ในอเมริกาเหนือ หรือ "AAC" (Autoclave Aerated Concrete) ในเยอรมัน

การทำปฏิกิริยา (Basic Reactions)

$Sio_2/Sio_2/Al_2O_3$ $C_3S,C_2S,C_3A/CaO$ $+H_2O$ = C-S-H+C-A-H

(Sand/Fly Ash Aluminum Powder)(Cement/Lime/Gypsum)(Water)

โดยที่ C_3S $= 3CaO.SiO_2$ =Tricalcium Silicate

C_2S $= 2CaO.SiO_2$ =Dicalcium Silicate

C_3A $= 3CaO.Al_2O_3$ =Tricalcium Aluminate

C-S-H $= CaO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$ =Calcium-Slilcate-Hydrate

C-A-H $= CaO\text{-}Al_2O_3\text{-}H_2O$ =Calcium-Aluminate-Hydrate

2. การสร้างฟองอากาศโดยใช้ Foaming Agent (Foaming Method)

เป็นการสร้างฟองอากาศที่เรียกว่า โฟม (Foam) ตามมาตรฐานอ้างอิง ASTM C869 ผ่านเครื่องสร้าง Foaming Agent ที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

- จากธรรมชาติ (Natural Foaming Agents) ได้จาก ปลา.สัตว์ และอุตสาหกรรมฟอกหนัง

- จากการสังเคราะห์ (Synthetical Foaming Agents) ได้จาก Sodium lauryl sulfate.Alkyl aryl sulfonate,Various soaps. Detergents Resinsฯลฯ

ซึ่งแต่ละกลุ่มจะให้คุณสมบัติในการสร้างฟองที่ต่างกันออกไปแล้วแต่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและเมื่อนำไปใช้ผลิต Lightweight Cellular Concrete

การทำปฏิกิริยา (Basic Reactions)

SiO_2/SiO_2 - C_3S,C_2S,C_3A + H_2O = C-S-H

(Sand/Fly Ash) (Cement) (Water)

โดยที่ C_3S $=3CaO.SiO_2$ = Tricalcium Silicate

C_2S $=2CaO.SiO_2$ = Dicalcium Silicate

C_3A $=3CaO.Al_2O_3$ = Tricalcium Aluminate

C-S-H $=CaO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$ = Calcium-Silicate-Hydrate

คุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตมวลเบา CLC

1. น้ำหนักเบา บล็อกคอนกรีตมวลเบา มีความหนาแน่น DST. (DENSITY) ตั้งแต่ 300 – 1600 กก./ลบ.ม. ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน สำหรับในประเทศไทย บล็อกมวลเบา ซึ่งเริ่มเป็นที่รู้จักแพร่หลายในปัจจุบันนี้นั้น โดยส่วนใหญ่จะผลิตที่ความหนาแน่น 700 กก./ลบ.ม. ซึ่งสามารถลอยน้ำได้เพราะมีค่าความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) น้อยกว่าน้ำ และมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตที่ไม่ผ่านระบบการผลิตแบบนี้ 3-4 เท่าเบากว่าอิฐมอญ 2-3 เท่าจึงสามารถลดขนาดของโครงสร้าง เช่น คาน เสา และฐานรากโดยผ่านวิศวกร

2. การเป็นฉนวนความร้อน ด้วยโครงสร้างแบบรวงผึ้งที่มีโพรงจากฟองอากาศไม่เชื่อมติดกันทำหน้าที่หน่วงความร้อนไม่ให้ผ่านเข้ามา ทำให้คอนกรีตมวลเบามีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ ซึ่งหมายถึงว่าเราไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุฉนวนเพิ่มเติมที่ผนัง ความเป็นฉนวนที่ดีกลายเป็นสิ่งสำคัญในแง่ของการประหยัดพลังงาน เนื่องจากสามารถลดได้ทั้งความร้อน และลดขนาดของเครื่องปรับอากาศ อีกทั้งความเป็นฉนวนความร้อนยังช่วยลดการเกิดการควบแน่น เนื่องจากความชื้นในบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ยิ่งไปกว่านั้นวัสดุฉนวนส่วนใหญ่ที่ใช้ในอาคารจะเป็นวัสดุจำพวกใยแก้ว มีส่วนประกอบหลักเป็นสารจำพวก Formaldehyde ซึ่งเป็นสารที่ก่อมะเร็ง

3. ป้องกันเสียง ฟองอากาศเล็กๆ ที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตมวลเบาช่วยลดทอนความดัง และช่วยดูดซับเสียงได้ดี บล็อกคอนกรีตมวลเบา เมื่อฉาบปูนหนา 1 ซ.ม. ทั้งสองด้านจะมีค่าอัตราการป้องกันเสียง STC. (SOUND TRANSMISSON CLASS) 43 เดซิเบล จึงมั่นใจได้ว่าเสียงจะไม่ผ่านไปยังห้องข้างเคียงได้

4. ความสะดวกในการทำงาน ด้วยคุณสมบัติที่บล็อกคอนกรีตมวลเบา ที่มีน้ำหนักเบา ทำให้สามารถขนย้ายได้สะดวก ทำงานได้รวดเร็ว อีกทั้งบล็อกคอนกรีตมวลเบาแต่ละก้อนมีมิติเที่ยงตรง ทำให้ก่อผนังได้ไว ประหยัดปูนก่อ ฉาบ ยิ่งไปกว่านั้นบล็อกคอนกรีตมวลเบายังสามารถตัดได้ด้วยเลื่อยมือ และเซาะร่องสำหรับฝังงานท่อได้ง่ายกว่าอิฐมอญ หรืออิฐบล็อกทั่วไป

5. การทนไฟ คอนกรีตมวลเบามีคุณสมบัติในการทนไฟได้ดีมาก ที่ความหนา 75 ม.ม. สามารถทนไฟที่อุณหภูมิ 815 องศาเซลเซียส ได้นานกว่า 4 ชั่วโมง โดยไม่พังทลาย ทนไฟได้นานกว่าผนังอิฐมอญถึง 2-4 เท่า จำกัดบริเวณและลดความเสียหายจากเพลิงไหม้เพิ่มความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน

6. ทนทาน-ไม่เป็นพิษ ความแข็งแรง ทนทาน เนื้อของบล็อกคอนกรีตกับฟองอากาศ กำลังจึงเพิ่มขึ้นตลอด ผู้ใช้อาคารจึงมั่นใจได้ในความทนทานของผนังคอนกรีตมวลเบา ว่าจะคงทนเช่นเดียวกับคอนกรีตทั่วไป และไม่เป็นพิษต่อผู้ใช้ เมื่อหยิบหรือสัมผัส ปลวก หนูแมลง ไม่กัดแทะไม่สึกกร่อน และสามารถทนต่อสภาพอากาศได้ทุกสภาวะทุกภูมิประเทศ

2.2.4 คุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตมวลเบามีดังนี้

1) ความแข็งแรง ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตมวลเบาจะมีค่าประมาณ 10 ถึง 140 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ยกเว้นคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง ซึ่งมีค่ากำลังต้านทานแรงอัด 100 ถึง 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาทั่วไปอาจทำให้สูงขึ้น โดยการใช้ทรายธรรมชาติแทนมวลรวมน้ำหนักเบา แต่จะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงกว่า

2) ความคงทน คอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไป ไม่สามารถทนการกัดกร่อนจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพ และการกระทบกระแทกเนื่องจากแรงภายนอก เนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีโพรงอากาศอยู่ภายใน ดังนั้น คอนกรีตมวลเบาจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพที่มีสารจำพวกซัลเฟตเจือปนอยู่หรือในสภาพดินชื้น ดังนั้นในการนำไปใช้งานควรมีการฉาบผิวเพื่อป้องกันการสึกกร่อน

3) การหดตัว คอนกรีตมวลเบาหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5 – 40 % แต่คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมซึ่งเป็นผลิตผลจาก ดินเผา ดินดานหรือตะกรัน จะหดตัวน้อยลง

4) การนำความร้อน คอนกรีตมวลเบาเป็นตัวนำความร้อนที่เลว เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีโพรงอากาศมาก ทำให้คอนกรีตมวลเบาดูดซึมความร้อนได้ไม่ดี

5) หน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่น ประมาณ 300 – 1800 กก./ลบ.ม. กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ประมาณ 4 – 480 กก./ตร.ซม.

6) การดูดซึมน้ำ คอนกรีตมวลเบาดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า

7) ค่ายุบตัว ในปริมาณความสามารถเทได้เท่ากันคอนกรีตมวลรวมเบา จะมีค่ายุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป

8) ความสามารถทนไฟ ทนไฟได้ดี

9) สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตมวลเบา ประมาณ 7×10^{-6} ถึง 14×10^{-6} ต่อองศาเซลเซียสซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดาซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวประมาณ 9.4×10^{-6} ต่อองศาเซลเซียส

10) การกันเสียง กันเสียงได้ดีมีการทดสอบเรื่องการกันเสียงมากมาย พบว่าผนังที่ทำจากคอนกรีตพรุนสามารถกันเสียงได้ดี

11) การก่อสร้าง ทำได้ง่ายเพราะสามารถใช้เลื่อยชนิดฟันห่าง ๆ เลื่อยตัดแต่งได้ตามต้องการง่ายกว่าไม้เสียอีก

2.2.5 ข้อควรระวังของคอนกรีตมวลเบาในการใช้งานประกอบด้วย

1) การแยกตัว ถ้าส่วนผสมมีค่ายุบตัวมากหรือมีการจี้เขย่ามากเกินไป คอนกรีตจะเกิดการแยกตัว มวลรวมจะลอยตัวสู่ผิวหน้าคอนกรีต การแต่งผิวทำได้ยาก

2) การดูดซึมน้ำ ของมวลรวมจะมาก ดังนั้นในการออกแบบสัดส่วนส่วนผสมต้องนำปัจจัยนี้มาพิจารณา รวมทั้งกำหนดวิธีการผสม

3) การผสม การใช้เวลาผสมที่นานเกินไป อาจทำให้ฟองอากาศในมวลเบาแตกได้

4) ความทนทาน เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาจะมีอัตราการดูดซึมมากกว่าคอนกรีตธรรมดา ซึ่งในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก อาจทำให้เกิดสนิมในเหล็กไดเร็วกว่า ซึ่งมีผลทำให้ความทนทานของคอนกรีตลดลง

2.2.6 การนำคอนกรีตพรุนมาประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ

คอนกรีตพรุนนี้มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบา ป้องกันความร้อน รวมทั้งยังป้องกันเสียงสะท้อนได้ดีอีกด้วยดังกล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามเราสามารถประยุกต์การใช้งานได้โดยใช้ทำวัสดุสำเร็จรูป เช่น คอนกรีตบล็อก (Masonry Block) กำแพงสำเร็จรูปใช้สำหรับกำแพงประเภทที่รับน้ำหนัก (Bearing or Nonload – bearing Walls) แต่คอนกรีตพรุนที่ใช้ทำกำแพงรับน้ำหนักควรหนาไม่น้อยกว่า 3 นิ้ว กำแพงที่สร้างด้วยคอนกรีตนี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เนื่องจากเป็นฉนวนความร้อนที่ดี และมีน้ำหนักเบาจนสามารถลดขนาดของคานและเสาได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังมีความสม่ำเสมอในด้านขนาดและคุณสมบัติทางกายภาพ

2.2.7 ความแตกต่างระหว่างคอนกรีตระบบมวลเบา CLC กับ ACC

คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC (Cellular lightweight Concrete) เป็นระบบการผลิตที่ใช้ส่วนผสมของปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย น้ำ และผสมน้ำยาที่ทำให้เกิดฟองอากาศในคอนกรีตที่เป็นเม็ดกลมขนาดเล็กมาก ซึ่งจะมีความมั่นคงจนคอนกรีตก่อตัวแข็ง มีหน่วยน้ำหนักต่ำอยู่ระหว่าง 300 - 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้งานในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตได้หลากหลายประเภท เช่น การนำไปผลิตอิฐ, ผนังเบา, ผนังเบาหล่อในที่, ผนังฉนวนกั้นความร้อน, พื้นปรับระดับที่ต้องทับหน้าด้วยคอนกรีต, ฉนวนกันความร้อนหลังคา ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากเทคโนโลยี CLC จึงมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคอนกรีตปกติ ฟองอากาศแบบไม่ต่อเนื่องในมวลคอนกรีตก่อให้เกิดผลดี คือ น้ำหนักเบา ป้องกันความร้อน เสียง และทนไฟได้ดีกว่าคอนกรีตปกติอีกทั้งกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC จึงเหมาะ ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง หรือทำโครงสร้างอาคาร โดยเฉพาะผนังทั้งภายในและภายนอก

คอนกรีตมวลเบาระบบ AAC (Autoclaved Aerated Concrete) ผลิตขึ้นมาจากส่วนผสมของวัตถุดิบ ทราย น้ำ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ยิบซั่ม และผงอลูมิเนียมที่ใช้ก่อฟองอากาศ โดยการผสมสูตรที่เหมาะสม และผ่านการอบด้วยไอน้ำความดันสูง ทำให้มีฟองอากาศมากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตร จึงทำให้วัสดุ AAC เบากว่าน้ำ (ลอยน้ำ) โดยมีน้ำหนักระหว่าง 400 - 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เทียบกับคอนกรีตทั่วไปที่ 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ อิฐมอญที่ 1350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ปัจจุบันมีการผลิตคอนกรีตมวลเบาทั้งแบบ Autoclaved Aerated Concrete (AAC) และแบบ Cellular Lightweight Concrete (CLC) ซึ่งมีคุณสมบัติความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความแตกต่างระหว่างคอนกรีตมวลเบาระบบ AAC กับ CLC

ข้อแตกต่าง	AAC (Autoclaved Aerated Concrete)	CLC (Cellular Lightweight Concrete)
ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย	สูงกว่า ต้องใช้พลังงานสูงในบวนการอบผลิตภัณฑ์ด้วยไอน้ำที่แรงดันสูง เข้าเตาอบAutoclave) เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว	จะประหยัดกว่ามากคอนกรีตแข็งตัวตามธรรมชาติได้เอง
มวลผสม	ต้องมีการบดทราย	ไม่ต้องมีการบดทราย ให้สิ้นเปลืองพลังงาน
การทำให้เกิดฟองอากาศ	ใช้ผงอลูมิเนียม ทำให้เกิดฟองอากาศ	ใช้น้ำยา ทำให้เกิดฟองอากาศ
การดูดซึมน้ำ (โดยปริมาตร)	30-35%	18-25%
ค่าความหนาแน่น	400 - 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	300 - 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
วัตถุดิบ	ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย น้ำ ปูนขาว ยิบซั่ม และผงอลูมิเนียม	ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย น้ำ และน้ำยา
ปริมาณการผลิต	ผลิตได้จำนวนมาก	ผลิตได้ค่อนข้างน้อย
มาตรฐานการผลิต	การผลิตค่อนข้างแน่นอน	การผลิตมีความแน่นอนน้อยกว่า
การขึ้นรูป	ขึ้นรูปเป็นแบบต่าง ๆ ได้	ขึ้นรูปเป็นแบบต่างๆง่ายกว่า

2.2.8 คอนกรีตมวลเบาในงานคอนกรีตอัดแรง

การนำคอนกรีตมวลเบามาใช้ในงานคอนกรีตอัดแรง เพื่อเหตุผลในการลดน้ำหนักตายตัวของโครงสร้างซึ่งทำให้ประหยัดค่าวัสดุรวมถึงฐานรากของอาคาร นอกจากนี้ในกรณีน้ำหนักขององค์อาคารเป็นอุปสรรคในการขนส่งและการก่อสร้าง วิศวกรอาจเลือกใช้คอนกรีตมวลเบา โดยการพิจารณาคุณสมบัติเกี่ยวกับกำลังอัดประลัย โมดูลัสความยืดหยุ่น อัตราส่วนปัวซอง กำลังดึง ผลของการคืบและการหดตัว ดังต่อไปนี้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1. กำลังอัดประลัย

การควบคุมส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาให้มีกำลังอัดประลัยระหว่าง 350-510 กก./ซม.^{2} ซึ่งใช้ในงานคอนกรีตอัดแรงสามารถทำได้ โดยขณะถ่ายแรงของคอนกรีตอัดแรงจะมีกำลังอัดประมาณ 285 กก/ซม.^{2} ในเวลา 1 - 3 วัน ได้โดยใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 และการบ่มคอนกรีต

2. โมดูลัสความยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซอง

คอนกรีตมวลเบามีข้อเสียเปรียบคือ โมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำโดยเกณฑ์เฉลี่ยคอนกรีตมวลเบามี E_c เป็น 55 เปอร์เซ็นต์ของคอนกรีตธรรมดา สำหรับ E_c ตามมาตรฐาน ACI code ใช้ได้สำหรับคอนกรีตมวลเบา ค่าโมดูลัสต่ำของคอนกรีตมวลเบาทำให้เกิดการสูญเสียแรงอัดสูง นอกจากนี้องค์อาคารจะเกิดการหดตัวทันทีขณะทำการถ่ายแรงมากกว่าคอนกรีตมวลธรรมดากรณีที่แรงอัดคานเท่ากัน นอกจากนี้การแอ่นตัวขององค์อาคารของคอนกรีตมวลเบาจะมีค่ามากกว่า สำหรับค่าอัตราส่วนปัวซอง คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตมวบธรรมดามีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนปัวซองเท่ากัน

3. กำลังดึง

กำลังดึงของคอนกรีตมวลเบามีค่าแตกต่างกัน ตามชนิดของมวลคละที่ใช้ในส่วนผสมในการออกแบบควรทำการทดลองหากำลังดึงจากตัวอย่างจริงมาตรฐาน ACI code กำหนดให้ใช้ค่ากำลังดึงที่ได้จากการกดแท่งกระบอกแนวนอน (splitting tensile strength , f_{ct}) ในการวิเคราะห์การแตกร้าวและกำลังเฉือนขององค์อาคารคอนกรีตมวลเบา เกณฑ์เฉลี่ยของ f_{ct} เป็น $0.33\sqrt{f'_c}$ สำหรับคอนกรีตมวลเบา

4. การคืบและการหดตัว

ความเครียดการหดตัวของคอนกรีตมวลเบามีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลธรรมดาผลของการวิจัยพบว่าความเครียดการหดตัวสูงกว่าในคอนกรีตมวลธรรมดา 6-38 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจจะต่ำกว่า สำหรับการ

105247

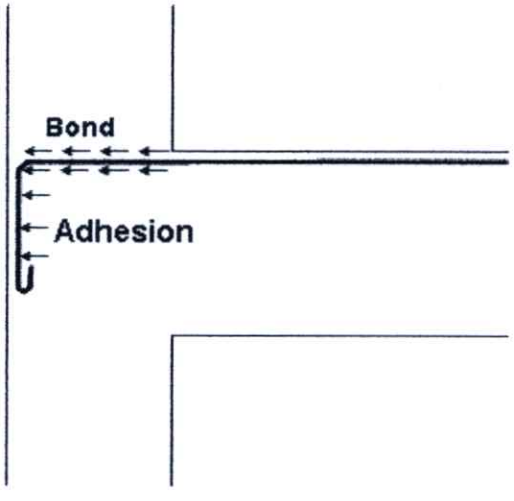
คืบก็เช่นเดียวกันความเครียดการคืบในคอนกรีตมวลเบามีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลธรรมดา โดยมีช่วงการแตกต่างไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ อาจกล่าวได้ว่าการคืบหรือการหดตัวเกี่ยวข้องกับเนื้อซีเมนต์เหลวและไม่ขึ้นชนิดของมวลคละที่ใช้

5. แรงยึดเหนี่ยว (Bond Strength)

โครงสร้างคอนกรีตทั่วไปมักมีการเสริมเหล็กเพื่อช่วยในการรับแรง ดังนั้นกำลังในการยึดเหนี่ยว (Bond Strength) ของคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่เพียงพอจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา เพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถรับแรงหรือถ่ายแรงได้เต็มประสิทธิภาพตามที่ได้ออกแบบไว้

กำลังในการยึดเหนี่ยวเกิดจากการยึดติด (Adhesion) และแรงเสียดทาน (Friction) ของเหล็กเสริมกับซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแรงยึดเหนี่ยว เช่น

- ขณะที่คอนกรีตได้รับการบ่มและแข็งตัวจะเกิดการหดตัว ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตลดลงส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง
- คอนกรีตมีการแตกร้าวหรือน้ำซึมผ่านได้ง่ายก็จะทำให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริมทำให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง
- ตำแหน่งในการเสริมเหล็ก เช่น บริเวณใต้เหล็กบนอาจมีช่องอากาศเนื่องจากการเยิ้ม ทำให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง
- การใส่สารผสมเพิ่ม เช่น สารกักกระจายฟองอากาศ ทำให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิด Bond และ Adhesion ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

นอกจากนี้ชนิดของซีเมนต์ ขนาดของเหล็กเสริม ชนิดของเหล็กเสริม หน้าที่ในการรับแรงของเหล็กเสริม (รับแรงดึง แรงอัดหรือแรงดัด) การจี้เขย่าบริเวณเหล็กเสริมและสภาวะแวดล้อมต่างก็มีผลกระทบต่อแรงยึดเหนี่ยวทั้งสิ้น

การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวด้วยการดึง (Bond Pull-Out Test) เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการเปรียบเทียบค่ากำลังในการยึดเหนี่ยวของคอนกรีต ซึ่งทำโดยการหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. แล้วฝังเหล็กเสริมไว้ เมื่อคอนกรีตมีอายุตามต้องการก็ทำการดึงเหล็กเสริมออกด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง วัดระยะเลื่อนไถลในขณะที่ออกแรงดึงท่อนเหล็กนั้น แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างกำลังยึดเหนี่ยวกับระยะเลื่อนไถล การทดสอบกระทำจนกว่าแรงที่ใช้ดึงท่อนเหล็กมีค่าเท่ากับกำลัง ณ จุดครากของเหล็กนั้น หรือ เมื่อคอนกรีตเริ่มชำรุดแยกออกจากกัน หรือ จนกระทั่งระยะเลื่อนไถลมีค่ามากกว่า 2.5 มม. การคำนวณหาค่ากำลังยึดเหนี่ยว (Bond Strength) หาได้จากแรงดึงหารด้วยพื้นที่ผิวของเหล็กเสริมที่สัมผัสกับคอนกรีต

ในทางปฏิบัติถือว่า กำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีต (Bond Strength) มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของคอนกรีต คือ เมื่อกำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นกำลังยึดเหนี่ยวจะเพิ่มขึ้นตาม และกำลังยึดเหนี่ยวของเหล็กข้ออ้อยจะมากกว่าเหล็กกลม และกำลังยึดเหนี่ยวจะลดลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ไม่เท่า

2.3 การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา

รณชัย รักวงศ์ ,วัชระ มณีวงศ์ และ ศิริพงศ์ พรหมศาสตร์, *อิทธิพลของผงอลูมิเนียมที่มีต่อคุณสมบัติคอนกรีตเบา*, ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.

ได้ทำการวิจัย อิทธิพลของผงอลูมิเนียมที่มีต่อคุณสมบัติคอนกรีตเบา คอนกรีตเบาที่ทำขึ้นจากวัสดุผสมต่าง ๆ จะมีน้ำหนักต่างกันมาก ซึ่งอาจมีหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมตั้งแต่ 3- 400 ksc. กำลังต้านทานแรงอัดมีค่าขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ถ้าหน่วยน้ำหนักสูง กำลังต้านทานแรงอัดก็สูงด้วย ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ก็มีส่วนต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเช่นกัน คอนกรีตเบาที่ผลิตโดยวิธีผงอลูมิเนียมจะรับกำลังได้น้อยและความหนาแน่นจะน้อยลงตามส่วนผสมปริมาณผงอลูมิเนียมที่ใส่เพิ่มลงไป

ณะลือชา หล้าหลัน และ ศุธัญญกานติ์ รัตนพงศ์, *การผลิตคอนกรีตมวลเบาโดยใช้ตะกอนประปา*, ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

ได้ทำการศึกษาวิธีการใช้ตะกอนประปา เพื่อนำมาเป็นส่วนผสมในการแปรรูปให้เป็นคอนกรีตมวลเบา โดยทำการศึกษาข้อมูลของตะกอนประปา แล้วจึงทำการทดสอบคุณสมบัติของตะกอนประปา โดยนำไปหาสัดส่วนในการผสมที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยใช้ตะกอนประปาเป็นส่วนผสม ได้ทำการออกแบบสัดส่วนการผสมไว้ 10 แบบการผสม ในแต่ละแบบการผสมจะมีสัดส่วนของตะกอนประปามากน้อยตามแบบการผสม เมื่อทำการผสมและขึ้นรูปคอนกรีตมวลเบา ได้นำไปทำการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด อัตราการซึมน้ำ นำผลการทดสอบมาสรุปผลและทำการวิเคราะห์ผลเพื่อสรุปผลการทดสอบหาปริมาณสัดส่วนในการผสมที่พอเหมาะในการผลิตคอนกรีตมวลเบาโดยใช้ตะกอนประปาเป็นส่วนผสมได้จริง

ชาติชาย พรหมวงศ์, นายศาศวัต เอี่ยมโหมด และ วิไลรัตน์ สุขศรี , *อิทธิพลของโฟมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา*, ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

เป็นการศึกษาอิทธิพลของโฟมที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของคอนกรีตเบา โดยใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศก่อนแล้วจึงนำไปผสมกับซีเมนต์และน้ำ มีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาคอนกรีตเบาเพื่อนำไปใช้ในงานโครงสร้าง ซึ่งมีความหนาแน่นระหว่าง 1,400 - 1,800 กก./ลบ.ม.

และกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน มากกว่า 180 กก./ตร.ซม. ทดลองโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.3 , 0.4 โดยทำการทดลองผสมโฟมที่ได้จากน้ำยาแต่ละตัวลงไปในคอนกรีต โดยการปรับปริมาณฟองอากาศที่ใช้เพื่อให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงไปอยู่ในช่วงที่ต้องการ แล้วทำการทดสอบว่าคอนกรีตผสมกับฟองอากาศตัวใดแล้วให้คุณสมบัติเหมาะสมที่สุด ใช้ซีเมนต์เพสท์และมอร์ต้าโดยใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด อัตราการซึมผ่าน การยืดหดตัว และการบ่มด้วยน้ำ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สามารถนำไปออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้างได้ โดยการปรับลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณฟองอากาศและปริมาณทรายให้เหมาะสม ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 เริ่มการทดลองโดยการผสมซีเมนต์เพสท์กับฟองอากาศ โดยการปรับปริมาณฟองอากาศที่ใช้ผสมกับซีเมนต์เพสท์เพื่อให้ได้ความหนาแน่นอยู่ระหว่างช่วงที่ต้องการ

กาญจนา ออมกระโทก และ อารีรัตน์ สุทธิ , *วัสดุผสมสำหรับคอนกรีตเบา*, ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.

ได้ศึกษาถึงวัสดุที่สามารถนำมาผสมกับคอนกรีตในการทำคอนกรีตน้ำหนักเบา ทั้งที่เป็นชนิดแทนมวลรวมหยาบและแทนมวลรวมละเอียด ในการทำโครงงานนี้ ได้นำวัสดุที่มีน้ำหนักเบา และเป็นวัสดุเหลือใช้ มาใช้ให้เกิดประโยชน์คือ อิฐหัก เป็นวัสดุที่ได้จากการรื้อถอนอาคาร ขี้เลื่อย เป็นวัสดุที่ได้จากการแปรรูปไม้และ โฟม เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบามากและกำลังเป็นที่สนใจในการนำมาผสมคอนกรีตเพื่อทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา วัสดุทั้ง 3 ชนิด ได้นำมาผสมกับ ทราย ซีเมนต์ และหิน เป็นคอนกรีต โดยใช้สัดส่วนต่าง ๆ กัน แล้วนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมซึ่งเป็นการแนะนำวัสดุชนิดใหม่ เพื่อใช้แทนทราย หรือหิน ที่มีอยู่ตามธรรมชาติซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ไพศาล ลีลาเลอเกียรติ , *แรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตผสมเถ้าลอยหล่อแบบแรงเหวี่ยง*, วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

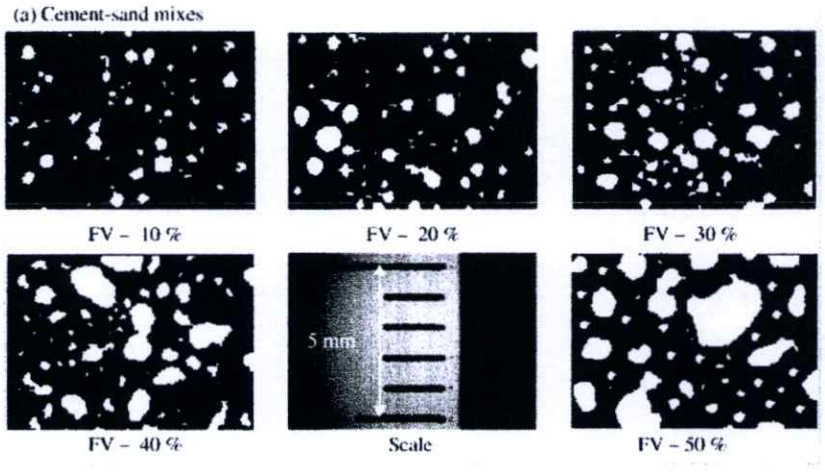
ได้ศึกษาการใช้เถ้าลอยในคอนกรีตที่มีต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและลวดอัดแรงชนิดมีร่อง (Indented Wire) โดยใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยล่ะ 0, 15, 20 และ 25 และปูนซีเมนต์ MPC 30 ที่อายุการบ่ม 1, 3 และ 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35, 0.45, 0.55 และ 0.65 และใช้สารลดน้ำอย่างมาก 1 เปอร์เซ็นต์และใช้น้ำควบคุมค่าการยุบตัวให้อยู่ในช่วง 3-5 เซนติเมตร พบว่าทั้งกำลังรับแรงอัดและแรงยึดเหนี่ยวมีค่าลดลง เมื่อสัดส่วนเถ้าลอยเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนที่มีความเหมาะสมในด้านกำลังคือที่ปริมาณเถ้าลอย 15 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ทำให้กำลังรับแรงอัดและ

แรงยึดเหนี่ยวลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.65 จะมีแรงยึดเหนี่ยวต่ำกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35 ประมาณ 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะลื่นไถล 2.5 มิลลิเมตร และประมาณ 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบที่แรงยึดเหนี่ยวสูงสุด การหล่อแบบแรงเหวี่ยงทำให้กำลังรับแรงอัด แรงยึดเหนี่ยว และความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 9 – 20%, 15 – 25%, 2 – 10% ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการหล่อแบบแรงเหวี่ยงบีบน้ำออกจากคอนกรีตทำให้ลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและทำให้คอนกรีตมีช่องว่างลดลง

Kearsley and Visagie , *Air-void characterization of foam concrete, 6 February 2006*

ได้ทำการศึกษาก่อนหน้านี้ ได้ระบุตัวแปรของช่องอากาศที่เป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของวัสดุในโฟมคอนกรีตดังนั้นจึงได้มีการศึกษาอย่างคุณลักษณะของช่องอากาศอย่างละเอียดโดยมีตัวแปรที่แน่นอน ที่สามารถอธิบายและหาปริมาณช่องอากาศในโฟมคอนกรีตได้ บทความนี้ได้ทำการตรวจสอบข้อเท็จจริงของช่องอากาศในโฟมคอนกรีตโดยการพิสูจน์หาตัวแปรบางตัว หาปริมาตร ขนาดการกระจายตัว รูปร่าง ตัวแปรเหล่านี้จะมีผลต่อค่าความหนาแน่นและกำลัง สำหรับคุณสมบัติของรูสามารถหาได้โดยวิเคราะห์จากภาพด้วยโปรแกรมโดยจะต้องถ่ายรูปผิวหน้าของตัวอย่าง แล้วนำมาส่องด้วยกล้องไมโครสโคปเมื่อพิจารณาองค์ประกอบแรกที่มีอิทธิพลต่อกำลังและความหนาแน่น ช่องอากาศในโฟมคอนกรีตที่มีลักษณะเฉพาะ และตัวแปรช่องอากาศที่ถูกพัฒนา ช่องอากาศที่มีลักษณะเฉพาะบนพื้นฐานของปริมาตร ขนาดการกระจาย รูปร่างและช่องว่าง จะสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตัวแปรช่องอากาศทั้งหมดที่ตรวจสอบ, ปริมาตร, ขนาดและช่องว่าง จะมีอิทธิพลต่อกำลังและความหนาแน่น การเติมขี้เถ้าลงในโฟมคอนกรีตจะช่วยให้ได้รูปแบบการกระจายของช่องอากาศมากกว่าการเติมทรายละเอียด ขี้เถ้าจะละเอียดกว่า,จะช่วยในรูปแบบการกระจายของช่องอากาศ และป้องกันจากการรวมตัวกัน และการเหลื่อมล้ำกัน D90 มีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า D50 ในส่วนผสมที่เท่าๆกัน แสดงการเปรียบเทียบรูขนาดเล็กกับรูขนาดใหญ่ที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของโฟมคอนกรีต ในส่วนผสมถ้ามีจำนวนของช่องอากาศน้อยจะทำให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูง ถ้าปริมาณโฟมมากจะเกิดการรวมตัวของฟองอากาศทำให้เกิดเป็นช่องอากาศขนาดใหญ่ จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำ

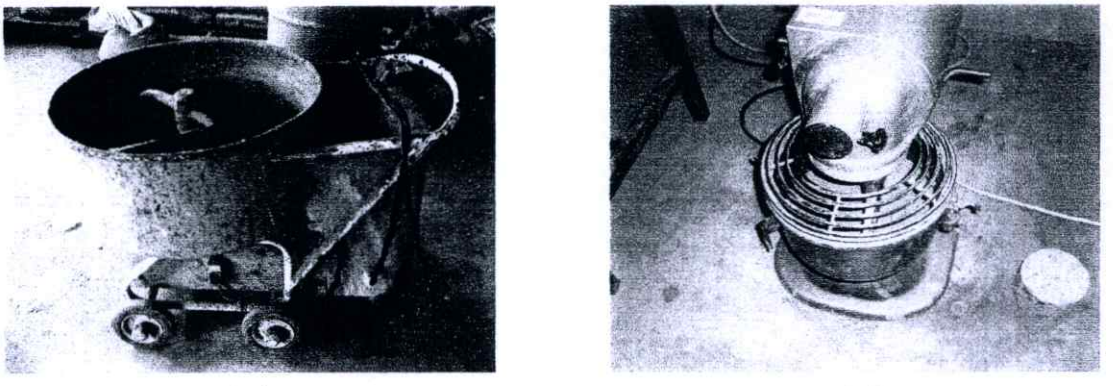


รูปที่ 2.2 แสดงการกระจายตัวในเนื้อคอนกรีต เมื่อมีการเติมฟองอากาศที่ปริมาณต่างๆ

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

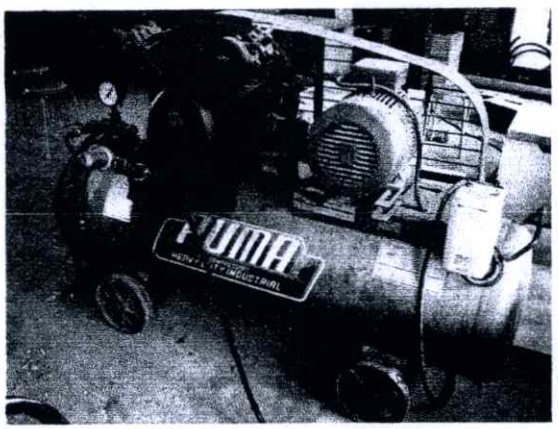
3.1 การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. น้ำ
3. น้ำยาโฟม (Foaming Agent)
4. แบบหล่อขนาด 5cm.×5cm.×5cm. และแบบหล่อขนาด 10cm.×10cm.×10cm.
5. เครื่องชั่ง
6. กระบอกตวงปริมาตร 1 litre
7. ตู้อบ
8. อุปกรณ์ผสมปูน
9. อุปกรณ์ฉีดโฟม

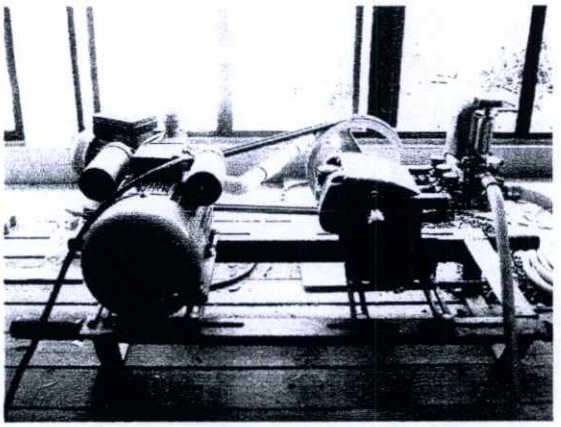


(ก.) (ข.)

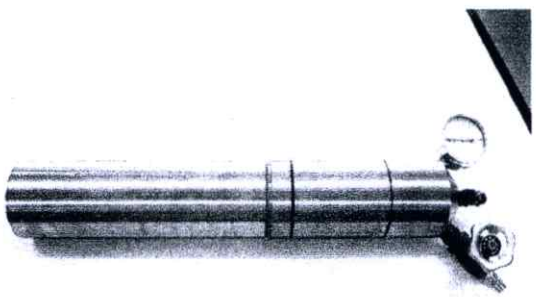
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ผสมปูน
(ก.) เครื่องโม่มอร์ต้าร์
(ข.) เครื่องโม่ซีเมนต์เพสต์



(ค.)



(ง.)



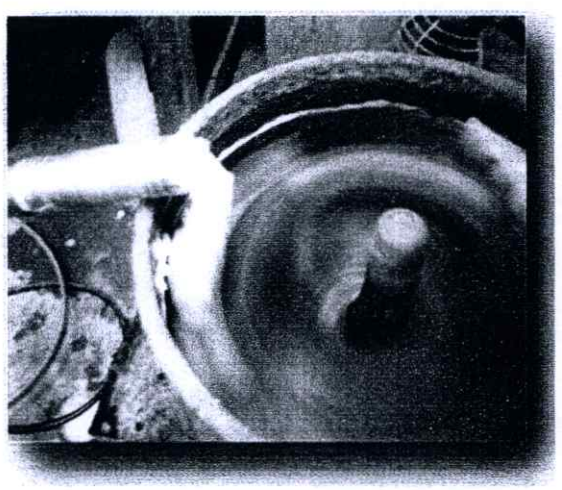
(จ.)

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ฉีดน้ำยาโฟม

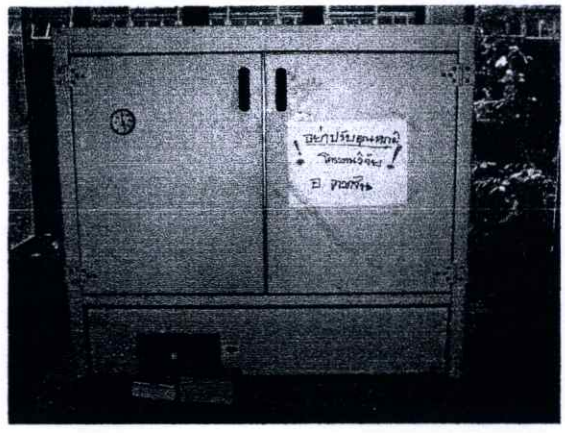
(ค.) เครื่องปั๊มลม

(ง.) เครื่องปั๊มน้ำยา

(จ.) ปืนฉีดโฟม



รูปที่ 3.3 การผสมโฟมกับซีเมนต์เพสท์หรือมอร์ต้าร์



รูปที่ 3.4 ตู้อบ

3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนัก (Compressive Strength)

3.2.1. การเตรียมตัวอย่าง

1. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ น้ำยาโฟม

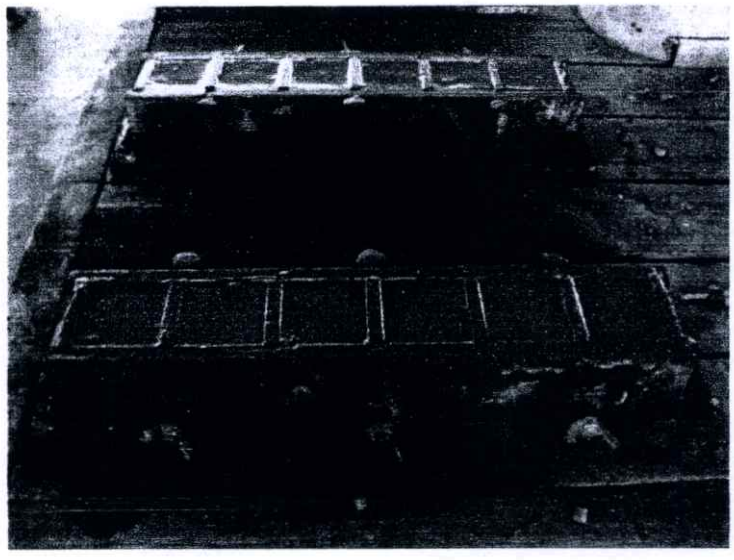
2. ผสมปูนซีเมนต์กับทรายในโม่แล้วทำการปั่นให้เข้ากัน จากนั้นจึงผสมน้ำกับปูนซีเมนต์และทรายในโม่ นำโฟมที่ได้จากการผสมกับน้ำตามอัตราส่วน มาทำการเติมในโม่จนกว่าโฟมและซีเมนต์เพสท์จะเข้ากันดี แต่ไม่ควรใช้เวลาในการผสมเกิน 5 นาที

3. เทมอร์ต้าที่ได้ลงในแบบหล่อขนาด 5cm.×5cm.×5cm. ในแต่ละกรณีใช้ทั้งหมด 15 ตัวอย่าง เพื่อใช้ทำการทดสอบกำลังอัดที่ 3 วัน 7 วัน 14 วัน 28 วันและ 60 วัน

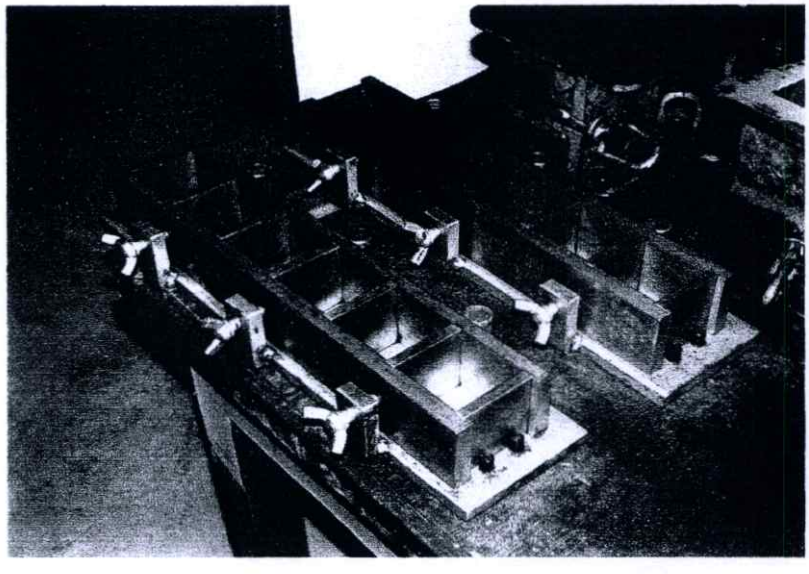
4. จากนั้นทำการเคาะแบบเพื่อให้มอร์ต้าเข้าแบบได้ดีขึ้น จากนั้นปาดแต่งผิวหน้าด้วยเกรียงให้เรียบร้อย

5. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วจึงทำการแกะแบบ จากนั้นจึงนำไปบ่มน้ำ

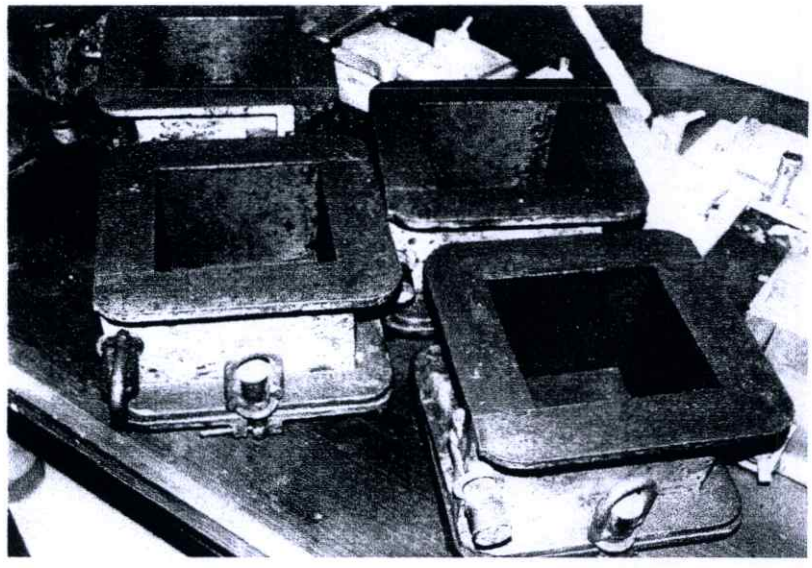
6. เมื่อแท่งตัวอย่างมีอายุครบตามกำหนดแล้วนั้นให้นำแท่งตัวอย่างขึ้นจากน้ำ



รูปที่ 3.5 มอร์ต้าที่ทำการปาดแต่งผิวหน้า



รูปที่ 3.6 แบบหล่อขนาด 5 cm.×5cm.×5cm.



รูปที่ 3.7 แบบหล่อขนาด 10cm.×10cm.×10cm.

รูปที่ 3.8 การทดสอบแท่งตัวอย่าง

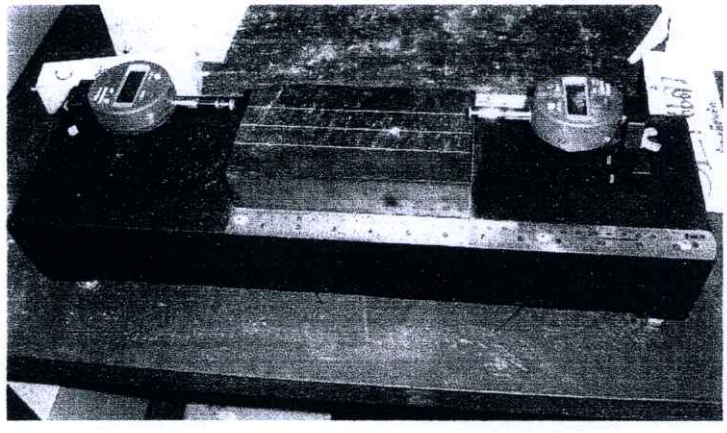
3.3 การทดสอบการหดตัว (Autogenous Shrinkage)

1. ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ น้ำยาโฟม โดยแบ่งเป็นกรณีต่างๆได้ดังนี้

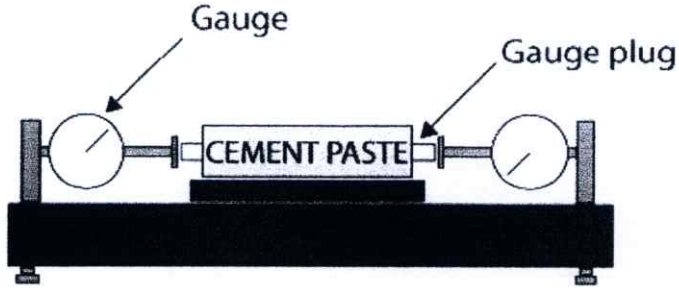
2. จัดเตรียมแบบหล่อโดยทาน้ำมันแบบหล่อ แล้วใส่ gauge plug ลงในแบบ และวัดระยะภายใน gauge plug

3. ผสมวัสดุต่างๆที่ทำการทดลอง เทมอร์ต้าลงในแบบหล่อ 4cm.×4cm.×16cm.

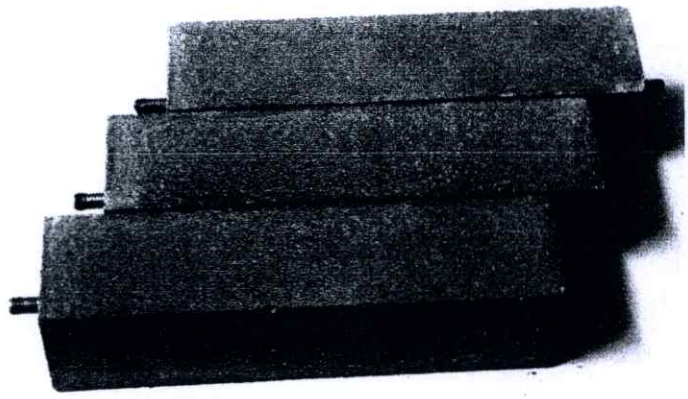
4. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการแกะแบบและทำการวัดระยะเป็นค่าเริ่มต้น แล้วจึงนำแท่งตัวอย่างไปบ่มด้วยวิธี wrapping และนำแท่งตัวอย่างขึ้นมาวัดขนาดทุกวันจนครบอายุ 90 วัน



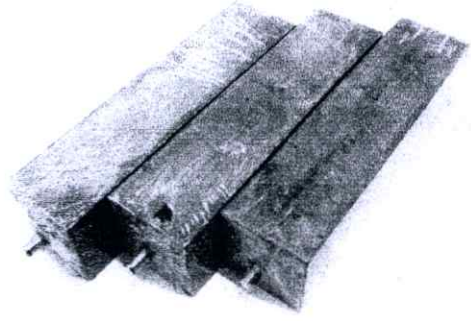
รูปที่ 3.9 เครื่องมือวัดAutogeneous Shrinkage



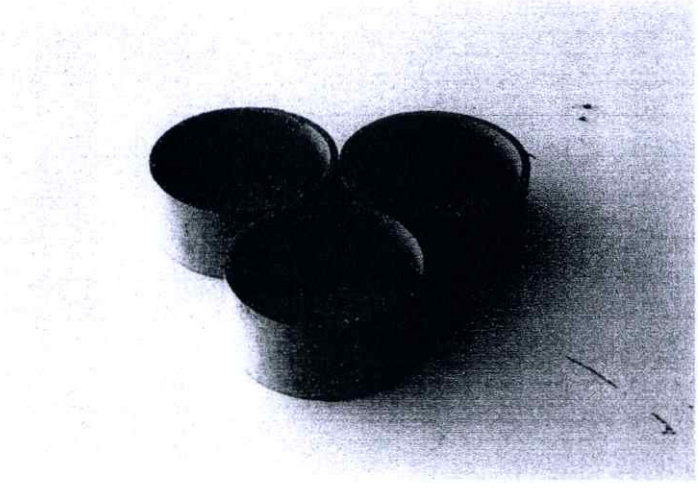
รูปที่ 3.10 แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือวัด Autogenous Shrinkage



รูปที่ 3.11 ชิ้นงานภายหลังจากถอดแบบแล้ว



รูปที่ 3.12 ชิ้นงานที่ทำการ Wrapping แล้ว



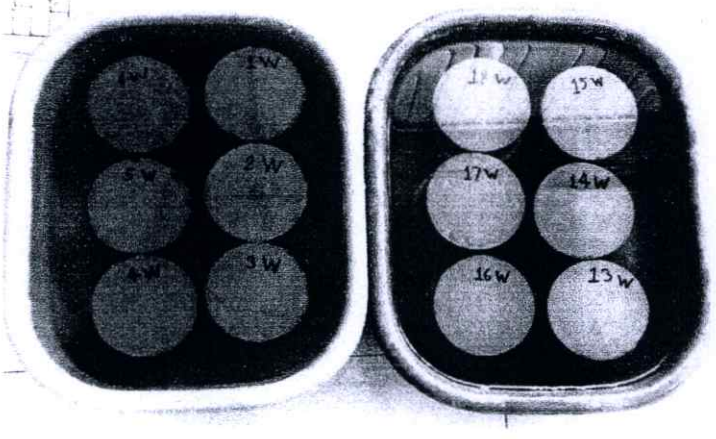
รูปที่ 3.13 แบบหล่อสำหรับทดลองหาอัตราการดูดซึม

3.4 การทดลองหาอัตราการดูดซึม

นำแท่งตัวอย่างไปทำการอบที่อุณหภูมิ 100 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงนำแท่งตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักทำการบันทึกค่า นำแท่งตัวอย่างแช่ในน้ำสะอาดเมื่อครบกำหนดให้นำขึ้นจากน้ำ ทำการซับน้ำที่ผิวออกแล้วทำการชั่งน้ำหนักจดบันทึกค่า คำนวณหาอัตราการดูดซึมดังสมการ

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

รูปที่ 3.14 แท่งตัวอย่างสำหรับทดลองหาอัตราการดูดซึม



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างที่แช่น้ำเพื่อทดลองหาอัตราการดูดซึม

3.5 วิธีการทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว

3.5.1. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. น้ำ
3. น้ำยาโฟม G-S ,L-S ,L-P
4. แบบหล่อขนาด 15cm.×15cm.×15cm.
5. เครื่องโม่
6. เครื่องฉีดโฟม
7. เครื่องชั่ง
8. กระบอกตวงปริมาตร 0.5 litre
9. เหล็ก DB- 12 mm.

3.5.2. วิธีการดำเนินงาน

1. หล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. แล้วฝังเหล็กข้ออ้อยหรือเหล็กกลมที่ต้องการทดสอบลงไป เมื่อก้อนตัวอย่างแข็งตัวแล้ว 24 ซม. จึงถอดแบบและบ่มภายในห้องบ่ม เพื่อรอการทดสอบที่ 28 วันต่อไป

2. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมโดย Micro-meter และระยะที่ฝังเหล็กลงไปในก้อนตัวอย่างคอนกรีตด้วยไม้บรรทัดเหล็ก

3. ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวเข้ากับก้อนตัวอย่าง

4. ติดตั้งก้อนตัวอย่างเข้ากับหัวจับเครื่องทดสอบกำลังดึง และ Dial Micrometer เพื่อวัดระยะเลื่อนของเหล็กเสริม

5. เปิดเครื่องเพื่อดึงเหล็กเสริม โดยควบคุมแรงดึงให้ไม่เกิน 5.78 กก./ตร.ซม./วินาที

6. บันทึกแรงดึงและระยะเลื่อนของเหล็กเสริมทุก 0.02 มม.

7. ทำการทดสอบจนกว่าแรงที่ใช้ดึงเหล็กเสริมถึงจุดสูงสุด หรือเมื่อคอนกรีตเริ่มชำรุดแยกออกจากกันหรือเมื่อระยะลื่นมีค่ามากกว่า 2.5 มม.

8. เขียนกราฟระหว่างแรงยึดเหนี่ยวกับระยะเลื่อนไถลและคำนวณหากำลังยึดเหนี่ยวสูงสุด (Maximum Bond Stress)

3.5.3. การคำนวณหาค่าแรงยึดเหนี่ยว

ค่าแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด (Maximum Bond Strength) หาได้จาก

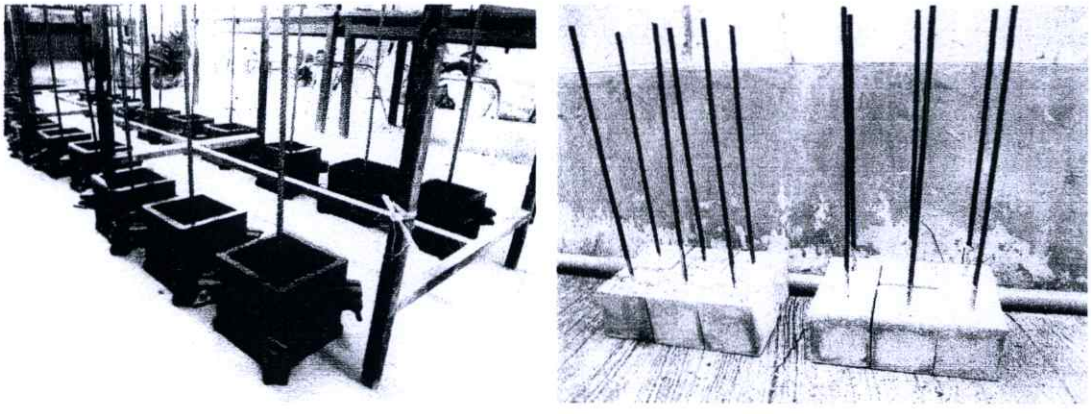
Maximum Bond Strength = $P_{max} / \pi DL$ ksc.

โดยที่

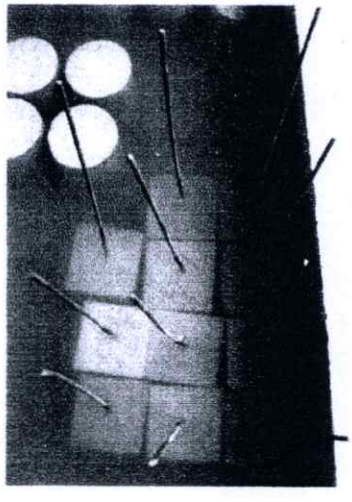
P_{max} = แรงดึงสูงสุด (กิโลกรัม)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดหรือเหล็ก (เซนติเมตร)

L = ระยะฝัง (14 เซนติเมตร)

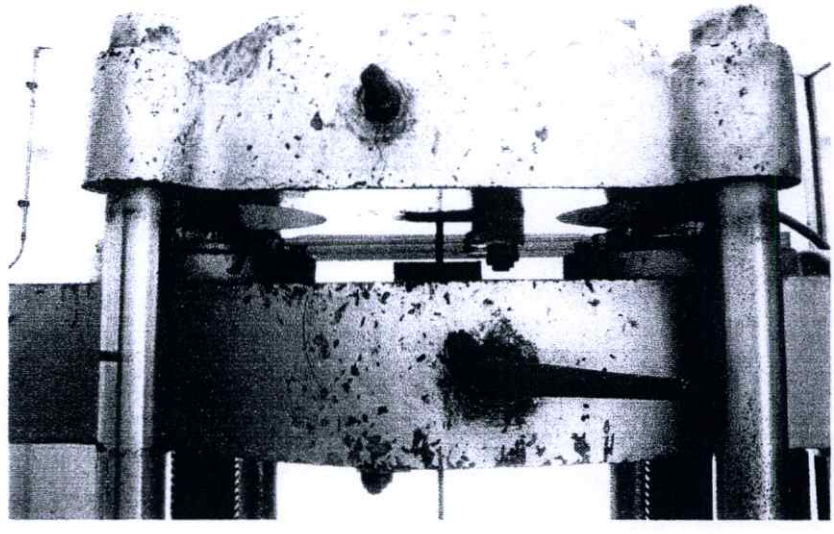


รูปที่ 3.16 แท่งตัวอย่างสำหรับทดลองหาแรงยึดเหนี่ยว



รูปที่ 3.17 การบ่มตัวอย่างโดยการแช่ในน้ำ

รูปที่ 3.18 การติดตั้ง Dial gauge เพื่อวัดการลื่นไถล



รูปที่ 3.19 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่อง UTM

3.6 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างนี้กำหนดให้ผสมโฟมเข้ากับตัวอย่างโดยให้หน่วยน้ำหนักของตัวชิ้นงานลดลงมาช่วงพิจารณา 1,200 – 2,000 kg/m^3 โดยทำการ ศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้

1. อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1
2. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ที่ 0.4 และ 0.5
3. น้ำยาโฟม 3 ชนิด
   - G-S ความเข้มข้น 3%
   - L-S ความเข้มข้น 2%
   - L-P ความเข้มข้น 3.33%
4. ชนิดของทราย แบ่งเป็นทรายละเอียดและทรายหยาบ

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

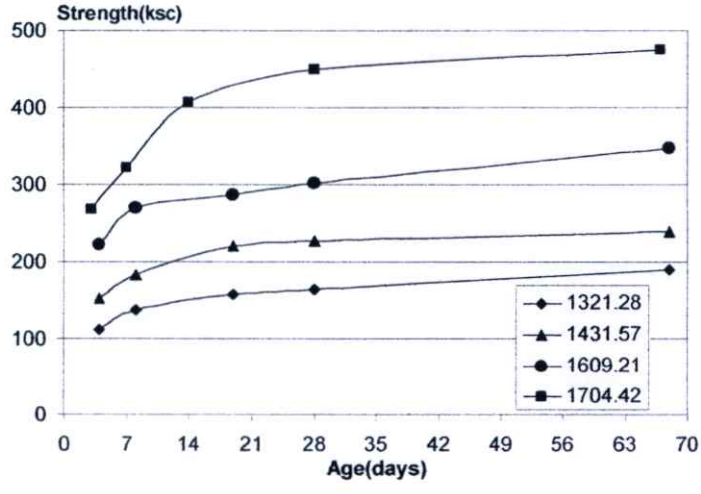
4.1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง

ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบโดยเปลี่ยนตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ

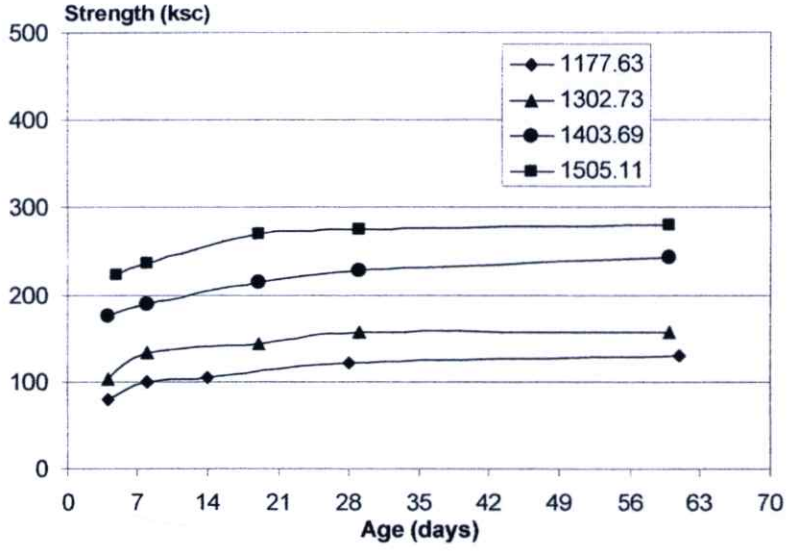
- ชนิดของตัวอย่าง แบ่งเป็นซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าร์
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
- ชนิดของทรายที่ใช้ในการผสมมอร์ต้าร์

4.1.1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

การทดสอบครั้งนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโฟมกับหน่วยน้ำหนักที่ลดลงของซีเมนต์เพสท์ และความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์ ที่ w/c 0.4 และ 0.5 หน่วยน้ำหนักที่พิจารณาอยู่ในระหว่างช่วง 1,200 ถึง 2,000 กก./ม.^{3} ภายหลังจากที่ได้ถอดแบบแล้วนั้นเก็บตัวอย่างด้วยการบ่มน้ำเป็นเวลา 3, 7, 14 , 28 และ 60 วัน นำตัวอย่างไปอบให้แห้งแล้วจึงทำการทดสอบ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของซีเมนต์เพสต์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 น้ำยาโฟมชนิด G-S

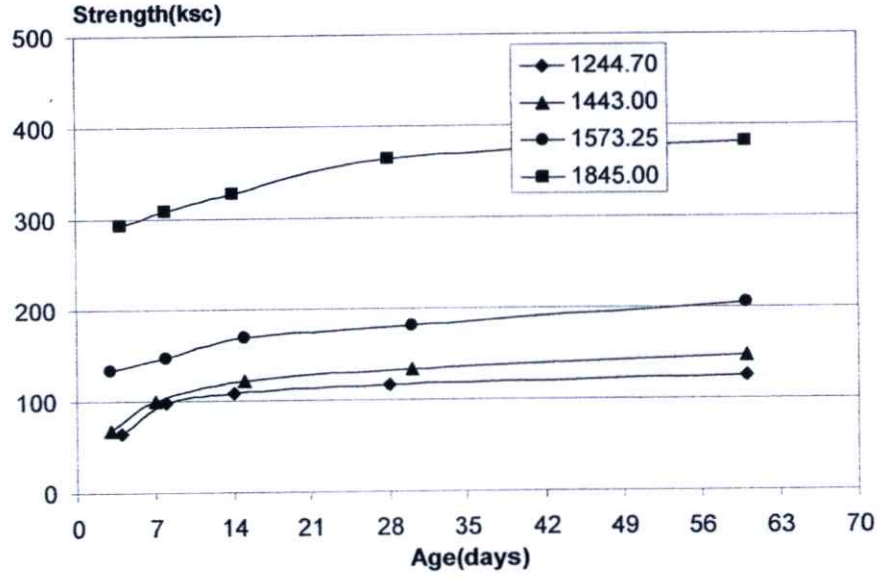


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของซีเมนต์เพสต์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 น้ำยาโฟมชนิด G-S

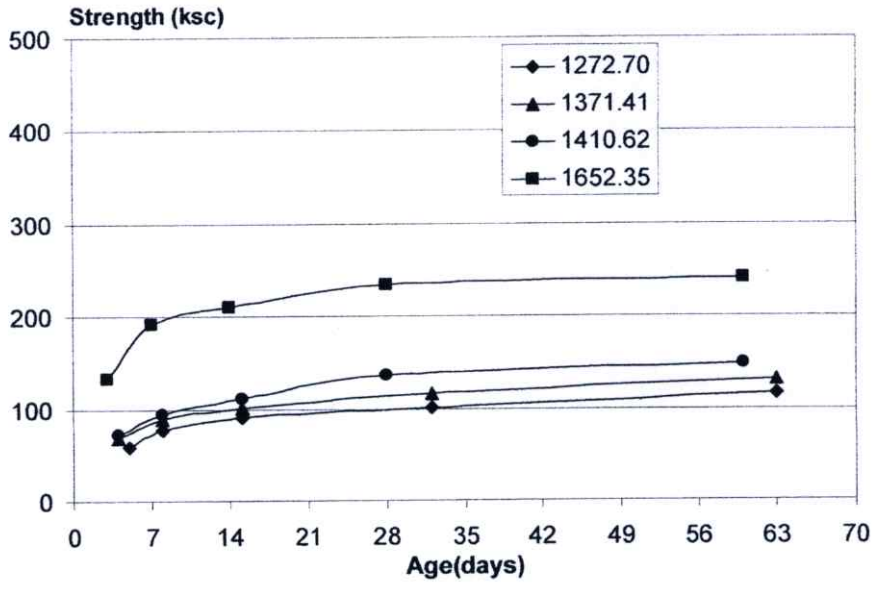
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ แสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่า ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมโฟมที่ทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ ในซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วนั้น ช่องว่างที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ลดลง ซึ่งดูได้จากเมื่อค่าหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ลดลง กำลังรับแรงอัดก็ลดลง ในความ สัมพันธ์ที่แปรผันโดยตรงต่อกัน ซึ่งกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.4 และอายุของตัวอย่าง 28 วันมีค่าอยู่ในช่วง 100-450 กก./ซม.^{2} สำหรับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.5 มีค่าอยู่ในช่วง 120-280 กก./ซม.^{2} เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่หน่วยน้ำหนักเดียวกันจะพบว่า ค่า w/c ที่ 0.4 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าที่ w/c 0.5

4.1.2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์

เนื่องด้วยวัตถุประสงค์หลักของวิจัยนี้ มุ่งเน้นเรื่องการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาเพื่อนำไปใช้ในงานโครงสร้าง ซึ่งมีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,400 - 1,800 กก./ม.^{3} ซึ่งในเบื้องต้นของการทดลองได้มีการปรับสัดส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทราย ตั้งแต่สัดส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายที่ 1:1 ให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุดดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย ที่ 1:1 และใช้ที่ w/c 0.4 และ 0.5 เพื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมมอร์ต้าร์และซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 น้ำยาโฟมชนิด G-S



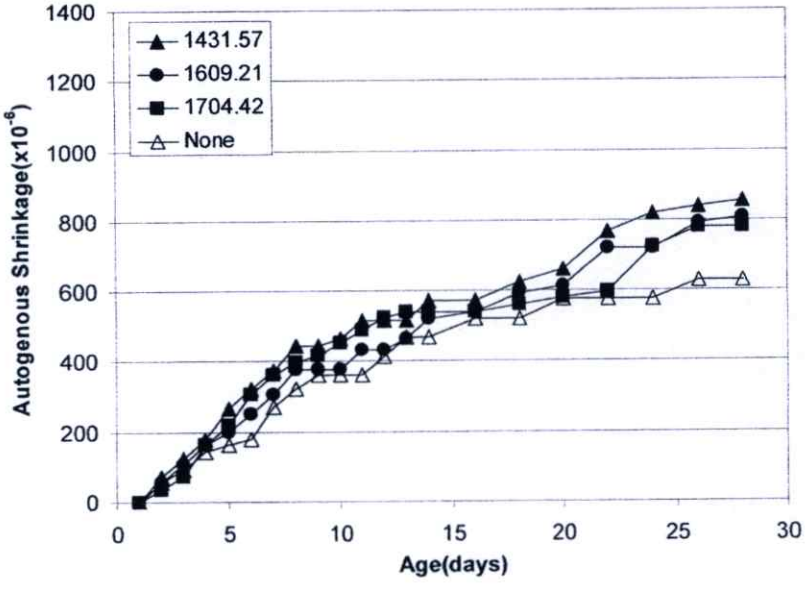
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 น้ำยาโฟมชนิด G-S

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์แสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าเมื่อหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์มากขึ้น จะทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์มากขึ้นเช่นเดียวกับซีเมนต์เพสต์ ซึ่งกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่ w/c 0.4 และอายุของตัวอย่าง 28 วัน จะมีค่าอยู่ในช่วง 120-350 กก./ซม.^{2} สำหรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ w/c 0.5 มีค่าอยู่ในช่วง 100-240 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์เมื่อเปรียบเทียบที่หน่วยนำหนักที่เท่ากัน เนื่องจากอิทธิพลของฟองอากาศมีผลเป็นอย่างมากกับมวลรวมที่ผสมในคอนกรีตซึ่งขนาดของมวลรวมทำให้เกิดการรวมตัวของฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ทำให้ฟอง อากาศที่กระจายตัวอยู่รวมกันเป็นฟอง อากาศขนาดใหญ่ มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์

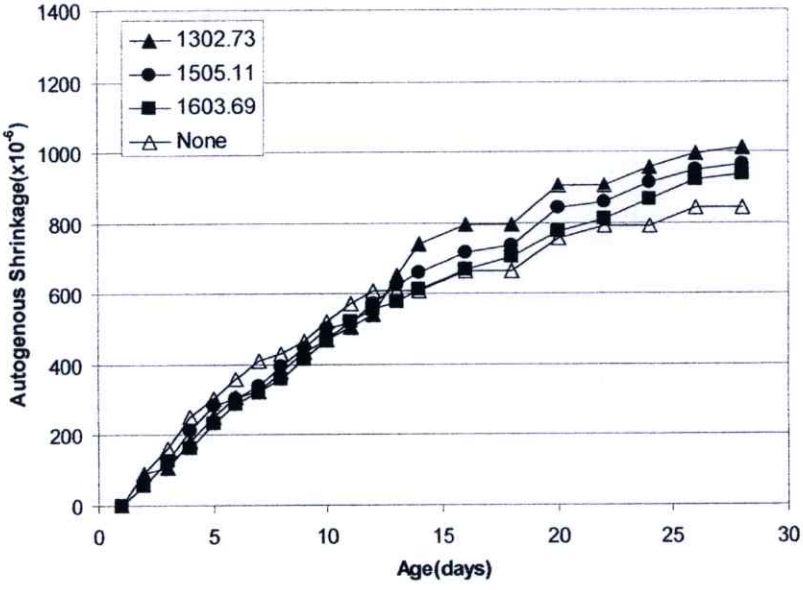
4.2. การทดสอบหาการหดตัว (Autogenous Shrinkage)

การวัดการเกิดปฏิกิริยาการหดตัวด้วยตัวเอง (Autogenous Shrinkage) เป็นการวัดการลดลงของปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ หรือมอร์ต้าร์ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยทำการศึกษาในส่วนของซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบกัน และหาความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างที่อายุต่างๆ โดยใช้ w/c 0.4 และ 0.5 ในการทดสอบและทำการบันทึกข้อมูลทุกวันจนครบ 28 วัน เพื่อหาค่าการหดตัวของตัวอย่าง

4.2.1. การทดสอบการหดตัวกับอายุของซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับอายุของซีเมนต์เพสต์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 น้ำยาโฟมชนิด G-S

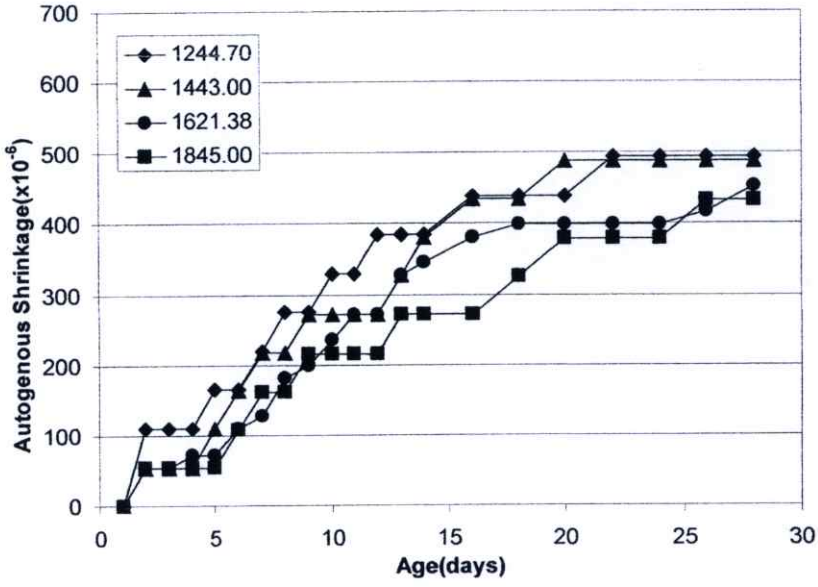


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับอายุของซีเมนต์เพสต์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 น้ำยาโฟมชนิด G-S

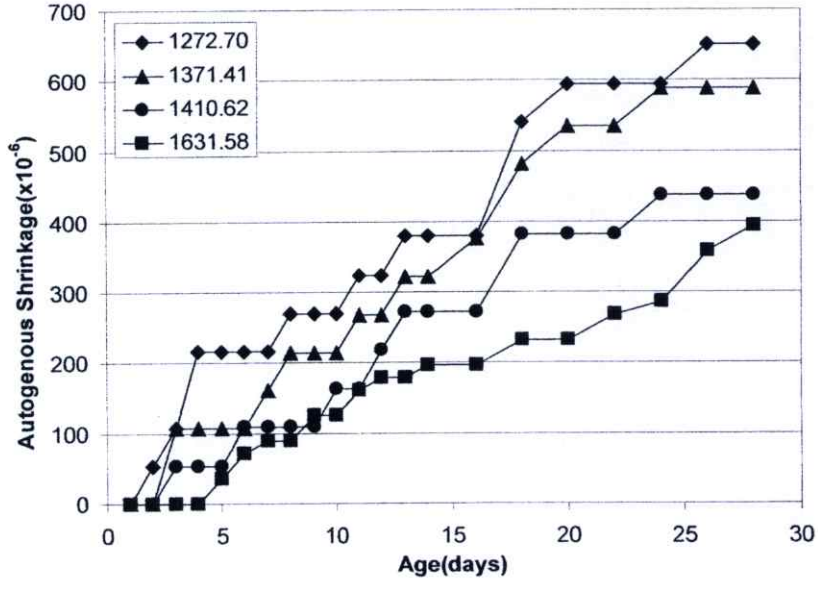
ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับหน่วยน้ำหนักต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าการหดตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของซีเมนต์เพสท์ โดยเมื่อหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์เพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้การหดตัวของซีเมนต์เพสต์น้อยลง ในลักษณะแปรผกผันกัน และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกันพบว่า มีผลต่อค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.4 และ 0.5 พบว่าที่หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์เท่ากัน ค่า w/c เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าการหดตัวน้อยกว่าที่ w/c 0.5 โดยค่าการหดตัวที่อายุซีเมนต์เพสต์ 28 วันมีค่าระหว่าง $778x10^{-6}$ – $856x10^{-6}$ และการหดตัวประมาณ 23.49 - 35.87% ที่ w/c 0.4 เมื่อเปรียบ เทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่เติมโฟมที่ w/c 0.4 และมีค่าระหว่าง $937x10^{-6}$ – $1012x10^{-6}$ และการหดตัวประมาณ 11.15 – 16.69% ที่ w/c 0.5 เมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่เติมโฟมที่ w/c 0.5

4.2.2. การทดสอบการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 น้ำยาโฟมชนิด G-S



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 น้ำยาโฟมชนิด G-S

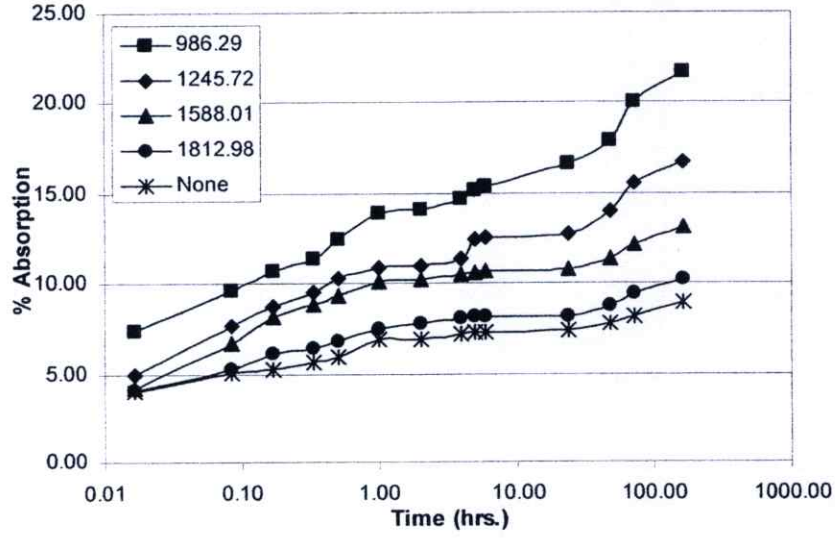
จากการศึกษามอร์ต้าร์มวลเบา ในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่ 1:1 โดยน้ำหนัก พบว่า การหดตัวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออายุของมอร์ต้าร์เพิ่มขึ้น และเมื่อหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์เพิ่มขึ้น การหดตัวที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยลง ในลักษณะเดียวกันกับในส่วนของซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่าการหดตัวของมอร์ต้าร์ที่ w/c 0.4 และ 0.5 พบว่ามีค่าระหว่าง $432x10^{-6}$- $492x10^{-6}$ ที่ w/c 0.4 และมีค่าระหว่าง $393x10^{-6}$- $649x10^{-6}$ โดยเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่เป็นซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักเดียวกัน พบว่า การหดตัวที่เกิดขึ้นในมอร์ต้าร์มีค่าน้อยกว่าการหดตัวที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์

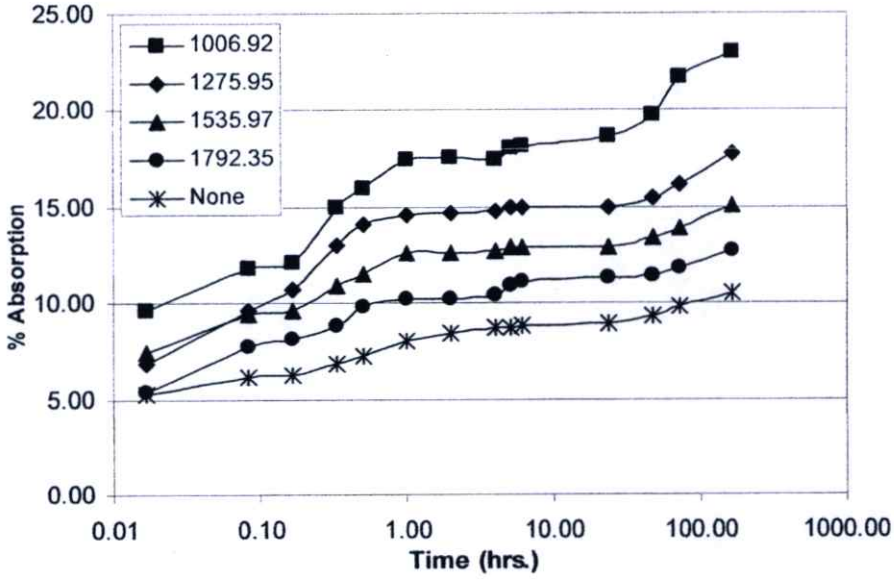
4.3. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ (Absorption)

การวัดค่าการซึมผ่านของมอร์ต้าร์ที่แข็งตัวแล้ว เป็นการวัดน้ำหนักของมอร์ต้าร์ที่เพิ่มขึ้นหลัง จากชิ้นตัวอย่างได้สัมผัสน้ำแล้ว ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเกิดจากมีน้ำหนักของน้ำที่ทดสอบซึมผ่านเข้าไป เมื่อทำการทดสอบไปเป็นเวลานานๆ น้ำที่ซึมผ่านจะมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่ไม่สามารถซึมผ่านได้อีก น้ำหนักของตัวอย่างก็จะคงที่ จากการทดสอบโดยใช้น้ำยา 2 ชนิดคือ G-S และ L-S ซึ่งเป็นน้ำยาประเภท Synthetic Base เช่นเดียวกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมน้ำกับหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์ที่อายุต่างๆ โดยใช้ w/c 0.4 และ 0.5 ในการทดสอบและทำการบันทึกจนอายุตัวอย่าง7 วัน

4.3.1. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ ด้วยน้ำยาโฟมชนิด G-S



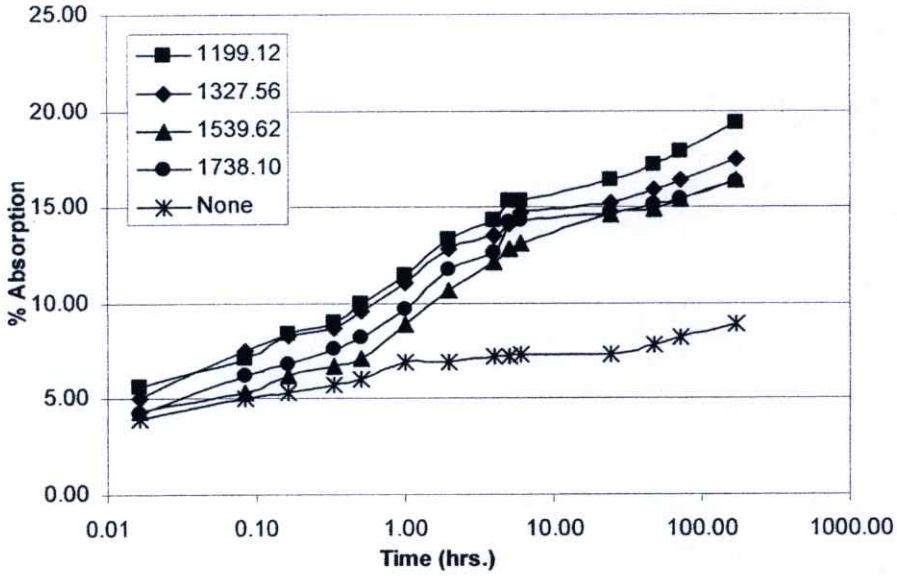
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมกับอายุของมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4



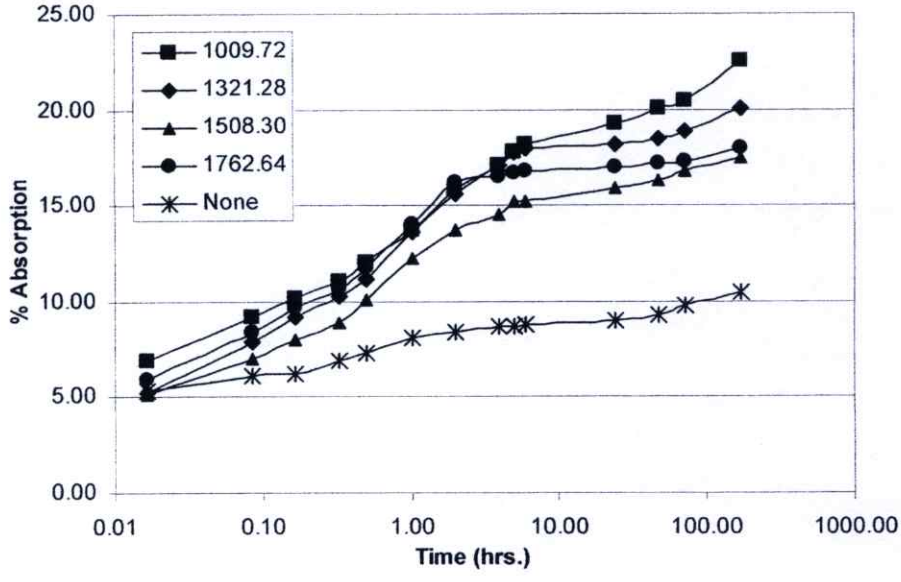
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมกับอายุของมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5

ผลของฟองอากาศที่กระจายตัวในเนื้อคอนกรีต ทำให้เนื้อคอนกรีตมีความพรุนสูง ซึ่งมีผลอย่างมากต่ออัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา จากการศึกษาโดยใช้น้ำยาโฟมชนิดเดียวกัน (G-S) จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่า เมื่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีมวลเบามากขึ้น อัตราการดูดซึมน้ำจะมีค่าลดลง ในสัดส่วนแปรผกผันกัน โดยในช่วงหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาระหว่าง 1,200 – 1,800 กก./ม.^{3} จะให้ค่าอัตราการดูดซึมระหว่าง 10.24 – 21.76% ที่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4 เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เพื่อเปรียบเทียบกัน พบว่า อัตราการดูดซึมน้ำยังเป็นไปตามแนวโน้มเดิม โดยให้ค่าอัตราการดูซึมน้ำระหว่าง 12.66 – 22.98% ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.5 โดยที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4 จะให้ค่าการดูดซึมน้อยกว่าที่ 0.5. เล็กน้อย

4.3.2. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ ด้วยน้ำยาโฟมชนิด L-S



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมกับอายุของมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4



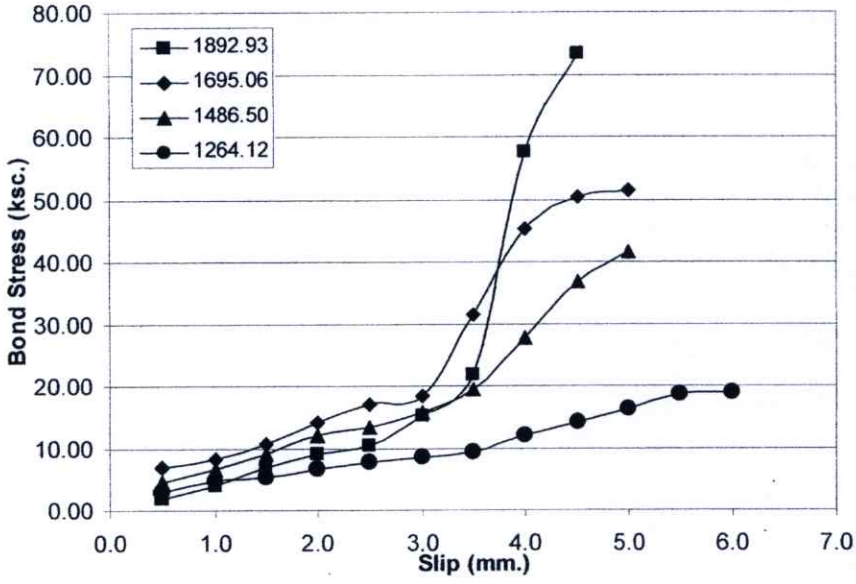
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมกับอายุของมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5

จากการทำการเปรียบเทียบอัตราการดูดซึมที่ w/c ต่างกันแล้ว จึงทำการเปลี่ยนน้ำยาโฟมเพื่อศึกษาว่าอัตราการดูดซึมของน้ำยาโฟมแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไร โดยใช้น้ำโฟมชนิด L-S ซึ่งเป็นประเภทเดียวกันกับน้ำยาโฟมชนิด G-S (Synthetics Base) จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าแนวโน้มอัตราการดูดซึมน้ำยังคงเป็นเช่นเดิม คือ เมื่อหน่วยน้ำหนักมากขึ้น อัตราการดูดซึมน้ำจะลดลง ในอัตราส่วนแปรผกผันกัน โดยเมื่อใช้น้ำยาชนิด L-S จะให้ค่าระหว่าง 16.28 – 19.40% ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4 และ 18.02 – 22.53% ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.5 ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราการดูดซึมที่ได้จากการใช้น้ำยาโฟมชนิด G-S เล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบที่หน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เดียวกัน

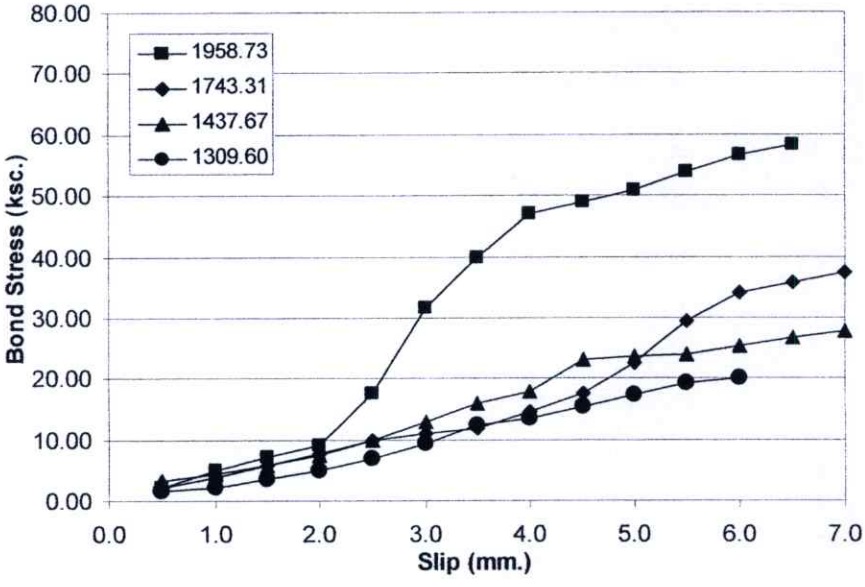
4.4. การทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของเหล็กที่ฝังในตัวอย่างโดยวิธีการดึง (Pull-Out Test) แต่เนื่องจากมีความยากในการวัดค่าที่แท้จริง เพราะมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จึงยังไม่มีวิธีวัดแรงยึดเหนี่ยว (Bond Strength) ที่เป็นมาตรฐาน อย่างไรก็ตามการทดสอบด้วยการดึง (Pull-Out Test, ASTM C234) ถือเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของตัวอย่าง จากการทดสอบ ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวกับหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์ โดยที่ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ขนาดของมวลรวม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) และชนิดของน้ำยาที่ใช้

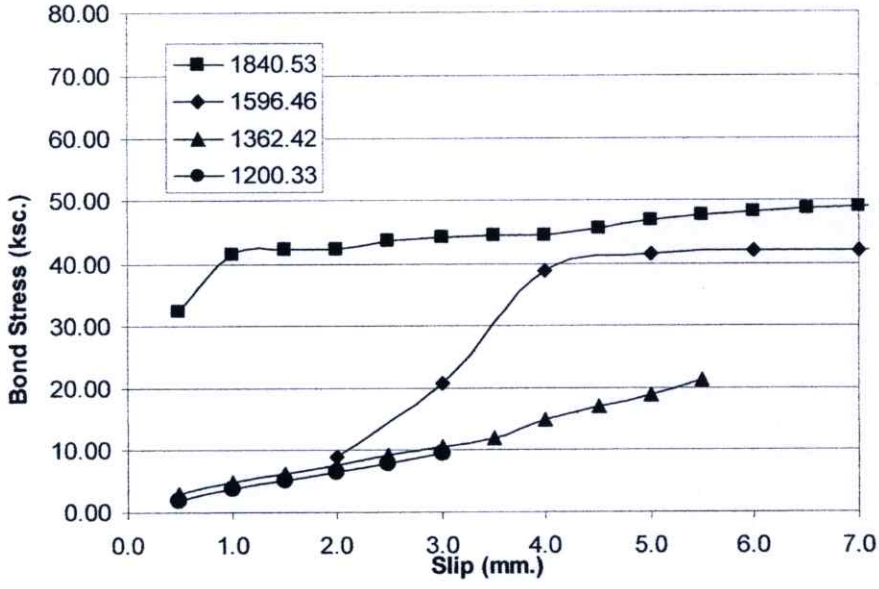
4.4.1. การทดสอบหากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ต้าร์ น้ำยาโฟมชนิด G-S



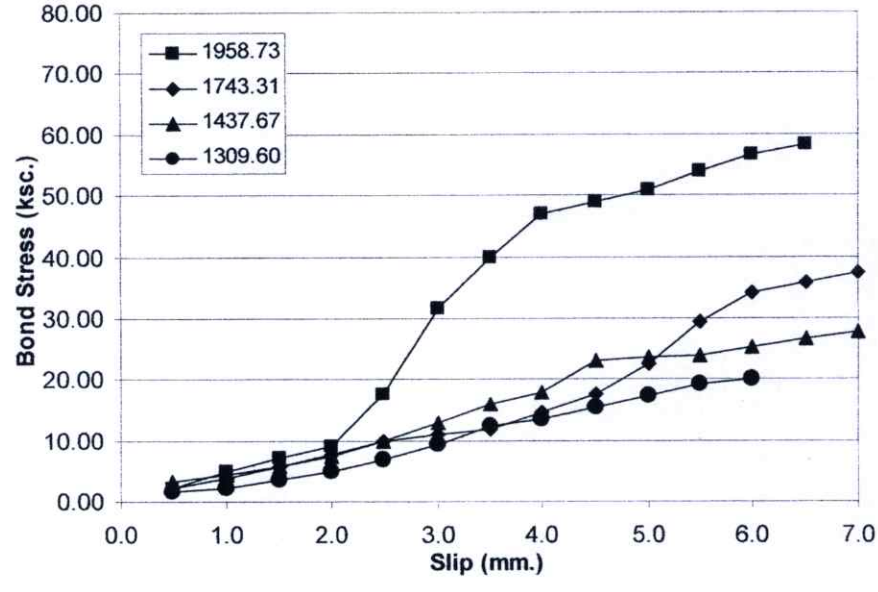
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 ผสมด้วยทรายละเอียด น้ำยาโฟมชนิด G-S



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ผสมด้วยทรายละเอียด น้ำยาโฟมชนิด G-S



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 ผสมด้วยทรายหยาบ น้ำยาโฟมชนิด G-S

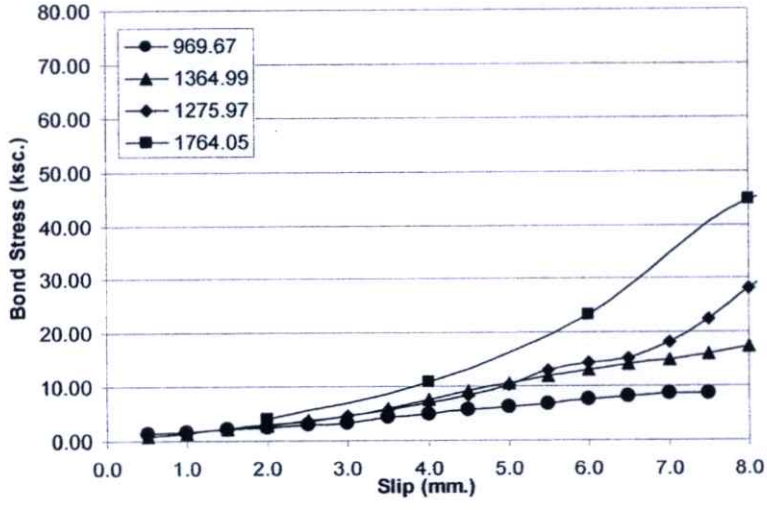


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ผสมด้วยทรายหยาบ น้ำยาโฟมชนิด G-S

จากการศึกษาและทดสอบความสามารถในการรับแรงยึดเหนี่ยว ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของการศึกษาครั้งนี้ ที่ทำการศึกษาว่าผลของฟองอากาศมีผลอย่างไรกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม โดยใช้ตัวแปรหลายๆตัว เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบกัน

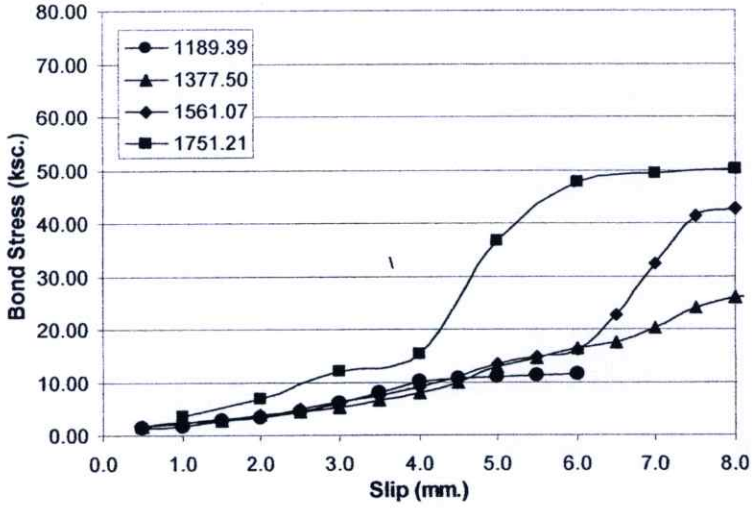
จากการทดสอบโดยใช้น้ำยาโฟมชนิดเดียวกัน (G-S) ในรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่า แรงยึดเหนี่ยวและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันตามกัน คือ เมื่อหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างมากขึ้น แรงยึดเหนี่ยวก็จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย แนวโน้มเช่นเดียวความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและจากการทดสอบพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) และขนาดของมวลรวมมีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม โดยเมื่อเปรียบเทียบที่ผสมด้วยทรายละเอียดจะมีค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 20.47 – 70.93 กก./ซม.^{2} ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4 และ 19.64 – 58.61 กก./ซม.^{2} ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.5 ตามลำดับ ที่อายุตัวอย่าง 28 วัน เมื่อเปลี่ยนขนาดของมวลรวมจากทรายละเอียดเป็นทรายหยาบพบว่า แรงยึดเหนี่ยวจะมีค่าระหว่าง 10.82 – 57.06 กก./ซม.^{2} ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4 และ 8.01 – 55.62 กก./ซม.^{2} ที่อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์ (w/c) 0.5 ซึ่งจากผลการทดสอบทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า การผสมคอนกรีตมวลเบาโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4 และใช้ทรายละเอียดในที่อัตราส่วนปูนทราย 1:1 จะให้แรงยึดเหนี่ยวมากที่สุด

4.4.2. การทดสอบหากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ต้าร์ น้ำยาโฟมชนิด L-S



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 ผสมด้วยทรายละเอียด น้ำยาโฟมชนิด L-S

4.4.3. การทดสอบหากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ต้าร์ น้ำยาโฟมชนิด L-P



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับการลื่นไถลที่หน่วยน้ำหนักต่างๆ ของมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 ผสมด้วยทรายละเอียด น้ำยาโฟมชนิด L-P

จากการศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา ทำ การศึกษาต่อโดยควบคุมตัวแปรโดยใช้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4 และใช้ทรายละเอียดในการผสมเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่า แนวโน้มความสัมพันธ์ยังเป็นไปไปในลักษณะเดิม คือ เมื่อหน่วยน้ำหนัก แรงยึดเหนี่ยวก็จะมากขึ้นตามไปด้วย จากการใช้น้ำยาโฟมชนิด L-S จะให้ค่าระหว่าง 8.41 – 55.07 ksc และน้ำยาชนิด L-P ให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 11.41 – 55.01 ksc ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับการทดสอบที่ใช้น้ำยาโฟมชนิด G-S แต่เมื่อเปรียบเทียบที่น้ำยาโฟมยี่ห้อเดียวกัน น้ำยาโฟมประเภท Protein Base (L-P) จะให้ค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่า น้ำยาโฟมประเภท Synthetic Base (L-S) เล็กน้อย ที่หน่วยน้ำหนักเดียวกัน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายศิวะ วาสาลา

วัน เดือน ปีเกิด 2 พฤศจิกายน 2526

ที่อยู่ 17/18 หมู่บ้านเศรณี ถ.พระยาสุเรนทร์
แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 15100 โทร.0-2955-3093

ประวัติการศึกษา 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2548-2549 ผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาการเคลื่อนตัวของดินจากการก่อสร้าง
อุโมงค์ใต้ดิน
A Study of Ground Movement Inclined by Tunneling

พ.ศ.2549-2550 ผลงานวิจัย เรื่อง อิทธิพลของโฟมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา
ระบบ CLC
Influence of Foaming Agent on Properties of Cellular
Lightweight Concrete

พ.ศ.2551-ปัจจุบัน วิศวกร บริษัท เอส เค คอนกรีต โปรดักส์
ผลงานวิจัย เรื่อง อิทธิพลของ Foaming Agent ระบบ CLC ที่มีต่อหน่วย
แรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตเสริมเหล็ก
Influence of Foaming Agent on Bonding in
Reinforced Concrete

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการการศึกษา

ทำการศึกษาเพื่อหาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมในคอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 1,200-1,800 กก./ม.^{3} โดยเปรียบเทียบโดยเปลี่ยนตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ

- ชนิดของตัวอย่าง แบ่งเป็นซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าร์
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ที่ 0.4 และ 0.5
- ชนิดของทรายที่ใช้ในการผสมมอร์ต้าร์ โดยใช้ทรายละเอียดและทรายหยาบ
- น้ำยาโฟมชนิดต่างๆ ได้แก่ G-S L-S และ L-P

สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.4 และ 0.5 ผสมโฟมจะได้คอนกรีตมวลเบาที่มีค่ากำลังรับแรงอัดที่มากกว่า มอร์ต้าร์ในหน่วยน้ำหนักที่เท่ากัน เนื่องจากอิทธิพลของฟองอากาศมีผลเป็นอย่างมากกับมวลรวมที่ผสมในคอนกรีต

2. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาสามารถลดลงได้ โดยการเพิ่มปริมาณโฟมที่ผสม ซึ่งค่าหน่วย น้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาตั้งแต่ 1,500 กก./ม.^{3} ขึ้นไป ที่ w/c 0.4 และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาตั้งแต่ 1,600 กก./ม.^{3} ที่ w/c 0.5 สามารถให้ค่ากำลังรับแรงอัดได้มากกว่า 180 กก./ซม^2 ในสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายโดยน้ำหนักที่ 1:1

3. การหดตัวและค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาจะมีความ สัมพันธ์ในลักษณะการแปรผกผันกันโดยที่ w/c 0.4 จะมีค่าการหดตัวน้อยกว่าที่ w/c 0.5 และการหดตัวที่เกิดขึ้นในมอร์ต้าร์จะมีค่าน้อยกว่าในซีเมนต์เพสต์ เมื่อเปรียบเทียบที่หน่วยน้ำหนักเดียวกัน

4. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมกับหน่วยน้ำหนัก โดยใช้น้ำยาโฟมชนิดต่างๆ พบว่าในน้ำยาโฟมชนิดเดียวกัน เมื่อหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์เพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้อัตราการแพร่ซึมของน้ำน้อยลง โดยในระยะแรกอัตราการดูดซึมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรก หลังจาก

นั้นอัตราการดูดซึมจะเพิ่มขึ้นทีละน้อย ซึ่งค่าอัตราการดูดซึมของก้อนตัวอย่างที่มีหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,200-1,800 กก./ม.^{3} วัดโดยการแช่ตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7 วันมีค่าอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 10 -22 ชนิดของน้ำยาที่ทำให้เกิดโฟมมีผลต่อค่าอัตราการดูดซึมของมอร์ต้า และพบว่าอัตราการดูดซึมของมอร์ต้าแปรผกผันกับหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าในทุกๆ ชนิดของน้ำยาโฟม โดยเมื่อเปรียบเทียบกัน w/c 0.4 จะมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่าที่ w/c 0.5 เมื่อเปรียบเทียบที่หน่วยน้ำหนักเดียวกัน

4. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดและมีผลโดยตรงต่อค่าแรงยึดเหนี่ยว โดยที่ w/c 0.4 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและแรงยึดเหนี่ยวที่ดีกว่า w/c 0.5

5. ค่าแรงยึดเหนี่ยวในมอร์ต้าร์มีสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยน้ำหนักแนวโน้มเช่นเดียวกับค่ากำลังรับ แรงอัดโดยให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 10.82 – 57.06 กก./ซม^2 และ 20.47 - 70.93 กก./ซม^2 สำหรับ w/c 0.4 ผสมโดยทรายหยาบและทรายละเอียด ตามลำดับ และที่ w/c 0.5 ให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 8.01 – 55.62 กก./ซม^2 และ 19.64 – 58.61 กก./ซม^2 เมื่อผสมด้วยทรายหยาบและทรายละเอียด ที่หน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์ 1,200 – 2,000 กก./ม.^{3} โดยเมื่อใช้ w/c 0.4 และผสมโดยทรายละเอียด จะให้ค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวมากที่สุด ที่หน่วยน้ำหนักเดียวกัน

6. ชนิดของน้ำยาโฟมมีผลต่อค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยว ซึ่งเมื่อเปลี่ยนน้ำยาโฟมค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวก็เปลี่ยนไปเล็กน้อย โดยค่าแนวโน้มกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับหน่วยน้ำหนักยังแปรผันในลักษณะแปรผันตามกัน

7. เมื่อใช้น้ำยาโฟมยี่ห้อเดียวกัน น้ำยาโฟมประเภท Protein Base (L-P) จะให้ค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวมากกว่าการใช้น้ำยาโฟมประเภท Synthetic Base (L-S) เล็กน้อย เนื่องจากขนาดฟองอากาศที่ได้จาก Protein Base (L-P) มีความละเอียดมากกว่าฟองอากาศที่ได้จากประเภท Synthetic Base (L-S)

8. ที่หน่วยน้ำหนักประมาณ 1,800 กก./ม.^{3} ซึ่งผสมด้วยทรายละเอียดและใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ให้กำลังรับแรงยึดเหนี่ยวดีที่สุด จะให้ค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวลดลงประมาณ 49% เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา

9. ระยะเวลาในการผสมโฟมกับมอร์ต้าร์ที่นานเกินไป มีผลทำให้โฟมเกิดการสลายตัวได้ง่าย ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดที่เพิ่มขึ้น โดยการชั่งน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาขณะผสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เริ่มเป็นที่รู้จักและเริ่มมีการนำมาใช้งานกันมากขึ้นในงานโยธา แต่เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC มีปัจจัยที่มีผลต่อคุณบัติของคอนกรีตมวลเบาค่อนข้างมาก ดังนั้นควรมีการพิจารณาคุณสมบัติด้านอื่นๆ เพิ่มเติมไปด้วย เช่น อัตราการหดตัวแบบแห้ง (Drying shrinkage) ค่าการนำความร้อน หรือ การทดสอบการป้องกันเสียง ความคงทน เป็นต้น ซึ่งการทดลองเหล่านี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ให้เหมาะสมและหลากหลายยิ่งขึ้น ทั้งยังสามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์และทดสอบใช้งานคอนกรีตมวลเบาร่วมกับงานคอนกรีตอัดแรงต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

[1]วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 9 (กรุงเทพฯ: หป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2544)

[2]ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 2 (กรุงเทพฯ วี.เจ.พริ้นติ้ง, 2542)

[3]รณฤทธ์ รักวงศ์, วัชระ มณีวงศ์ และศิริพงษ์ พรหมศาสตร์, **อิทธิพลของผงอลูมิเนียมที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา**, (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ,2548

[4]กฤษฎา โรจน์ประสิทธิพร, อราวินท์ บริรักษ์อราวินท์ และ สุภัทรชัย สุดเกล้า, **คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์**, (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2546)

[5]ธีรพล สุวรรณรัชตกุล, ปรินทร ภู่ประเสริฐ, ปริญญา แสงสว่าง และ วรเชษฐ์ มงคลกาวิน, **การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมชานอ้อย**, (ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2547)

[6]ปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน และ สิทธิโชค หอมกระจาย, **คอนกรีตเบา**, (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2539)

[7]เสถียร ทวีชีพ และ วิเชียร นิยมศรี, **คอนกรีตเบาผสมทรายหยาบ**, (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2541)

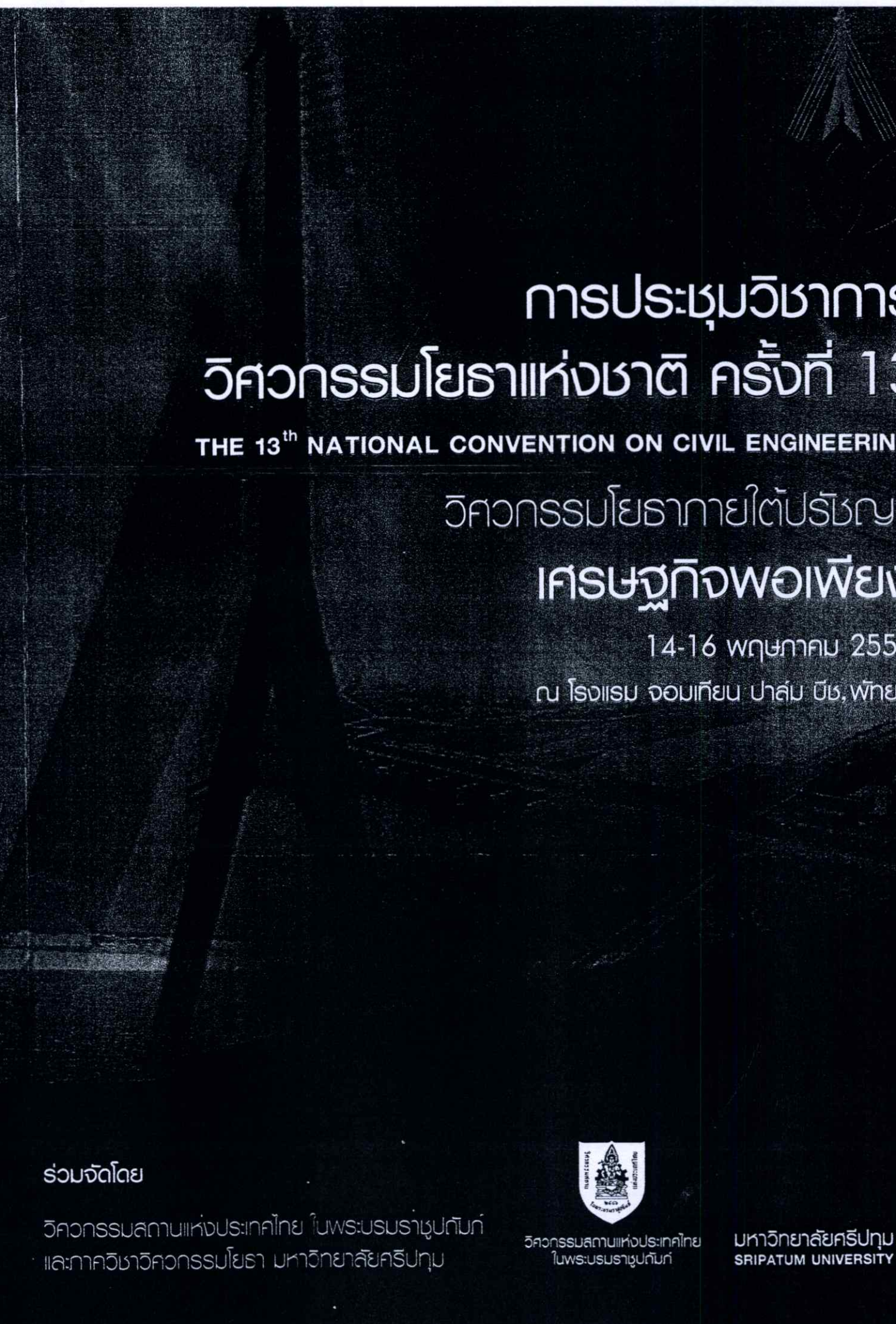
[8]อัศวิน น้อยสุวรรณ, สกนธ์ เลิศมัลลิกาพร, วรากร หมั่นสระเกษ และ สุรเชษฐ์ สุพรรณ์กลาง, **คอนกรีตผสมแกลบ**, (ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2548)

[9]ชาติชาย พรหมวงศ์, ศาศวัต เอี่ยมโหมด และ วิไลรัตน์ สุขศรี , **อิทธิพลของสารเพิ่มฟองอากาศที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา**, (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) , 2549

[10]E.K. Kunhanandam Nambiar, K. Ramamurthy, **Air-void characterization of foam concrete**, Cement and Concrete Research 37 (2007) 221-230

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลงานวิจัย



การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13

THE 13th NATIONAL CONVENTION ON CIVIL ENGINEERIN

วิศวกรรมโยธาภายใต้ปรัชญ
เศรษฐกิจพอเพีย

14-16 พฤษภาคม 255

ณ โรงแรม จอมเทียน ปาล์ม บีช, พัทย

ร่วมจัดโดย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
และภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ในพระบรมราชูปถัมภ์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

อิทธิพลของ Foaming Agent ระบบ CLC ที่มีต่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตเสริมเหล็ก

Influence of Foaming Agent on Bonding in Reinforced Concrete

ศิวะ วาสาลา (Siwa Vasala)[1]

คมสัน มาลีสี (Komsan Maleesee)[2]

สกุล ห่อวโนทยาน (Sakul Hovanotayan)[3]

[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

siwavas@hotmail.com

[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

kmkomsan@kmitl.ac.th

[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

khsakul@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของโฟมที่มีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ในคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ซึ่งใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดโฟมก่อนแล้วจึงนำไปผสมกับซีเมนต์เพสต์หรือมอร์ต้าร์ซึ่งมีผลทำให้น้ำหนักของตัวอย่างลดลง โดยมุ่งเน้นการพัฒนาคอนกรีตเบาเพื่อใช้ในงานโครงสร้าง ซึ่งมีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,200 – 2,000 กก./ม^3. และสามารถรับกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันมากกว่า 180 กก./ซม^2. ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.4 และ 0.5 และใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายโดยน้ำหนัก ที่ 1:1 ทำการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด การหดตัวและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ผลการทดลอง พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผสมโฟมซึ่งมีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,200 – 2,000 กก./ม^3. มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 100 - 450 กก. /ซม.^{2} ส่วนมอร์ต้าร์ผสมโฟมจะมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 100-350 กก./ซม.^{2} การหดตัวมีค่าอยู่ในช่วง 778×10^{-6} – 1012×10^{-6} และ 393×10^{-6} - 649×10^{-6} ในซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าร์ ตามลำดับ และค่าแรงยึดเหนี่ยวในส่วนของมอร์ต้าร์มีค่าระหว่าง 25.83 – 47.49 กก./ซม^2

ABSTRACT: This research is to study the influence of foaming agent on bonding of cellular lightweight concrete in reinforced concrete by mixing the foam with cement paste or mortar to reduce the weight of the specimens. The purpose of this research is to develop the lightweight concrete for structural that has unit weight between 1,200 to 2,000 kg/m^3 and the compressive strength at the ages of 28 days more than 180 ksc with w/c ratio at 0.4 and 0.5. In case of mortar, cement / sand ratio of 1:1 was used and test for compressive strength, autogenous shrinkage and bonding. From the test results, it was found that the cement paste mixing with foam having the unit weight of 1,200 to 2,000 kg/m^3 has the compressive strength between 100-450 ksc, for the mortar with cement/sand ratio of 1:1 has the compressive strength between 100-350 ksc, autogenous shrinkage has between 778×10^{-6} – 1012×10^{-6} และ 393×10^{-6} - 649×10^{-6} in cementpaste and mortar and bonding has between 25.83 – 47.49 ksc

KEYWORD: Foaming Agent, Lightweight Concrete, Density, Autogenous Shrinkage, Bonding

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำคอนกรีตเบา มาใช้ในการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย เช่น อิฐมวลเบา ผนังสำเร็จรูปมวลเบา เป็นต้น ซึ่งช่วยทำให้การก่อสร้างสะดวกรวดเร็วและง่ายในการทำงาน น้ำหนักที่เบา ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของโครงสร้าง อีกทั้งยังเป็นฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีประโยชน์ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยตลอดจนอาคารสูง ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการนำโฟม (การใช้สารเคมีผสมกับน้ำทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กๆ) มาใช้ในการผลิตคอนกรีตเบา เพื่อให้คอนกรีตเบามีความหนาแน่นต่ำและรับกำลังอัดได้ดี แต่เนื่องจากฟองอากาศที่มีอยู่ในคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC จึงมีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัยในการพัฒนาคอนกรีตเบาสำหรับโครงสร้าง เกี่ยวกับแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นการพัฒนาศักยภาพด้านการก่อสร้างต่อไป

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I

2.1.2 น้ำ ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้น้ำประปา

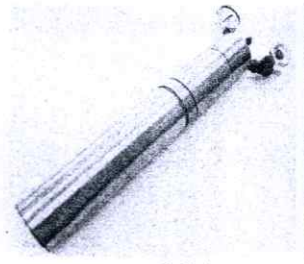
2.1.3 น้ำยาโฟม

2.1.4 แบบหล่อขนาด 5 5 5 ซม.

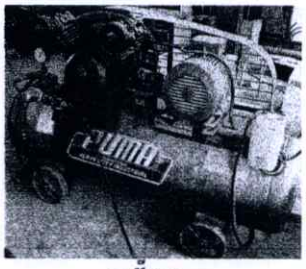
2.1.5 แบบหล่อขนาด 4 4 16 ซม.

2.1.5 เครื่องโม่

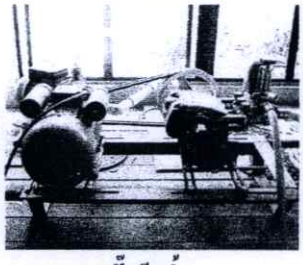
2.1.6 เครื่องฉีดโฟม ประกอบด้วย



ก. กระบอกฉีดโฟม



ข. ปั๊มลม



ค. ปั๊มฉีดน้ำยา

ง.โฟมที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

3. วิธีการทดสอบ

3.1 การทำตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ

3.1.1 ทำการคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ น้ำ น้ำยาโฟม โดยแบ่งเป็นที่ w/c 0.4 และ w/c 0.5 ความเข้มข้นน้ำยาโฟม 1:20 ตามข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิตน้ำยา

3.2.2 ผสมน้ำกับปูนซีเมนต์ในโม่ โดยแบ่งน้ำออกเป็น 2 ส่วน โดยเติมน้ำส่วนแรกลงไป $\frac{2}{3}$ ของทั้งหมดผสมรวมกันประมาณ 1 นาที จากนั้นทำการผสมน้ำส่วนที่เหลือเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์เหลวและเข้ากันได้ดี หลังจากนั้นนำโฟมที่ได้จากเครื่องฉีดโฟมผสมลงไปจนได้หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ตามต้องการ

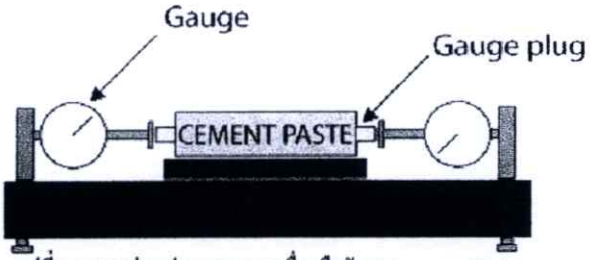
3.2.3 เทซีเมนต์เพสต์ที่ได้ลงในแบบหล่อขนาด 5 5 5 ซม.ในแต่ละกรณีใช้ทั้งหมด 9 ตัวอย่างเพื่อใช้ทำการทดสอบกำลังอัดที่ 3 วัน 7 วันและ 28 วัน เมื่อก้อนตัวอย่างมีอายุครบตามกำหนด ให้นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากน้ำ แล้วนำก้อนตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง (เพื่อทำให้ตัวอย่างแห้งก่อนที่จะทำการทดสอบเนื่องจากคอนกรีตมวลเบาที่มีฟองอากาศเป็นส่วนผสมดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตทั่วไป) แล้วจึงทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างต่อไป

3.2.4 สำหรับกรณีของมอร์ต้าร์ ทำการผสมซีเมนต์กับทรายด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วน w/c 0.4 และ 0.5 ผสมให้ มอร์ต้าร์เข้ากันเป็นอย่างดี แล้วจึงนำโฟมที่ได้จากเครื่องฉีดโฟมผสมลงไปจนได้หน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์ตามต้องการ

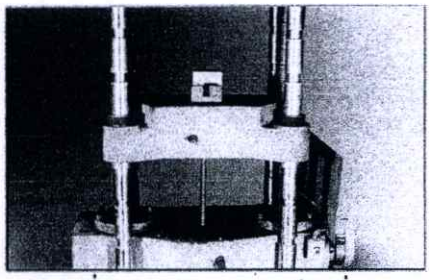
3.2.5 เทมอร์ต้าร์ที่ได้ลงในแบบหล่อขนาด 5 5 5 ซม.ในแต่ละกรณีใช้ทั้งหมด 15 ตัวอย่างเพื่อใช้ทำการทดสอบกำลังอัดที่ 3, 7 14, 28 และ 60 วัน เมื่อก้อนตัวอย่างมีอายุครบตามกำหนด ให้นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากน้ำ แล้วนำก้อนตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่าง แล้วจึงทำการกดทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างต่อไป

3.2.6 เทตัวอย่างทั้งในส่วนของซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าร์ที่ได้ลงในแบบหล่อขนาด 4 4 16 ซม. 3 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบวัดอัตราการหดตัวของก้อนตัวอย่างที่มีค่าหน่วยน้ำหนักต่างๆ

3.2.7 หล่อก้อนคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.^{3} แล้วฝังเหล็กข้ออ้อยที่ต้องการทดสอบลงไป เมื่อก้อนตัวอย่างแข็งตัวแล้วในระยะเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบและบ่มภายในห้องบ่ม เพื่อรอระยะการทดสอบที่ 3, 7 และ 28 วันต่อไป



รูปที่ 1. แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือวัด Autogenous Shrinkage

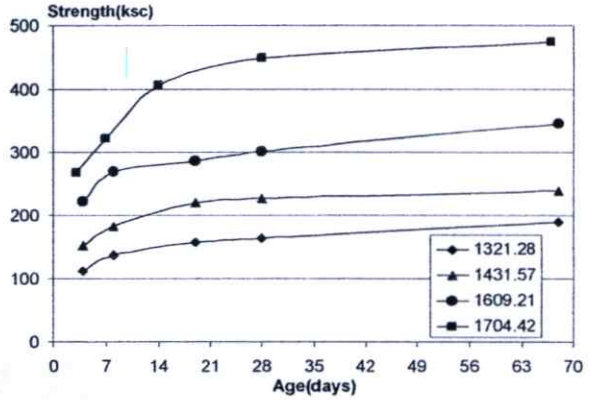


รูปที่ 2. แสดงการทดสอบแรงยึดเหนี่ยว

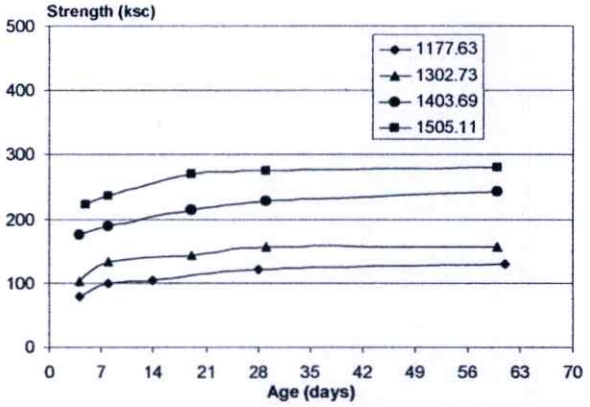
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 หน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมโฟมที่ปริมาณต่างๆ

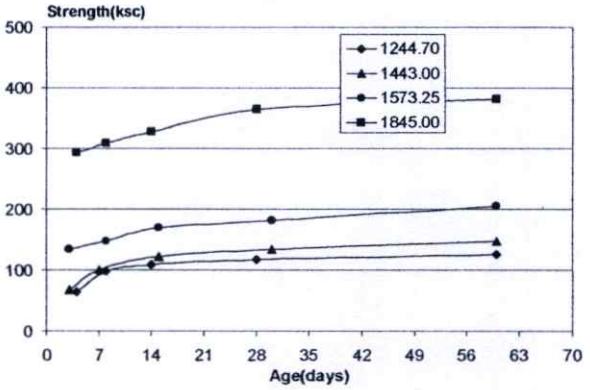
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ แสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผสมโฟมที่ทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ ในซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วนั้น ช่องว่างที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ลดลง ซึ่งดูได้จากเมื่อค่าหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ลดลงกำลังรับแรงอัดก็ลดลง ในความสัมพันธ์ที่แปรผันโดยตรงต่อกัน ซึ่งกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.4 และอายุของตัวอย่าง 28 วันมีค่าอยู่ในช่วง 100-450 กก./ซม.^{2} สำหรับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.5 มีค่าอยู่ในช่วง 120-280 กก./ซม.^{2} เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่หน่วยน้ำหนักเดียวกันจะพบว่า ค่า w/c ที่ 0.4 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าที่ w/c 0.5



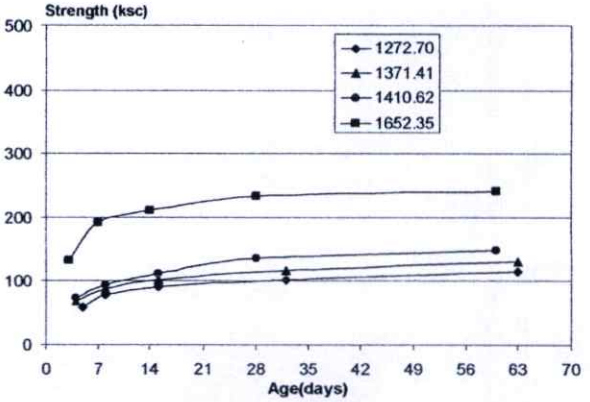
รูปที่ 3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของซีเมนต์เพสต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40



รูปที่ 4. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุของซีเมนต์เพสต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50



รูปที่ 5. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40



รูปที่ 6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50

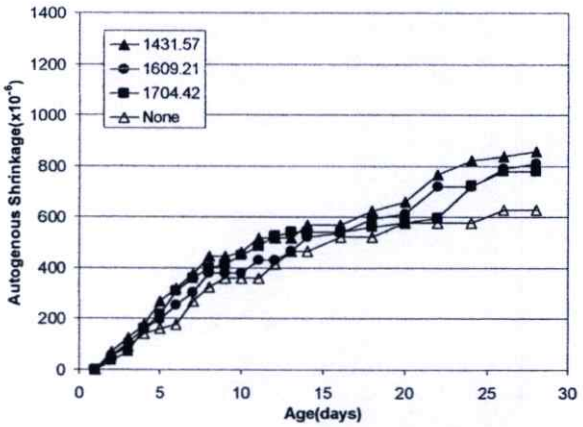
4.2 หน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมโฟมที่ปริมาณต่างๆ

เนื่องด้วยวัตถุประสงค์หลักของวิจัยนี้ เน้นเรื่องการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาเพื่อนำไปใช้ในงานโครงสร้าง ซึ่งมีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,400 - 1,800 กก./ม.^{3} ซึ่งในเบื้องต้นของการทดลองได้มีการปรับสัดส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทราย ตั้งแต่สัดส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย ที่ 1:1 ให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย ที่ 1:1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์แสดงในรูปที่ 5 และ 6 พบว่าเมื่อหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์มากขึ้น จะทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์มากขึ้นเช่นเดียวกับซีเมนต์เพสต์ ซึ่งกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่ w/c 0.4 และอายุของตัวอย่าง 28 วัน จะมีค่าอยู่ในช่วง 120-350 กก./ซม.^{2} สำหรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ w/c 0.5 มีค่าอยู่ในช่วง 100-240 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าน้อยกว่าซีเมนต์เพสต์เมื่อเปรียบเทียบที่หน่วยน้ำหนักที่เท่ากัน เนื่องจากอิทธิพลของฟองอากาศมีผลเป็นอย่างมากกับมวลรวมที่ผสมในคอนกรีต

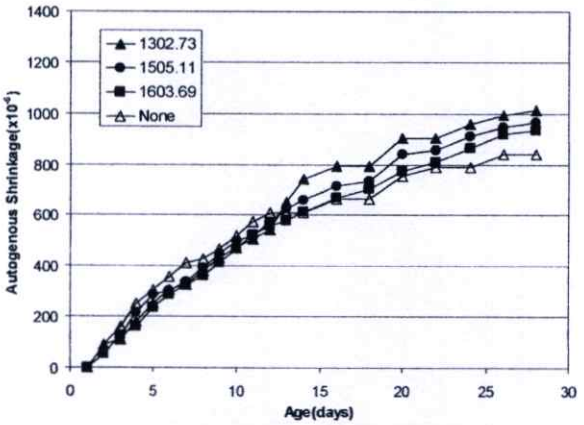
4.3 การทดสอบการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมโฟมที่ปริมาณต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับหน่วยน้ำหนักต่างๆ แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 พบว่า การหดตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของซีเมนต์เพสท์ โดยเมื่อหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์เพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้การหดตัวของซีเมนต์เพสต์น้อยลง ในลักษณะแปรผันตามกัน และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกันพบว่า มีผลต่อค่าการหดตัวของซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 7 และ 8 แสดงการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ w/c 0.4 และ 0.5 พบว่าที่หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์เท่ากัน ค่า w/c เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าการหดตัวน้อยกว่าที่ w/c 0.5 โดยค่าการหดตัวที่อายุซีเมนต์เพสต์ 28 วันมีค่าระหว่าง $778x10^{-6}$ – $856x10^{-6}$ และการหดตัวประมาณ 23.49 - 35.87% ที่ w/c 0.4 เมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่เติมโฟมที่ w/c 0.4 และมีค่าระหว่าง $937x10^{-6}$ – $1012x10^{-6}$ และการหดตัวประมาณ 11.15 – 16.69% ที่ w/c 0.5 เมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ที่ไม่เติมโฟมที่ w/c 0.5



รูปที่ 7. กราฟแสดงการหดตัวกับอายุของซีเมนต์เพสต์ผสมโฟมที่ความหนาแน่นต่างๆ ที่ w/c เท่ากับ 0.4

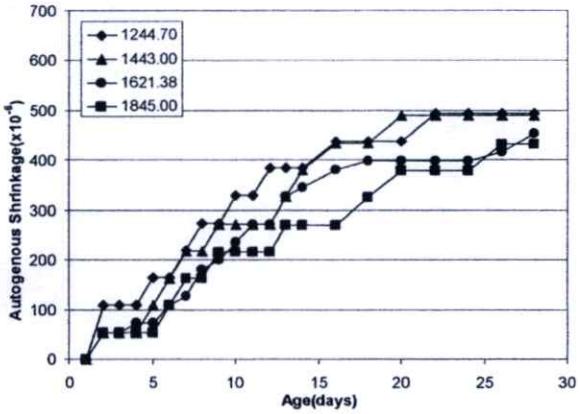


รูปที่ 8. กราฟแสดงการหดตัวกับอายุของซีเมนต์เพสต์ผสมโฟมที่ความหนาแน่นต่างๆ ที่ w/c เท่ากับ 0.5

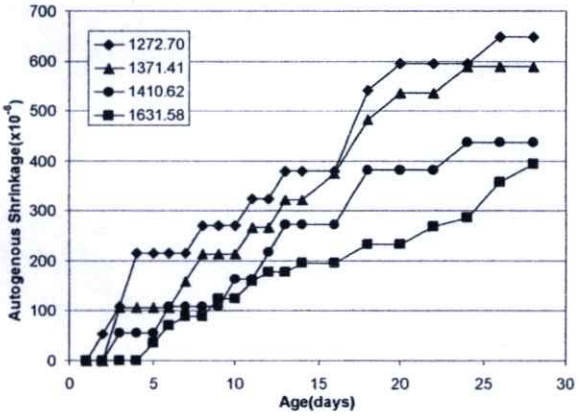
4.4 การทดสอบการหดตัวมอร์ต้าร์ที่ผสมโฟมที่ปริมาณต่างๆ

จากการศึกษามอร์ต้าร์มวลเบา ในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่ 1:1 โดยน้ำหนัก พบว่า การหดตัวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออายุของมอร์ต้าร์เพิ่มขึ้น และเมื่อหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์เพิ่มขึ้น การหดตัวที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยลง ในลักษณะเดียวกันกับในส่วนของซีเมนต์เพสต์

จากรูปที่ 9 และ 10 แสดงค่าการหดตัวของมอร์ต้าร์ที่ w/c 0.4 และ 0.5 พบว่ามีค่าระหว่าง $432x10^{-6}$- $492x10^{-6}$ ที่ w/c 0.4 และมีค่าระหว่าง $393x10^{-6}$- $649x10^{-6}$ โดยเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่เป็นซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าร์ที่หน่วยน้ำหนักเดียวกัน พบว่า การหดตัวที่เกิดขึ้นในมอร์ต้าร์มีค่าน้อยกว่าการหดตัวที่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 9.กราฟแสดงการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์ผสมโฟมที่ความหนาแน่นต่างๆ ที่ w/c เท่ากับ 0.4

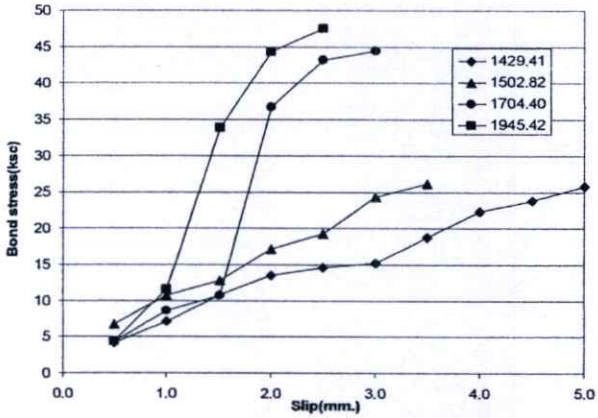


รูปที่ 10. กราฟแสดงการหดตัวกับอายุของมอร์ต้าร์ผสมโฟมที่ความหนาแน่นต่างๆ ที่ w/c เท่ากับ 0.5

4.5 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวในมอร์ต้าร์ผสมโฟมปริมาณต่างๆ

ในส่วนของการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตมวลเบา ได้ทำการศึกษาในส่วนของมอร์ต้าร์ก่อน เนื่องจากขนาดของมวลรวมมีผลค่อนข้างมากต่อแรงยึดเหนี่ยว แนวโน้มเดียวกับค่ากำลังรับแรงอัด จึงใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่ 1:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.5 พบว่าหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์มีผลโดยตรงต่อค่าแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตมวลเบา

จากรูปที่ 11 เมื่อหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์มีค่ามากขึ้น จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวมีค่าเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับค่ากำลังรับแรงอัด โดยให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 25.83 – 47.49 กก./ซม^{2}และค่าการลื่นไถล 2.5 – 5.0 มม. ซึ่งเป็นผลเนื่องจากปริมาณโฟมที่ผสมในเนื้อมอร์ต้าร์ทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยว มีค่าแปรผันตามหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์



รูปที่ 11. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงยึดเหนี่ยวกับค่าการลื่นไถลที่อัตราส่วนซีเมนต์เท่ากับ 0.5

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้โฟมฟองอากาศ ผสมในคอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง โดยใช้ w/c 0.4 และ 0.5 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายโดยน้ำหนักที่ 1:1 สามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังนี้

1. ซีเมนต์เพสท์ที่ w/c 0.4 และ 0.5 ผสมโฟมจะได้คอนกรีตมวลเบาที่มีค่ากำลังรับแรงอัด ที่มากกว่ามอร์ต้าในหน่วยน้ำหนักที่เท่าๆ กัน เนื่องจากอิทธิพลของฟองอากาศมีผลเป็นอย่างมากกับมวลรวมที่ผสมในคอนกรีต

2. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาสามารถลดลงได้ โดยการเพิ่มปริมาณโฟมที่ผสม ซึ่งค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาตั้งแต่ 1500 กก./ม.^{3} ขึ้นไป ที่ w/c 0.4 และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาตั้งแต่ 1600 กก./ม.^{3} ที่ w/c 0.5 สามารถให้ค่ากำลังรับแรงอัดได้มากกว่า 180 กก./ซม.^{2} ในสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายโดยน้ำหนักที่ 1:1

3. การหดตัวและค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะการแปรผันตามกันโดยที่ w/c 0.4 จะมีค่าการหดตัวน้อยกว่าที่ w/c 0.5 และการหดตัวที่เกิดขึ้นในมอร์ต้าร์จะมีค่ามากกว่าในซีเมนต์เพสต์

4.ค่าแรงยึดเหนี่ยวในมอร์ต้าร์มีสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยน้ำหนัก แนวโน้มเช่นเดียวกับค่ากำลังรับแรงอัด โดยให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 25.83 – 47.49 กก./ซม^2 ที่หน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าร์ 1,400 – 2,000 กก./ม.^{3}

5. ระยะเวลาในการผสมโฟมกับมอร์ต้าที่นานเกินไปมีผลทำให้โฟมเกิดการสลายตัวได้ง่าย ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดที่เพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ทางกลุ่มผู้ทำงานวิจัยขอขอบคุณ บริษัท แอล ซี เอ็ม (ไทยแลนด์) จำกัด และบริษัท ดับบลิว อาร์ เกรซ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำยาเคมีที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานส่งเสริมวิสาหการขนาดกลางและขนาดย่อม(สสว.) ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.-สสว.) ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 9 (กรุงเทพมหานคร: หป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2544)

[2] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ปฏิบัติคอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 2 (กรุงเทพมหานคร: หจก.วี.เจ.พริ้นติ้ง จำกัด 2542)

[3] กฤษฎา โรจน์ประสิทธิพร, อราวินท์ บริรักษ์อราวินท์ และ สุภัทรชัย สุดเกล้า "ทุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์," (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2546)

[4] ธีรพล สุวรรณรัชตกุล, ปรินทร ภู่ประเสริฐ, ปริญญา แสงสว่าง และ วรเชษฐ์ มงคลกาวิน "การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมชานอ้อย, " (ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2547)

[5] ปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน และ สิทธิโชค หอมกระจาย "คอนกรีตเบา, " (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2539)

[6] รณฤทธ์ รักวงศ์, วัชระ มณีวงศ์, ศิริพงศ์ พรหมศาสตร์ และ ดร.คมสัน มาลีสี "อิทธิพลของผงอะลูมิเนียมที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา, " (ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2548)

[7] ชาติชาย พรหมวงศ์, ศาศวัต เอี่ยมโหมด ,วิโลรัตร์ สุขศรี และ ดร.คมสัน มาลีสี "อิทธิพลของสารเพิ่มฟองอากาศที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเบา,"(ปริญญานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ

ข1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

ข2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

ข3. การทดสอบหาการยืดหดตัว (Autogenous shrinkage) ของซีเมนต์เพสต์

ข4. การทดสอบหาการยืดหดตัว (Autogenous shrinkage) ของมอร์ต้าร์

ข5. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์

ข6. การทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยวและหน่วยน้ำหนัก

ข1. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสท์

ตารางที่ ผ.ข.1. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของซีเมนต์เพสท์

W/C	Type	Density (kg/m^3)	Strength (ksc) at				
			3 day	7 day	14 day	28 day	60 day
0.4	G-S	1321.28	112.22	137.76	157.05	164.80	189.43
		1431.57	152.85	182.77	220.75	226.86	239.10
		1609.21	222.22	268.84	286.92	300.98	347.28
		1704.42	268.23	322.74	407.18	448.56	474.34
0.5	G-S	1177.63	79.53	99.07	103.94	121.69	130.79
		1302.73	103.17	133.00	144.09	157.34	157.75
		1403.69	174.88	189.45	214.07	227.22	242.41
		1505.11	223.04	235.81	270.19	275.38	280.48

ข2. การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์

ตารางที่ ผ.ข.2. ความหนาแน่นเฉลี่ยและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้าร์

W/C	Type	Density (kg/m^3)	Strength (ksc) at				
			3 day	7 day	14 day	28 day	60 day
0.4	G-S	1244.70	65.14	98.48	109.29	116.92	124.65
		1443.00	67.41	99.87	122.46	134.00	146.85
		1573.25	134.49	147.05	169.90	181.92	205.41
		1845.00	292.80	307.68	327.00	365.08	381.15
0.5	G-S	1272.70	58.40	77.54	90.89	101.47	115.74
		1371.41	69.02	88.47	101.65	116.22	130.80
		1410.62	72.77	94.23	111.20	136.52	148.79
		1652.35	132.23	191.21	210.25	233.34	241.09

ข3. การทดสอบหาการยืดหดตัว (Autogenous shrinkage) ของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.ข.3. การยืดหดตัวของซีเมนต์เพสต์

Foam Agent	w/c	Density (Kg/m^3)	Autogenous shrinkage (10^{-6})			
			1 days	7 days	14 days	28 days
G -S	0.4	1431.57	0.00	374.91	571.39	856.03
		1609.21	0.00	305.51	521.28	809.34
		1704.42	0.00	361.75	542.68	778.05
		None	0.00	270.04	468.21	630.23
G -S	0.5	1302.73	0.00	325.41	741.52	1012.24
		1505.11	0.00	339.98	662.08	966.36
		1603.69	0.00	324.51	613.27	937.79
		None	0.00	412.66	609.91	843.03

ข4. การทดสอบหาการยืดหดตัว (Autogenous shrinkage) ของมอร์ต้าร์

ตารางที่ ผ.ข.4. การยืดหดตัวของมอร์ต้าร์

Foam Agent	w/c	Density (Kg/m^3)	Autogenous shrinkage (10^{-6})			
			1 days	7 days	14 days	28 days
G -S	0.4	1244.70	0.00	219.41	383.96	493.66
		1443.00	0.00	217.55	380.70	489.48
		1621.38	0.00	109.63	274.08	438.52
		1845.00	0.00	162.24	270.40	432.64
G -S	0.5	1272.70	0.00	216.49	378.85	649.46
		1371.41	0.00	160.71	321.42	589.28
		1410.62	0.00	109.16	271.91	436.66
		1631.58	0.00	89.46	196.74	367.63

ข5. การทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์

ตารางที่ ผ.ข.5 อัตราการดูดซึม

W/C	Type	Density (kg/m^3)	Percent Absorption
0.4	Grace	966.26	21.67
		1245.72	16.77
		1588.01	13.18
		1812.98	10.24
0.5	Grace	1006.92	22.98
		1275.95	17.77
		1535.97	15.08
		1792.35	12.66
0.4	L-S	1199.12	19.40
		1327.56	17.47
		1539.62	16.42
		1738.10	16.28
0.5	L-S	1009.72	22.53
		1321.28	20.05
		1508.30	17.46
		1762.64	17.17

ข6. การทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยวและหน่วยน้ำหนัก

ตารางที่ ผ.ข.6. การทดสอบหากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ต้าร์ น้ำยาโฟมชนิด G-S

W/C	Type	Type of Sand	Density (kg/m^3)	Bond Stress (ksc) at 28 day
0.4	G-S	Fine Sand	1264.12	18.47
			1486.50	40.24
			1695.06	49.41
			1892.93	70.93
0.5	G-S	Fine Sand	1309.60	19.64
			1437.67	26.91
			1743.31	37.94
			1958.73	58.61
0.4	G-S	Coarse Sand	1200.33	10.82
			1362.42	19.88
			1596.46	47.73
			1840.53	57.06
0.5	G-S	Coarse Sand	1186.54	8.01
			1364.71	17.99
			1597.02	37.69
			1888.05	55.62

ตารางที่ ผ.ข.7. การทดสอบหากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ต้าร์ น้ำยาโฟมชนิด L-S และ L-P

W/C	Type	Type of Sand	Density (kg/m^3)	Bond Stress (ksc) at 28 day
0.4	L-S	Fine Sand	969.67	8.41
			1364.99	16.30
			1575.97	33.49
			1764.05	55.07
0.4	L-P	Fine Sand	1189.39	11.41
			1377.50	26.35
			1561.07	42.53
			1751.21	55.01

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายศิวะ วาสาลา
วัน เดือน ปีเกิด	2 พฤศจิกายน 2526
ที่อยู่	17/18 หมู่บ้านเศรณี ถ.พระยาสุเรนทร์
	แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 15100 โทร.0-2955-3093
ประวัติการศึกษา	2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2548-2549 ผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาการเคลื่อนตัวของดินจากการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดิน
A Study of Ground Movement Inclined by Tunneling

พ.ศ.2549-2550 ผลงานวิจัย เรื่อง อิทธิพลของโฟมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC
Influence of Foaming Agent on Properties of Cellular Lightweight Concrete

พ.ศ.2551-ปัจจุบัน วิศวกร บริษัท เอส เค คอนกรีต โปรดักส์
ผลงานวิจัย เรื่อง อิทธิพลของ Foaming Agent ระบบ CLC ที่มีต่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยวในคอนกรีตเสริมเหล็ก
Influence of Foaming Agent on Bonding in Reinforced Concrete