คอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดต่างๆ

LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH VARIOUS SIZE OF RECYCLED GLASS BEAD

ศุภชัย สูงยิ่ง

สิรวิชญ์ จันทร์สนธิ

อภิมุข สุขจิตต์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

คอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดต่างๆ

LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH VARIOUS

SIZE OF RECYCLED GLASS BEAD

ศุภชัย สูงยิ่ง
สิรวิชญ์ จันทร์สนธิ
อภิมุข สุขจิตต์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIGHTWIGHT CONCRETE WITH VARIOUS

SIZE OF RECYCLED GLASS BEAD

SUPACHAI SOONGYING

SIRAWIT CHANSONTHI

APHIMUK SUKCHIT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ คอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดต่างๆ
LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH VARIOUS
SIZE OF RECYCLED GLASS BEAD

ชื่อนักศึกษา

นายศุภชัย	สูงยิ่ง	รหัสประจำตัว	58011238
นายสิรวิชญ์	จันทร์สนธิ	รหัสประจำตัว	58011312
นายอภิมุข	สุขจิตต์	รหัสประจำตัว	58011408

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญพฤกษ์	
ผศ.ดร.ชลิดา	อู่ตะเภา	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดต่างๆ

นายศุภชัย สูงยิ่ง รหัสนักศึกษา 58011238
นายสิรวิชญ์ จันทร์สนธิ รหัสนักศึกษา 58011312
นายอภิมุข สุขจิตต์ รหัสนักศึกษา 58011408
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโลกเรามีขยะปริมาณมากซึ่งทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การลดปริมาณขยะและนำกลับมาใช้ใหม่ให้ได้ประโยชน์สูงสุดจะทำให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น จากการศึกษาพบว่าแก้วรีไซเคิลมีคุณสมบัติในการทนความร้อนได้สูงหากนำมาประยุกต์เป็นเม็ดแก้วรีไซเคิลผสมอิฐมวลเบาจะทำให้คุณสมบัติของอิฐมวลเบามีคุณสมบัติทนความร้อนได้มากขึ้นและสามารถช่วยลดปริมาณขยะได้ ซึ่งในส่วนการออกแบบส่วนผสมนี้จะใช้เม็ดแก้วรีไซเคิล 3 ขนาดได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 ถึง 0.60 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 ถึง 1.18 มิลลิเมตร และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.18 ถึง 2.36 มิลลิเมตร ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10 และ15 โดยน้ำหนัก โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.65 จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบา ซึ่งทำการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนัก การทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้มอต้าขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ละการทดสอบใช้ 6 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลที่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดไปทำการทดลองหาค่ากำลังรับแรงอัดหลังอบที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากการทดสอบพบว่าเมื่อผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.18 ถึง 2.36 มิลลิเมตร ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด และมีค่าร้อยละกำลังรับแรงอัดลดลงหลังอบที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เท่ากับ -86.12 ส่วนค่าหน่วยน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lightweight concrete with various size of recycled glass

Mr.Supachai	Soongying	58011238
Mr.Sirawit	Chansonthi	58011408
Mr.Aphimuk	Sukchit	58011408

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Laemthong Laokhongthavorn

Academic Year 2018

ABSTRACT

In the present world, continuously increasing wastes pollutes our environment tremendously. In order to conserve our environment, waste reduction and recycle could accomplish this issue. The study found that recycled glasses have the property resisting high temperature heat. If this experiment applied certain material as additional mixture (fine aggregate) combined with lightweight bricks, the high-heat resistance of bricks could increase, and also could reduce the amount of waste. First of all, the mix design in this study will use 3 sizes of recycled glasses (diameter 0.15 to 0.60 millimeters, diameter 0.60 to 1.18 millimeters and diameter 1.18 to 2.36 millimeters, the percentages of 0, 5, 10, 15 by weight, and the water-cement ratio (W/C) was 0.65. Secondly, the tests begin with physical properties of lightweight concretes (unit weight and compressive strength), using mortar 5x5x5 cubic centimeters, that each tests uses 6 samples. Thirdly, we select the tested sample which has the highest compressive strength for the next test, heating the mentioned sample until reaches 1000 degree celsius for 12 hours following by the compressive strength test. The experiment illustrates that lightweight concrete mix with recycled-glass bead which have 1.18 millimeter to 2.36 millimeter of diameter and 10 percent by weight, have the highest compressive strength. As for the sample which is heat at 1000 ° C for 12 hours, the percentage of compressive strength decrease by -86.124. The weight would increase related to the amount of recycled-glass bead.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและการแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. แหลมทอง เหล่าคงถาวร ที่เป็นผู้สละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำรวมถึงถ่ายทอดประสบการณ์ เพื่อชี้แนะแนวทางการดำเนินการอย่างมีระบบ สอนให้รู้จักการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นประสบการณ์ที่มีคุณค่ายิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆแก่ข้าพเจ้า

ขอพระคุณเพื่อนๆ CT38 ทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจซึ่งกันและกันตลอดจนให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำที่มีให้เป็นอย่างดียิ่ง สุดท้าย คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุญคุณของบิดาและมารดา ผู้ให้สติปัญญา และ ชีวิต เป็นกำลังใจแก่คณะผู้วิจัยโดยตลอดเสมอมา จนประสบความสำเร็จลุล่วงได้ในวันนี้

นายศุภชัย สูงยิ่ง
นายสิรวิชญ์ จันทร์สนธิ
นายอภิมุข สุขจิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 2

1.4 วิธีการศึกษา 4

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์ 6

2.1 กล่าวนำ 6

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10

2.3 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 17

3.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 ขั้นตอนการเตรียมการผลิต 18

3.3 ขั้นตอนการผลิต 19

3.4 การเตรียมชิ้นตัวอย่างการทดสอบ 26

บทที่ 4 การทดสอบและวิเคราะห์ผล 29

4.1 ความสัมพันธ์ของค่าหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดต่างๆ และ ปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลต่างๆ 29

4.2 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตกรณีก่อนอบ 37

4.3 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล และคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้ว โดยเปรียบเทียบกรณีก่อนอบกับกรณีหลังอบ 45

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 47

5.1 สรุปผลการทดลอง 47

5.2 สรุปผลการดำเนินงานของโครงการ 48

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา 49

5.4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ 50

เอกสารอ้างอิง 51

ภาคผนวก 53

ประวัติผู้เขียน 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทรายละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	21
3.2 การคำนวณความถ่วงจำเพาะของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ0.15-0.60มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	23
3.3 การคำนวณความถ่วงจำเพาะของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ0.60-1.18มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	23
3.4 การคำนวณความถ่วงจำเพาะของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ1.18-2.36มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	23
3.5 การคำนวณร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ0.15-0.60มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	24
3.6 การคำนวณร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ0.60-1.18มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	24
3.7 การคำนวณร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ1.18-2.36มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	24
3.8 อัตราส่วนผสมของชิ้นตัวอย่างก่อนอบ	26
3.9 อัตราส่วนผสมของชิ้นตัวอย่างหลังอบ	26
4.1 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล	29
4.2 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก	30
4.3 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก	30
4.4 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก	31
4.5 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.6 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก 33

4.7 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก 33

4.8 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก 34

4.9 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก 35

4.10 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก 35

4.11 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล(ก่อนอบ) 37

4.12 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก 38

4.13 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก 38

4.14 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.15 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก..... 40

4.16 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก..... 40

4.17 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก..... 40

4.18 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก..... 42

4.19 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก..... 42

4.20 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก..... 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ค้างตะแกรงเบอร์ 16 (Ø1.18-2.36 มม.)	3
1.2 เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างตะแกรงเบอร์ 30 (Ø0.60-1.18 มม.)	3
1.3 เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างตะแกรงเบอร์ 100 (Ø0.15-0.60 มม.)	3
2.1 เม็ดแก้วรีไซเคิล	12
3.1 ขวดหาแก้ววัดปริมาตร Volumetric Flask ขนาด 500 ml.	19
3.2 กรวยหล่อโลหะหัวตัดและเหล็กกระทุ้ง	20
3.3 เตาอบ	20
3.5 เม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	22
3.6 ปั๊มลมและเครื่องผลิตโฟม	25
3.7 ขั้นตอนผลิตฟองโฟม	25
3.10 Vernier caliper	27
3.11 เครื่อง Universal Testing Machine	27
3.12 เครื่องอบ TF ที่ใช้อบตัวอย่าง	28
4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีตกับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60mm.	32
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีตกับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18mm.	34
4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีตกับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø1.18-2.36mm.	36
4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีตกับปริมาณแก้วที่ขนาดแตกต่างกัน	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยกับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60mm.	39
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยกับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18mm.	41
4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยกับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø1.18-2.36mm.	43
4.2.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยกับปริมาณแก้วที่ขนาดแตกต่างกัน	44
4.3.1 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดประลัยเฉลี่ยที่ของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36มม. ที่ปริมาณเม็ดแก้วร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้ว โดยเปรียบเทียบกรณีก่อนอบกับกรณีหลังอบ	45
4.3.2 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นกำลังอัดประลัยเฉลี่ยที่ลดลงของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล Ø1.18-2.36มม. ที่ปริมาณเม็ดแก้วร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้ว โดยเปรียบเทียบกรณีก่อนอบกับกรณีหลังอบ	45
5.1 คอนกรีตตัวอย่างที่เกิดปัญหาหล่อเขาแบบไม่ทั่วถึง	49
5.2 ถ้วยตวงปริมาตร	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

กล่าวนำ

ในปัจจุบันโลกเรามีปริมาณขยะปริมาณมากซึ่งทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทางนักศึกษาจึงคิดว่าถ้าเราสามารถลดปริมาณขยะและนำมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุดได้จะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้ศึกษาและทำให้ค้นพบว่าแก้วรีไซเคิลมีคุณสมบัติในการทนความร้อนได้สูงจึงคิดว่าถ้านำแก้วมาประยุกต์เป็นเม็ดแก้วรีไซเคิลผสมอิฐมวลเบาจะทำให้คุณสมบัติของอิฐมวลเบามีคุณสมบัติทนความร้อนได้มากขึ้นและสามารถช่วยลดปริมาณขยะได้

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยในปัจจุบันมีการพัฒนานวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในยุคที่เศรษฐกิจไทยกำลังพัฒนานั้น เรื่องการประหยัดค่าใช้จ่ายมีความสำคัญมากต่อวงการวิศวกรไทยคอนกรีตมวลเบาจึงถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว เนื่องจากคอนกรีตนั้นมีน้ำหนักเบาช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนมากกว่าอิฐชนิดอื่นช่วยประหยัดพลังงานภายในตัวอาคาร คอนกรีตมวลเบาทั่วไปมีคุณสมบัติทนความร้อนได้ประมาณ 2-4 ชั่วโมงก่อนเกิดการไหม้การนำคอนกรีตมวลเบาผสมกับมวลรวมอาจเพิ่มประสิทธิภาพในการทนความร้อนได้ แก้วมีคุณสมบัติการทนความร้อนที่สูงมากและยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก ซึ่งแก้วที่นำมาใช้งานเป็นเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ผ่านการหลอมและเปลี่ยนความดันแล้ว เพื่อเป็นการส่งเสริมการนำแก้วกลับมาใช้ใหม่และเพื่อลดต้นทุนการผลิตอิฐมวลเบาด้วย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแก้วรีไซเคิลเมื่อเกิดเพลิงไหม้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแก้วรีไซเคิลทั้งก่อนและหลังได้รับความร้อนโดยทำการศึกษาถึงข้อดีและข้อเสียในการผสมแก้วรีไซเคิลจากตัวอย่างที่ยังไม่ได้รับความร้อนและศึกษาค่าความทนความร้อนของคอนกรีตจากตัวอย่างที่ได้รับความร้อนแล้ว ทั้งนี้เพื่อพัฒนาความสามารถการทนความร้อนของคอนกรีตมวลเบาให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อหาขนาดเม็ดแก้วที่มีประสิทธิภาพต่อคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ดีที่สุดของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.65 (อ้างอิงมาจาก ศาสตร์ตราชัย เตี๊ยะตาช้าง ซึ่งอยู่ในบทที่ 2)

2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ออกแบบ ได้แก่ หน่วยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัด และกำลังอัดประลัย ในคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดต่างๆในกรณีก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและทดสอบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาโดยวิธี Cellular Lightweight Concrete (CLC) ในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย 2 ปัจจัย และ 2 รูปแบบ คือ ตัวอย่างธรรมดา และตัวอย่างที่ผ่านความร้อนด้วยอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยจะเลือกเฉพาะตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วที่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดและคอนกรีตมวลเบาปกติ ทั้งหมด 12 การทดลอง การทดลองละ 6 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 72 ตัวอย่างโดยใช้แบบหล่อสำหรับตัวอย่างชิ้นงาน ขนาด 5*5*5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปัจจัยที่ใช้มีดังนี้

- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.65
- เม็ดแก้วรีไซเคิล เป็นมวลรวมหยาบ (ผ่านตะแกรงเบอร์ 12 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 16) มี 4 ระดับได้แก่ 0%, 5%, 10% และ 15% โดยน้ำหนักของคอนกรีต
- อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1 โดยน้ำหนัก (ผ่านตะแกรงเบอร์ 100)
- น้ำยาผลิตโฟมสำหรับอิฐมวลเบา ยี่ห้อ Fo-mix ที่อัตราส่วนต่อปริมาตรเท่ากับร้อยละ 40
- ขนาดเม็ดแก้วรีไซเคิล ได้แก่

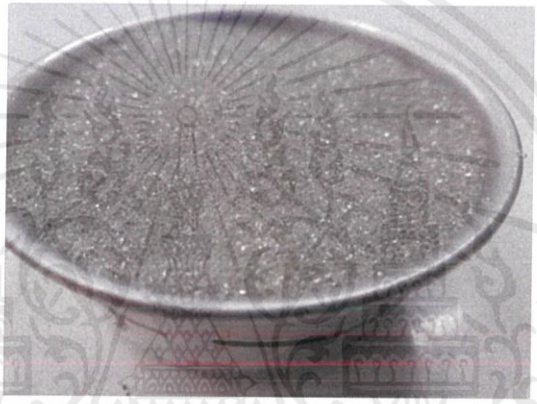
    1.) เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ค้างตะแกรงเบอร์ 16 (Ø1.18-2.36 มม.)

    2.) เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างตะแกรงเบอร์ 30 (Ø0.60-1.18 มม.)

    3.) เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างตะแกรงเบอร์ 100 (Ø0.15-0.60 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ค้างตะแกรงเบอร์ 16 (Ø1.18-2.36 มม.)



รูปที่ 1.2 เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ค้างตะแกรงเบอร์ 30 (Ø0.60-1.18 มม.)

รูปที่ 1.3 เม็ดแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างตะแกรงเบอร์ 100 (Ø0.15-0.60 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่

- กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) อายุการบ่ม 14 วัน
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)
- อัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

1.4 วิธีการศึกษา

1. ขั้นตอนการศึกษารวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบา คุณสมบัติของแก้ว การออกแบบการทดลอง ส่วนผสมและการให้ความร้อนกับตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา
2. ขั้นตอนการคำนวณส่วนผสมด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำหนักของเม็ดแก้วต่อน้ำหนักของคอนกรีต โดยหาสัดส่วนที่ดีที่สุด
3. ขั้นตอนการเลือกและทดสอบหาคุณสมบัติของเม็ดแก้วรีไซเคิล โดยทำการสุ่มจากทั้งหมด
   - ความหนาแน่น
   - อัตราการดูดซึมน้ำ
4. ขั้นตอนการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมและไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล, กรณี ก่อนอบ และ หลังอบ
   - ทดสอบความหนาแน่น
   - ทดสอบกำลังรับแรงอัด
5. ขั้นตอนการอบตัวอย่างหลังจากหล่อตัวอย่างเสร็จ สำหรับการทดสอบกรณีหลังอบ มีขั้นตอนการให้ความร้อนดังนี้
   (1) การวางตัวอย่างในเตาอบ ไม่วางตัวอย่างซ้อนทับกันกับตัวอย่างอื่น และไม่ใส่ตัวอย่างมากเกินไป จนมีชิ้นงานชิดกับขอบของตู้อบมากเกินไป เพราะจะทำให้มีด้านใดด้านหนึ่งได้รับความร้อนจากเตาอบไม่สม่ำเสมอ
   (2) ป้อนค่าอุณหภูมิที่อัตรา 5 องศาต่อนาที จากอุณหภูมิห้องถึง 1000 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นในตัวอย่าง
   (3) คงที่อุณหภูมิไว้ที่ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
   (4) ลดค่าอุณหภูมิจาก 1000 องศาเซลเซียส ลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ที่อัตรา 5 องศาต่อนาที ภายในเวลา 12 ชั่วโมง
   (5) หลังจากการอบ ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัวภายในเตาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
   (6) วิเคราะห์และคำนวณหาส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ส่วนผสมที่ดีที่สุดสำหรับคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล
2. คอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล มีกำลังรับแรงอัดมากขึ้นเทียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล
3. สามารถลดค่าใช้จ่ายทางตรง และทางอ้อมจากการใช้วัสดุเหลือใช้อย่างเม็ดแก้วรีไซเคิล
4. เป็นแนวทางให้งานวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

การนำวัสดุมวลรวมมาใช้นั้นควรเลือกวัสดุหลักที่มีความสามารถในการผสมที่ดี เมื่อนำเม็ดแก้วรีไซเคิลมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมเพื่อเพิ่มความสามารถในการทนไฟ คอนกรีตมวลเบาจึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการนำเม็ดแก้วมาผสม เนื่องด้วยกรรมวิธีการผลิตที่ไม่ซับซ้อนทำให้สามารถทดลองและปรับเปลี่ยนสูตรได้ง่าย

คอนกรีตมวลเบา คือผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อนสร้างผนัง ด้วยคุณสมบัติพิเศษที่มีน้ำหนักเบาและสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกถึง 4 เท่า และดีกว่าอิฐมอญ 6-8 เท่า ทำให้ประหยัดพลังงาน ทนต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูง สามารถกันไฟได้ถึง 1,100 องศาเซลเซียส

2.1.1. ประวัติของคอนกรีตมวลเบา

การริเริ่มคิดค้นการผลิตคอนกรีตมวลเบา เกิดขึ้นจากแนวคิดที่ว่าด้วยการนำวัสดุที่มีอยู่มาพัฒนาให้เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ ที่มีความสามารถในการทำงานได้ดีกว่าเดิม เช่น มีความแข็งแกร่ง น้ำหนักเบา ใช้งานง่าย และสะดวก AYLSWORTH ได้คิดค้นโดยการเพิ่มฟองอากาศในเนื้อวัสดุ ทำน้ำหนักเบาโดยใช้เม็ดโลหะ ในปี ค.ศ.1881 (พ.ศ. 2424) ประเทศสวีเดน MICHACLIS ได้คิดค้นวัสดุก่อสร้างชนิดแรกที่ใช้ก่อผนัง บ่มด้วยไอน้ำที่มีส่วนผสม ของทรายกับปูนขาวเป็นวัตถุดิบหลัก ในปี ค.ศ.1914 (พ.ศ. 2457) ประเทศอังกฤษ (Metallic Powder) เป็นตัวทำปฏิกิริยาเคมี ในปี ค.ศ.1923 (พ.ศ. 2466) ประเทศอังกฤษ ERIKSSON ได้ทำการพัฒนาโดยรวมวิธีการอบไอน้ำละเพิ่มฟองอากาศเข้าด้วยกันในเนื้อวัสดุซึ่งเป็นผลทำให้ได้วัสดุก่อผนังที่มีความเบาและมีความแข็งแกร่งสูง ซึ่งดีกว่าอิฐก่อผนังชนิดอื่นในโลกการผลิตคอนกรีตมวลเบาได้ถือกำเนิดเกิดขึ้นและมีการพัฒนามาจนถึง ปี 1929 (พ.ศ.2472) ในปีค.ศ.1929 (พ.ศ. 2472) ประเทศเยอรมันช่วงสงครามโลกได้นำการพัฒนากระบวนการผลิตในรูปของเครื่องจักร ควบคุมด้วยระบบ คอมพิวเตอร์ เพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับซ่อมแซมบ้านเรือน อาคารสำนักงาน ในปี ค.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1995 (พ.ศ. 2538) ประเทศไทย ประเทศไทยมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะ ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ ที่เป็นธุรกิจที่ทำให้กับนักลงทุนเป็นอย่างมาก แต่ทว่างานก่อสร้างในเมืองไทยยังมีปัญหาด้านอิฐก่อผนังที่ยังไม่มีวิธีการผลิตที่ควบคุมมาตรฐานที่ดี ซึ่งผู้ประกอบการ 6 รายใหญ่ในขณะนั้น ได้ค้นพบการแก้ปัญหาในงานก่อสร้าง ลดความล่าช้า ในการทำโครงการ สามารถส่งมอบโครงการได้ตรงตามกำหนดเวลา ด้วยการซื้อลิขสิทธิ์ การผลิตและเครื่องจักรจากเยอรมันจาก 2 ผู้ผลิตชั้นนำของโลกคือ HEBLE,YTONG และ WEHEAHAN โรงงานผลิตสินค้าออกสู่ตลาด ในปี 2539-2540 ตามลำดับ ในปี ค.ศ.2002(พ.ศ. 2545) ประเทศไทย ประเทศไทยมีความนิยมในตัวคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำเป็นอย่างมาก จนมีผู้คิดค้นวัสดุทดแทน (CLC) หรือเทียบเท่า แต่ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร รวมถึงมาตรฐานการผลิตที่ถูกต้อง และการแก้ไขปัญหา เหตุผลหนึ่งที่ทำให้คอนกรีตมวลเบาเป็นที่นิยมมากคือ เป็น วัสดุที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศ และหาได้จากธรรมชาติ จึงไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมผลิตได้ทุกฤดูกาล (นายสุรเชษฐ์ อุปวรรณ์ และคณะ, 2556)

2.1.2. ความหมายของคอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete)

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป เป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ทราย ปูนขาว ยิปซั่ม น้ำ และสารกระจายฟองอากาศส่วนผสมพิเศษในอัตราส่วนที่เป็นสูตรเฉพาะตัว โดยปกติคอนกรีตทั่วไปจะมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งประมาณ 2,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การผลิตส่วนใหญ่ เป็นการนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่นำเข้าจากต่างประเทศ อาทิเช่น เยอรมัน ออสเตรเลีย ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ ที่มุ่งเน้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการนำไปใช้งานทุกด้าน ด้วยคุณสมบัติพิเศษ คือตัววัสดุที่มีน้ำหนักเบา ขนาดก้อนได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน ทนป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ใช้งานได้เกือบ 100% ไม่มีเศษเป็นอิฐหัก และที่สำคัญคือรวดเร็ว สะอาด ลดระยะเวลาในการก่อสร้าง และลดต้นทุนโครงสร้าง (กฤษฎา สุทธิพันธ์, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิฐมวลเบามีคุณสมบัติที่โดดเด่น ดังนี้

1) คุณสมบัติทางกายภาพ อิฐมวลเบาหนา 10 เซนติเมตร เมื่อรวมน้ำหนักวัสดุรวมปูนฉาบจะหนัก 120 กิโลกรัม ในขณะที่อิฐมอญก่อ 2 ชั้น (เว้นช่องว่างตรงกลาง) จะหนัก 180 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักของการก่ออิฐมอญจะมากกว่าทำให้ต้องเตรียมโครงสร้างเผื่อกันรับน้ำหนักในส่วนนี้ ด้วย ทำให้ต้นทุนโครงสร้างเพิ่มขึ้น
2) การกันความร้อน หากเป็นกรณีปกติ “อิฐมวลเบา”จะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าอิฐมอญประมาณ 8-11 เท่า แต่การก่อผนังภายนอกอิฐจะต้องมีความหนา 10 เซนติเมตร และผนังภายในหนา 7เซนติเมตรขึ้นไปจึงจะสามารถกันความร้อนได้ดี แต่ในกรณีใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้น ตัวช่องว่างตรงกลาง จะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี และอิฐแถวด้านในไม่สัมผัสความร้อนโดยตรง จึงทำให้คุณสมบัติตรงนี้ของอิฐมอญจะมีความสามารถในการกันความร้อนที่ดีกว่า แต่การเว้นช่องว่างไม่ควรต่ำกว่า 5 เซนติเมตร
3) การกันเสียงปกติอิฐมวลเบาจะกันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญประมาณ 20% แต่ในกรณีใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้นช่องว่างตรงกลางจะทำหน้าที่เป็นฉนวนได้ดีกว่าเกือบ 2 เท่า แต่อิฐมวลเบาจะลดการสะท้อนของเสียงได้ดีกว่าเนื่องจากโครงสร้างของอิฐมวลเบามีฟองอากาศเป็นจำนวนมากอยู่ภายในทำให้ดูดซับเสียงได้ดี จึงเหมาะสำหรับห้องหรืออาคารที่ต้องการความเงียบ เช่นโรงภาพยนตร์หรือห้องประชุม
4) การกันไฟ อิฐมอญก่อ 2 ชั้นมีฉนวนตรงกลางจะกันไฟได้ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาเล็กน้อยและทน ไฟที่ 1,100 องศาเซลเซียส ได้นานกว่า 4 ชั่วโมงซึ่งนานกว่าอิฐมอญ 2-4 เท่าทำให้ช่วยจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้
5) ความแข็งแรง การใช้งานทั่วไปไม่ต่างกัน แต่ผนังอิฐมอญจะเหมาะสำหรับการใช้วัสดุกรุผนังที่มีน้ำหนักมาก เช่น หินแกรนิตหรือหินอ่อน
6) น้ำหนักเบาและรับแรงกดได้ดี น้ำหนักเบากว่าอิฐมอญ 2-3 เท่าและเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่า ส่งผลให้ประหยัดค่าก่อสร้างอาคาร และเสาเข็มลงได้อย่างมาก แต่อาคารยังคงมีความแข็งแรงเท่าเดิมจากโครงสร้างของอิฐมวลเบาที่ประกอบไปด้วยฟองอากาศจำนวนมากทำให้มีน้ำหนักเบาและสามารถรับแรงกดได้ดี ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้ ทำให้ผู้ใช้ประหยัดต้นทุนในการก่อสร้างได้มาก ยกตัวอย่างเช่น ไม่ต้องลงเสาเข็มลึกมากเนื่องจากโครงสร้างเบาและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถก่อสร้างโดยใช้โครงสร้างที่เล็กลงทำให้ประหยัดการใช้เหล็กและมีพื้นที่ใช้สอยภายในมากขึ้น

7) ประหยัดพลังงานเนื่องจากสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญแล้วยังใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กลงได้ ช่วยประหยัดค่าไฟไปได้มาก กันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญ 4-8 เท่า จึงช่วยลดการถ่ายเท ความร้อนจากภายนอกสู้ภายในอาคารได้เป็นอย่างดี ช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ถึง 30%

8) ใช้งานง่ายและรวดเร็ว เนื่องจากการผลิตมที่เป็นมาตรฐานทำให้สินค้าที่ออกมาเท่ากันทุกก้อนไม่เหมือนกับอิฐมอญที่ยังมีความไม่เป็นมาตรฐานอยู่ทำให้การก่อสร้างโดยใช้อิฐมวลเบาจะใช้เวลาในการก่อและเกิดการสูญเสียน้อยกว่าโดยเฉลี่ยแล้วภายใน1วันการก่อผนังโดยใช้อิฐมวลเบาจะได้พื้นที่ 25 ตารางเมตรโดยไม่ต้องอาศัยความชำนาญของช่าง สามารถตัดแต่งเลื่อย ไส เจาะ ฝังท่อระบบได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่ใช้งานง่ายและหาซื้อได้ทั่วไป ขณะที่ก่อโดยใช้อิฐมอญจะก่อได้เพียง 12 ตารางเมตร นอกจากนี้ยัง ช่วยประหยัดวัสดุอื่นๆ เช่น ปูนฉาบด้วย เนื่องจากสามารถก่อฉาบได้บางกว่าช่วยจำกัดความเสียในกรณีเกิดเพลิงไหม้ได้

9) มิติเที่ยงตรง ขนาดมิติเที่ยงตรง แน่นอนได้ชิ้นงานเรียบ สวยงาม มีหลายขนาดให้เลือกประหยัดวัสดุและแรงงานในการก่อฉาบ

10) คอนกรีตมวลเบามีอายุการใช้งานยาวนานเท่าโครงสร้างคอนกรีต (50 ปี) เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซั่ม สารกระจายฟองและเหล็กเส้น จึงมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า อิฐมอญซึ่งส่วนผสมส่วนใหญ่คือ ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 นิยามของคอนกรีต (วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย)

คอนกรีตในความหมายทางด้านวิศวกรรมโยธาคือ วัสดุประกอบ (Composite Material) ที่เกิดจากส่วนประกอบ 3 ชนิดคือ 1) ซีเมนต์ (Cement) 2) มวลรวม (Aggregates) และ 3) น้ำ (Water) โดยคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลาย นับว่ามากที่สุดในโลกก็ว่าได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากความได้เปรียบหลายประการเหนือวัสดุอื่น อาทิเช่น การมีความสามารถในการขึ้นรูปลักษณะใดก็ได้ การมีคุณสมบัติที่ดีทั้งทางกลและทางกายภาพ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตหาได้ง่าย (มาจากธรรมชาติ) ราคาต้นทุนการผลิตต่ำและใช้งานง่ายโดยเฉพาะในปัจจุบันหรือในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ ที่ต้องการความพิถีพิถันในแง่ของการเลือก และรักษาคุณภาพของวัสดุความต้องการคอนกรีตไม่ได้จำกัดเพียงแค่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเท่านั้น แต่ต้องมีคุณสมบัติอื่นๆตามมาอีก ยกตัวอย่างเช่น ความสวยงาม คงทน น้ำหนักเบา กันความร้อน ปลอดมลพิษ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทำให้การได้คอนกรีตที่ดีนั้น ไม่ง่ายอย่างที่ใครคิด ผู้ใช้งานทุกระดับไม่ว่าจะเป็นบุคคลธรรมดาที่ต้องการใช้งานที่บ้านเอง หรือวิศวกรที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรง จำเป็นต้องศึกษาและมีความรู้ในเรื่องของคอนกรีตอย่างเพียงพอที่จะสามารถผลิตผลงานนั้นๆออกมาได้ด้วย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามวัสดุที่ใช้คือ

2.2.2 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Light – Weight Aggregate Concrete) (วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย)

1.) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินที่เป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ มวลชนิดนี้ใช้ผสมคอนกรีตที่ไม่ต้องกำลังสูง และมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก

2.) มวลรวมเบาที่ได้จากกระบวนการผลิต 3 กระบวนการคือ Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวผสมกับสารก่อฟองอากาศและนำไปเผาด้วยหม้อเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เกิดเป็นฟองอากาศอยู่ในเนื้อหิน ทำให้ภายในเป็นโพรงอากาศ กระบวนการที่สองคือ Expanded ShaleAggregate ได้จากการนำดินดานมาผสมกับถ่านที่บดละเอียดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงค่อนข้างดีจึงนิยมนำมาทำคอนกรีตมวลเบาและกระบวนการที่สาม Sintered Fly Ash ได้จากการนำเถ้าลอยน้ำไปเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส ทำให้อนุภาคเกาะติดกัน ผิวของมวลรวมค่อนข้างเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกผสมในคอนกรีต

4.) มวลรวมที่ได้จากของเหลวของกระบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าหนักที่ได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหินหรือจากการพ่นน้ำไปบน Slag ที่หลอมเหรอ แต่ถ้าหากจำแนกคอนกรีตเบาตามการไปใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

(1.) คอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete) กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 180-240 กก./ตร.ซม หน่วยน้ำหนัก 1400-1800 กก./ลบ.ม.

(2.) คอนกรีตสำหรับงานก่อ (Masonry Concrete) กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 100-180 กก./ตร.ซม หน่วยน้ำหนัก 500-800 กก./ลบ.ม.

(3.) คอนกรีตสำหรับงานฉนวนความร้อน (Insulating Lightweight Concrete) กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 10-100 กก./ตร.ซม หน่วยน้ำหนัก น้อยกว่า 800 กก./ลบ.ม. (จากประเสริฐ ดำรงชัย ,2542)

2.2.3 โฟมคอนกรีต (Aerated or Foam Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ได้จากการทำให้เกิดฟองอากาศหรือที่เรียกว่าโฟม ขนาด 0.1 ถึง 1.0 มิลลิเมตรในเนื้อคอนกรีต มีการผลิต 2 ระบบคือ

1.) Autoclaved Aerate Concrete (AAC) โดยที่ฟองอากาศเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนผสมทำให้เกิดก๊าซและขยายตัวขึ้น ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะถูกกักอยู่ในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตมวลเบาประเภทนี้ถูกเรียกกันว่าคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ เนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้ส่วนใหญ่ต้องนำไปอบด้วยไอน้ำต่อ

2.) Cellular Lightweight Concrete (CLC) ฟองอากาศที่ได้เกิดจากการใส่ฟองอากาศหรือสารกักฟองอากาศลงไป และทำการผสมฟองอากาศร่วมกับสัดส่วนผสมคอนกรีตหรือมอร์ต้าเมื่อคอนกรีตหรือมอร์ต้าแข็งตัว จะเกิดโพรงอากาศกระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Fineness Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด (ทราย) อยู่ในส่วนผสม ส่วนผสมหลักจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวมหยาบ การยึดเกาะติดกันระหว่างมวลรวมหยาบเกิดจากผิวที่ถูกเคลือบด้วยซีเมนต์เพลสต์หนาประมาณ 1 ถึง 3 มิลลิเมตร เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะเกิดช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบนั้นและทำให้น้ำหนักของคอนกรีตลดลง หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ประเภทนี้ประมาณ 1600 ถึง 2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้ ได้แก่ กรวดโม่ หินโม่ เป็นต้น ขนาดของมวลรวมควรมีขนาดเท่าๆกัน ขนาดที่ใช้อยู่ในช่วง 9.5 ถึง 20.0 มิลลิเมตร มีกำลังต้านทานแรงอัด 60 ถึง 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตประเภทนี้ขึ้นอยู่กับมวลรวมที่ใช้และปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ โดยทั่วไปส่วนผสมที่ใช้จะประมาณ 1:8 โดยปริมาตร และอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ประมาณ 0.4

2.2.5 ความหมายของแก้ว (บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว)

"แก้ว" มาจากภาษาอังกฤษว่า"Glass" เป็นวัตถุโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมันแวววาวสุกใส แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีลักษณะโปร่งตาและมีความเปราะในตัวเอง ตาม ASTM กล่าวว่า แก้ว คือ วัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ต่างๆ มาเผาให้ถึงจุดละลายที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาเย็นตัวลงมาจะกลายเป็นของแข็งโดยไม่ตกผลึก

รูปที่ 2.1 เม็ดแก้วรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้วคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหลอมอนินทรีย์สารอันได้แก่ซิลิกา (silica - ซึ่งเป็นธาตุที่มีจุดหลอมเหลวมากถึง 1700°C) กับสารโลหะ ออกไซด์แล้วทำให้เย็นตัวจนกระทั่งแข็งโดยไม่มีการตกผลึก (crystallization) ส่วนประกอบทาง เคมีของแก้วประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide,SiO2) โบรอนออกไซด์ (boron oxide, B2O3) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na2CO3) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO3) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (magnesiumcarbonate, MgCO3) มีลักษณะโปร่งแสงและมีความเปราะ หากพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพแล้ว แก้วจะหมายถึงวัสดุที่มีความแข็ง (hard) โปร่งใส (transparent) เปราะ (brittle) มีความแววววาว (relative) มีจุดหลอมละลายสูง (high softening point) ไม่ละลายในน้ำและในสารละลายใดๆ (insoluble in water and organic solvents) อีกทั งไม่ติดไฟ (non inflammable) ซึ่งแก้วมีสมบัติดังต่อไปนี้ (อุตตรากร วรวรรณ,2525)

1. แก้วมีโครงสร้างทางเคมีไม่แน่นอน แต่แก้วจะมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกัน คือ ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตเป็นหลัก
2. มีความแข็งแต่เปราะทำให้แตกหักง่าย
3. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องไม่ดี แต่ที่อุณหภูมิสูงจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี
4. มีลักษณะโปร่งใส (transparency)
5. สามารถทำให้หลอมละลายได้ด้วยความร้อน
6. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสมบัติของแก้วจะเปลี่ยนไปทั้งลักษณะทางกายภาพ และสมบัติ ทางเคมี
7. มีช่วงการหลอมละลายกว้าง
8. สมบัติทางกายภาพต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะสามารถสังเกตเห็นได้

คุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบามีดังนี้

1. ความแข็งแรง ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตมวลเบาจะมีค่าประมาณ 10 ถึง 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ยกเว้นคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง ซึ่งมีกำลังต้านทานแรงอัด 100 ถึง 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาทั่วไปอาจทำให้สูงขึ้น โดยการใช้ทรายธรรมชาติแทนมวลรวมน้ำหนักเบา แต่จะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความคงทน คอนกรีตมวลเบาทั่วไปไม่สามารถทนการกัดกร่อนจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพและการกระทบกระแทกจากแรงภายนอกเนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีโพรงอากาศอยู่ภายใน ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาจึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพที่มีสารพวกซัลเฟตเจือปนอยู่หรือในสภาพดินชื้น ดังนั้นการนำไปใช้ความมีการฉาบผิวเพื่อป้องกันการศึกกร่อน
3. การหดตัว คอนกรีตมวลเบามีการหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดา ประมาณ 5 – 40 % แต่คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมซึ่งเป็นผลลิตจากดินเผา ดินดานหรือตะกรันจะหดตัวน้อยลง
4. การนำความร้อน คอนกรีตมวลเบาเป็นตัวนำความร้อนที่เลว เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีโพรงอากาศมากทำให้คอนกรีตมวลเบานำความร้อนได้ไม่ดี
5. หน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 300-1,800 กก./ลบ.ม.
6. การดูดซึมน้ำ คอนกรีตมวลเบามีการดูซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากมีรูพรุนภายในเนื้อของคอนกรีตมากกว่า
7. ความสามารถเทได้ ในปริมาณความสามารถเทได้ที่เท่ากัน คอนกรีตมวลเบาจะมีความยุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา
8. การทนไฟ คอนกรีตมวลเบามีความต้านทานเพลิงไหม้ได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา
9. สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตมวลเบามีประมาณ 7 x 106 ถึง 14 x 106 ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่า คอนกรีตธรรม

ข้อควรระวังของคอนกรีตมวลเบาในการใช้งาน

1. การแยกตัว ถ้าส่วนผสมมีค่ายุบตัวมากหรือการจี้เขย่ามากเกินไปคอนกรีตจะเกิดการแยกตัว ทำให้มวลรวมที่หนักจะกองไปอยู่ก้นแบบและน้ำจะเยิ้มออกมาสู่ผิวหน้าคอนกรีตมากทำให้การแต่งผิวหน้า ทำได้ยากขึ้น
2. การดูดซึมน้ำของมวลรวมจะมาก ดังนั้นในการออกแบบสัดส่วนผสมต้องนำปัจจัยนี้มาพิจารณา รวมทั้งกำหนดวิธีการผสม
3. การผสมต้องผสมให้ถูกวิธี ถ้าใช้เวลาในการผสมที่นานเกินไป อาจทำให้มวลรวมเบาแตกได้
4. ความทนทานในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สุเมธ สันทัดวัฒนา, 2554. ได้ศึกษาเรื่องคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC เป็นการผลิต โดยใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศก่อนจึงนำไปผสมกับซีเมนต์และน้ำทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีต ลดลง การวิจัยนี้ ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นอยู่ช่วง 600 ถึง 1800 กก./ ลบ.ม. ทดลองโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 โดยจะศึกษาถึงคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัด อัตราการดูดซึมน้ำ อัตราการหดตัว และค่าการนำความร้อน ซึ่งได้ค่ากำลังอัดอยู่ช่วง 5 ถึง 300 กก./ตร.ซม. อัตราการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 14% ถึง 33% อัตราการหดตัวอยู่ในช่วง 550μ-1100μ และค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.23 ถึง 0.61 วัตต์/เมตร-องศาเคลวิล

บุรฉัตร กำชูยี และ ปิยนันท์ สุโน, 2551. ได้ศึกษาการวัตต์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ณ ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศก่อนจึงนำไป ผสมซีเมนต์และน้ำ ทำให้ความหนาแน่ของคอนกรีตลดลง การวิจัยนี้ มุ่งเน้นการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา ระบบ CLC ที่มีความหนาแน่นระหว่าง 600-1800 กก./ลบ.ม. ทดลองโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1ซึ่งคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัดจะแปรผันตามความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง และพบว่า เมื่อคอนกรีตมีค่ากำลังรับแรงอัดมากจะทำให้ความสามารถในการกันความร้อนน้อยลดลง

ณัฐวุฒิ เต่งศิริธรรม, 2558. ได้การศึกษาส่วนผสมและอิทธิพลของตัวแปรใน กระบวนการผลิตอิฐทนไฟของเถ้าลอยอะลูมิเนียม โดยออกแบบการทดลองให้มีตัวแปรซึ่งประกอบด้วย ขนาดของ Mesh No.40 ถึง 100 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100:00 ถึง 20:80 แรงดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300kg/cm2 ถึง 350 kg/cm2 และอุณหภูมิในการอบชิ้นงานที่ 1,200C ถึง 1,300 C แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยค่าความหนาแน่น, ค่าความพรุนปรากฏ, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, และสมบัติทางกลประกอบด้วย ค่ากำลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็น จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอลูมินาสูง KB-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศาสตร์ตราชัย เตี๊ยะตาช้าง, 2553. ได้กล่าวถึงการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ในอุตสาหกรรมมีต้นทุนที่สูง บริษัทรับเหมาขนาดเล็กรวมถึงประชาชนทั่วไปมักจะเลือกใช้คอนกรีตบล็อกหรืออิฐมอญที่มีราคาถูกกว่าในการก่อสร้างผนังดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยการหาสัดส่วนที่เหมาะสมจากปัจจัยหลัก 3 อย่างอันได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์อยู่ในช่วง 0.40 ถึง0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์อยู่ในช่วง 1.0 ถึง 2.5 และปริมาณโฟมอยู่ในช่วง 30 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากนั้นทำการทดลองและสร้างสมการทำนายหา กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นในสภาพแห้ง และอัตราการดูดซึมน้ำ เพื่อวิเคราะห์และแก้ระบบสมการหา สัดส่วนที่เหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก. 2601-2556 และได้ ราคาต่ำสุด ผลจากการศึกษาพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในช่วงความหนาแน่น 500 ถึง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.18 และปริมาณโฟมเท่ากับ 53.42 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนที่เหมาะสมในช่วงความหนาแน่น 801 ถึง 1200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์ เมตรคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ2.50 และปริมาณโฟม เท่ากับ 44.08 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนที่เหมาะสมในช่วงความหนาแน่น 1201 ถึง 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 2.50 และปริมาณโฟมเท่ากับ 35.41 เปอร์เซ็นต์

ยวดยง อัศวทิภาวงศ์ ยุทธนา ครองยุทรและ อรรถพล แก้วลัดดากร, 2555. ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลในคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนการผสมตามกำหนด โดยงานวิจัยนี้เน้นการนำสิ่งที่เหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์และการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตความหนาแน่นระหว่าง 600 – 1800 กก./ลบ.ม. การทดสอบนี้ ใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทราย 1:1 และผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล 16 , 24 , 40, 48 , 64% โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อคอนกรีตทดสอบ ที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำ 0.3 , 0.4 , และ 0.5 ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังแรงอัดและค่าหน่วย น้ำหนักจะแปรผกผันกับปริมาณแก้วที่ผสมลงในคอนกรีตมวลเบา อัตราการดูดซึมน้ำจะแปรผันตาม ปริมาณเม็ดแก้วที่ผสมลงในคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยในเพื่อศึกษาและพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยผสมมวลรวมสังเคราะห์ คือ เม็ดแก้วรีไซเคิล ซึ่งแก้วรีไซเคิลนั้นเป็นวัสดุที่หาง่ายทั่วไปและเป็นการลดมลพิษจากขยะ ซึ่งในบทนี้ จะกล่าวถึงเครื่องมือและวิธีดำเนินงานวิจัย เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนในการทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติของคอนกรีต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ออกแบบการทดลองและคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา สำหรับตัวอย่างทดสอบทั้งหมด
2) จัดหาวัสดุสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบาและหาเม็ดแก้วรีไซเคิลที่มีขนาดและคุณสมบัติใกล้เคียงกัน
3) จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา
4) ผลิตคอนกรีตมวลเบาตามกรรมวิธีการผลิตแบบ CLC
5) ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบ โดยแบ่งตัวอย่างคอนกรีตออกเป็นสองชุด
6) วิเคราะห์ผลการทดลอง
7) สรุปผลการทดลอง

3.1 ขั้นการออกแบบการทดลอง

3.1.1. กำหนดส่วนประกอบที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของตัวอย่าง

การทดลองเพื่อหาส่วนผสมต่างๆของคอนกรีตมวลเบาตามขั้นตอนการผลิตแบบ CLC เพื่อที่จะหาอัตราส่วนผสมแก้วที่ดีที่สุด นั้นคือ ส่วนผสมที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุดทั้งก่อนอบและหลังอบ มีองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อตัวอย่างดังนี้

3.1.1.1.) ขนาดของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ต่างกันอาจมีผลต่อการรับแรงอัดของคอนกรีต รวมถึงคุณสมบัติอื่นๆของคอนกรีตด้วย

3.1.1.2) ปริมาณของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ผสมลงในคอนกรีต ให้เป็นมวลรวมหยาบจำเป็นต้องกำหนดปริมาณเม็ดแก้วเพื่อเปรียบเทียบ เพื่อหาปริมาณของแก้วที่ดีที่สุดที่ต้องผสมลงในคอนกรีต

3.1.1.3) ปริมาณและขนาดของตัวอย่างการทดลองเพื่อให้เหมาะสมกับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2. กำหนดขนาดและจำนวนของตัวอย่าง

เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่นำมากำหนดเป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา จะทำให้การออกแบบขนาดและจำนวนของตัวอย่างการทดลอง มีขนาดเล็กและมีจำนวนมากขึ้นเพื่อง่ายต่อการจดบันทึกและเปรียบเทียบ

3.2 ขั้นตอนเตรียมการผลิต

วัสดุที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาและสำหรับใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรงหรือในที่ที่มีอัตรายจากซัลเฟตเป็นพิษหรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิสูงจนทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวเสียหาย

2. น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องปราศจากกรด ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่นๆในปริมาณที่จะเป็นอัตรายต่อคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติที่ไม่มีน้ำเสียผสมจากอาคารบ้านเรือนหรือจากโรงงานอุตสาหกรรมถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีต

3. ทรายละเอียด

เลือกใช้ทรายละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า 0.15 มม. หรือสามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 100 แต่ทั้งนี้ ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. ซึ่งวัสดุที่เล็กกว่านี เรียกว่า ฝุ่น

4. เม็ดแก้วรีไซเคิล

เลือกใช้เม็ดแก้วรีไซเคิล 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็กกว่า 2.36 มม. หรือสามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 8 และมีขนาดใหญ่กว่า 1.18 มม. หรือค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 16 ,ขนาดเล็กกว่า 1.18 มม. หรือสามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 16 และมีขนาดใหญ่กว่า 0.60 มม. หรือค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 30 และขนาดเล็กกว่า 0.60 มม. หรือสามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 30 และมีขนาดใหญ่กว่า 0.15 มม. หรือค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 100 โดยขั้นตอนการผลิตอย่างละเอียดของเม็ดแก้วรีไซเคิลนี้ ขอสงวนสิทธิ์ไว้กับ บริษัท P.General product จำกัด

กรรมวิธีการผลิตเม็ดแก้วรีไซเคิลมีดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเม็ดแก้วรีไซเคิลคือเศษแก้วใสที่ได้จากกระจกประเภทโซดาไลม์ ซึ่งทำความสะอาดมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในส่วนของการคัดเลือกแก้วต้องระมัดระวัง เลือกแก้วประเภทเดียวกัน หากมีเศษแก้วที่มีส่วนผสมของตะกั่วปะปนเข้ามา จะทำให้เม็ดแก้วที่ได้คุณภาพไม่ดี เพราะแก้วที่มีตะกั่วปนเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดหรือก๊าซ ที่เคยใสจะเปลี่ยนไปเป็นหมองคล้ำ
3. เมื่อเลือกเศษแก้วได้แล้ว นำมาบดและคัดขนาดแล้วนำเข้าเตาหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 – 1,400องศาเซลเซียสจนได้น้ำแก้วหลอมเหลว
4. ช่วงปลายเตาจะมีท่อเล็กๆจำนวนหนึ่งปล่อยให้น้ำแก้วหยดผ่าน ขณะเดียวกันเป่าลมดันสวนขึ้นไป ควบคุมอุณหภูมิและความดันของลมให้พอเหมาะก็จะได้เม็ดแก้วกลมๆออกมามากมาย
5. เม็ดแก้วที่ได้จะถูกนำไปเคลือบด้วยเรซิ่นที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียสอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ทนทานต่อสภาพอากาศได้มากขึ้น

3.3 ขั้นตอนการผลิต

3.3.1. ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

<u>เครื่องมืออุปกรณ์</u>

1. ขวดแก้ววัดปริมาตร Volumetric Flask ขนาด 500 ml.

รูปที่ 3.1 ขวดแก้ววัดปริมาตร Volumetric Flask ขนาด 500 ml.

2. เครื่องชั่ง
3. กรวยหล่อโลหะหัวตัด (Sand absorption cone) เส้นผ่าศูนย์กลางปลายบน 38 มม.เส้นผ่าศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายล่าง 89 มม. สูง 74 มม. พร้อมเหล็กกระทุ้ง (tamper) น้ำหนัก 340±15กรัม ลักษณะเหล็กกระทุ้งนี้ ที่ปลายเหล็กกระทุ้งเป็นวงกลมแบน เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม.

รูปที่ 3.2 กรวยหล่อโลหะหัวตัดและเหล็กกระทุ้ง

4. ถาด

5. เตาอบ (Oven) รักษาอุณหภูมิในช่วง 100-115 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.3 เตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างทรายแช่น้ำสะอาด 24 ชั่วโมงเพื่อให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวสมบูรณ์
2. ทำการตากตัวอย่างและนำมาทดสอบด้วยกรวยหล่อโลหะหัวตัดจนได้ลักษณะของทรายที่ถอดแบบคล้ายพีระมิดหัวแหลม จึงได้ทรายในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
3. นำตัวอย่างทรายที่มีอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จำนวน 500 g (ค่า B) แบ่งเป็นสี่ส่วนเลือกทรายแค่สองส่วน
4. เทลงใน Volumetric Flask 500 ml. (C.C.) โดยใช้กรวยตวงทรายใส่จนหมด แล้วนำน้ำสะอาดมาเทใส่จนท่วมทราย ให้ไม่เกินขีดบอกขนาด 500 ml.
5. ทำการไล่ฟองอากาศ โดยเอนขวดพอประมาณแล้วหมุนขวดไป-มา หรือจะแกว่งทรายในขวดแล้วนำไปสูบเอาอากาศออก โดยใช้ Vacuum Pump ก็ได้ หรือจะนำไปแกว่งในน้ำร้อน ซึ่งวิธีนี้ ต้องการ Calibrate น้ำกับขวด Volumetric Flask เพราะมีอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง
6. เติมน้ำเข้าไปอีกจนพอดีขีดบอกขนาด 500 ml. โดยสังเกตท้องน้ำเป็นหลักแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (ได้ค่า C)
7. เทตัวอย่างทรายพร้อมน้ำออกจาก Volumetric Flask ใส่ลงในถาดที่ใหญ่พอโดยเมื่อเทออกจนหมดแล้วน้ำไม่ล้นออกมา แล้วนำไปอบที่อุณห ภูมิ 100-115 °C ทิ้งไว้จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 24ชม.) แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (ได้ค่า A)

ตารางที่ 3.1 การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทรายละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

	1	2	3	เฉลี่ย
C: น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่ใส่ทรายและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	977.22	820.68	821.80	
B: น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	665.23	665.97	665.45	
A: น้ำหนักของทรายหลังจากอบแห้ง (กรัม)	486.30	239.21	248.35	
S: น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	500.00	250.00	250.00	
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม (Bulk specific gravity) = A/(B+S-C)	2.59	2.51	2.65	2.58
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity) = S/(B+S-C)	2.66	2.62	2.67	2.65
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/(B+A-C)	2.79	2.83	2.70	2.77
ร้อยละการดูดน้ำของทราย (Absorption) = [(S-A)/A]*100 (%)	2.82	4.51	0.66	2.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเม็ดแก้วรีไซเคิล สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

<u>เครื่องมืออุปกรณ์</u>

1. ขวดแก้ววัดปริมาตร Volumetric Flask ขนาด 500 ml.
2. เครื่องชั่ง
3. ถาด
4. เตาอบ (Oven) รักษาอุณหภูมิในช่วง 100-115 องศาเซลเซียส

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างเม็ดแก้วรีไซเคิลแช่น้ำสะอาด 24 ชั่วโมงเพื่อให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวสมบูรณ์
2. ทำการตากแดดจนผิวของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลแห้ง จึงได้ตัวอย่างในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

รูปที่ 3.5 เม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

3. นำตัวอย่างเม็ดแก้วรีไซเคิลที่มีอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จำนวน 500 g (ค่า B) แบ่งเป็นสี่ส่วน เลือกเม็ดแก้วรีไซค์เคิลแค่สองส่วน
4. เทลงใน Volumetric Flask 500 ml. (C.C.) โดยใช้กรวยตวงเม็ดแก้วรีไซเคิลใส่จนหมด แล้วนำน้ำสะอาดมาเทใส่จนท่วมเม็ดแก้วรีไซเคิล ให้ไม่เกินขีดบอกขนาด 500ml.
5. ทำการไล่ฟองอากาศ โดยเอนขวดพอประมาณแล้วหมุนขวดไป-มา หรือจะแกว่งตัวอย่างในขวดแล้วนำไปสูบเอาอากาศออก โดยใช้ Vacuum Pump ก็ได้ หรือจะนำไปแกว่งในน้ำร้อน ซึ่งวิธีนี้ต้องการ Calibrate น้ำกับขวด Volumetric Flask เพราะมีอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง
6. เติมน้ำเข้าไปอีกจนพอดีขีดบอกขนาด 500 ml. โดยสังเกตท้องน้ำเป็นหลักแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (ได้ค่า C)
7. เทตัวอย่างพร้อมนำออกจาก Volumetric Flask ใส่ลงในถาดที่ใหญ่พอโดยเมื่อเทออกจนหมดแล้วน้ำไม่ล้นออกมานำไปอบที่อุณหภูมิ 100-115 ^{o}C ทิ้งไว้จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 24ชม.) แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (ได้ค่า A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

ตารางที่3.2การคำนวณความถ่วงจำเพาะของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ0.15-0.60มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย
C: น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่ใส่เม็ดแก้วรีไซค์เคิลและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	866	864	860	
B: น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	656	655	655	
A: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม)	385	383	380	
S: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	500	500	500	
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม (Bulk specific gravity) = A/(B+S-C)	1.33	1.32	1.29	1.31
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity) = S/(B+S-C)	1.72	1.72	1.69	1.71
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/(B+A-C)	2.20	2.20	2.17	2.19

ตารางที่3.3การคำนวณความถ่วงจำเพาะของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ0.60-1.18มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย
C: น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่ใส่เม็ดแก้วรีไซค์เคิลและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	907	905	906	
B: น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	655	658	656	
A: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม)	441	438	443	
S: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	500	500	500	
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม (Bulk specific gravity) = A/(B+S-C)	1.78	1.73	1.77	1.76
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity) = S/(B+S-C)	2.02	1.98	2.00	2.00
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/(B+A-C)	2.33	2.29	2.30	2.31

ตารางที่3.4การคำนวณความถ่วงจำเพาะของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ1.18-2.36มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย
C: น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่ใส่เม็ดแก้วรีไซค์เคิลและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	950	953	951	
B: น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	656	655	658	
A: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม)	493	495	492	
S: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	500	500	500	
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม (Bulk specific gravity) = A/(B+S-C)	2.39	2.45	2.38	2.41
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity) = S/(B+S-C)	2.43	2.48	2.42	2.44
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/(B+A-C)	2.48	2.51	2.47	2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5การคำนวณร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ0.15-0.60มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5
A: น้ำหนักของภาชนะและเม็ดแก้วรีไซค์เคิลอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	119	117	119	125	117
B: น้ำหนักของภาชนะและเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม)	96	95	96	102	96
C: น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	19	17	19	25	17
D: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม) = A - C	100	100	100	100	100
E: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม) = B - C	77	78	77	77	79
ร้อยละการดูดน้ำของเม็ดแก้วรีไซค์เคิล (Absorption) = [(D-E)/E]*100 (%)	29.87	28.21	29.87	29.87	26.58
ร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลเฉลี่ย	28.88				

ตารางที่ 3.6การคำนวณร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ0.60-1.18มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5
A: น้ำหนักของภาชนะและเม็ดแก้วรีไซค์เคิลอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	116	115	125	127	118
B: น้ำหนักของภาชนะและเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม)	103	101	111	108	109
C: น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	16	15	25	27	18
D: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม) = A - C	100	100	100	100	100
E: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม) = B - C	87	86	86	81	91
ร้อยละการดูดน้ำของเม็ดแก้วรีไซค์เคิล (Absorption) = [(D-E)/E]*100 (%)	14.94	16.28	16.28	23.46	9.89
ร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลเฉลี่ย	16.17				

ตารางที่ 3.7การคำนวณร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดØ1.18-2.36มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

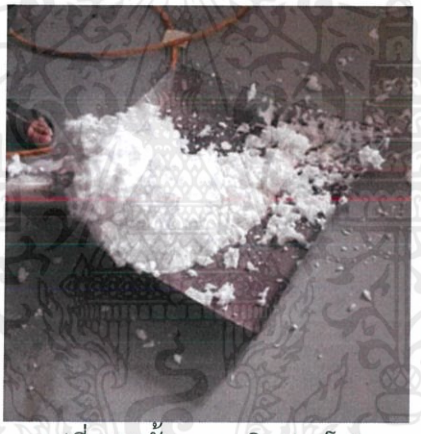
ตัวอย่าง	1	2	3	4	5
A: น้ำหนักของภาชนะและเม็ดแก้วรีไซค์เคิลอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	116	118	122	117	118
B: น้ำหนักของภาชนะและเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม)	115	116	120	115	115
C: น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	16	18	22	17	18
D: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม) = A - C	100	100	100	100	100
E: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม) = B - C	99	98	98	98	97
ร้อยละการดูดน้ำของเม็ดแก้วรีไซค์เคิล (Absorption) = [(D-E)/E]*100 (%)	1.01	2.04	2.04	2.04	3.09
ร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลเฉลี่ย	2.05				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3. ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตมวลเบา

1. ผสมปูน ทราย น้ำ ตามอัตราส่วนที่กำหนด
2. ผลิตฟองโฟมจากน้ำยาที่เตรียมไว้ด้วยเครื่องผลิตฟองโฟมและเครื่องอัดอากาศ แล้วคัดโฟมที่มีความละเอียดสูง จากนั้นตวงฟองโฟมด้วยถ้วยตวง ตามอัตราส่วนโดยปริมาตรที่กำหนด

รูปที่ 3.6 ปั๊มลมและเครื่องผลิตโฟม



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนผลิตฟองโฟม

3. ผสมมอร์ต้า กับ ฟองโฟม ให้เข้ากัน โดยทำการผสมที่ห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ร้อนจะทำให้น้ำในมอร์ต้าระเหยไวขึ้น เป็นสาเหตุให้กำลังของชิ้นตัวอย่างลดลง
4. สำหรับตัวอย่างที่มีการผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ให้นำมอร์ต้าที่ผสมฟองโฟมเรียบร้อยแล้วมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาณโดยน้ำหนักที่จะผสมเม็ดแก้ว จากนั้นผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง
5. หล่อมอร์ต้าลงแบบหล่อที่เตรียมไว้ โดยต้องให้มอร์ต้าเข้ากับแบบได้อย่างดี แล้วปาดแต่งผิวหน้าด้วยเกรียงแล้วซีลด้วยพลาสติกซีลเพื่อป้องกันน้ำระเหย
6. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วจึงทำการแกะแบบออก จากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มน้ำ
7. เมื่อตัวอย่างมีอายุครบกำหนดแล้ว นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ ตากแห้งไว้เป็นเวลา 1 วัน แล้วทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่าง ก่อนทำการทดสอบตัวอย่างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

การเตรียมชิ้นตัวอย่างแสดงจำนวนชิ้นงานในการทดลอง โดยในการทดลองได้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1 ร้อยละฟองโฟมโดยปริมาตรชิ้นงานเท่ากับ 0.4 และ ร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซเคิล 0, 5, 10 และ 15 โดยแบ่งการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 3.8 อัตราส่วนผสมของชิ้นตัวอย่างก่อนอบ

Sand/Cement	w/c	Glass beads size (mm.)	% Glass (percent by weight)	Testing	Amount
1	0.65	0	0	Pre burnt	6
		Ø0.15-0.60	5	Pre burnt	6
			10	Pre burnt	6
			15	Pre burnt	6
		Ø0.60-1.18	5	Pre burnt	6
			10	Pre burnt	6
			15	Pre burnt	6
		Ø1.18-2.36	5	Pre burnt	6
			10	Pre burnt	6
			15	Pre burnt	6
				Total	60

ตารางที่ 3.9 อัตราส่วนผสมของชิ้นตัวอย่างหลังอบ

Sand/Cement	w/c	Glass beads size (mm.)	% Glass (percent by weight)	Testing	Amount
1	0.65	0	0	Post burnt	6
		Best Strength	Best Strength	Post burnt	6
				Total	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1. กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

<u>เครื่องมืออุปกรณ์</u>

1. Dial gauge
2. เครื่องชั่ง
3. Vernier caliper

รูปที่ 3.10 Vernier caliper

4. เครื่อง Universal Testing Machine

รูปที่ 3.11 เครื่อง Universal Testing Machine

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างที่บ่มเสร็จแล้วมาวัดความกว้าง ความยาว และความสูงด้วย Vernier caliper
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและจดบันทึก
3. นำ Dial gauge มาติดตั้งที่เครื่อง UTM เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของความสูง
4. นำตัวอย่างเข้าเครื่อง UTM เตรียมทำการสอบการรับแรงอัด
5. กดตัวอย่างจนถึงจุดวิบัติและบันทึกข้อมูลกำลังรับแรงอัดทุกระยะ 0.1 mm รวมถึงกำลังรับแรงอัดประลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

A: ความกว้างของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

B: ความยาวของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

C: ความสูงของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

D: การเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่าง (ทุกระยะ0.1mm)

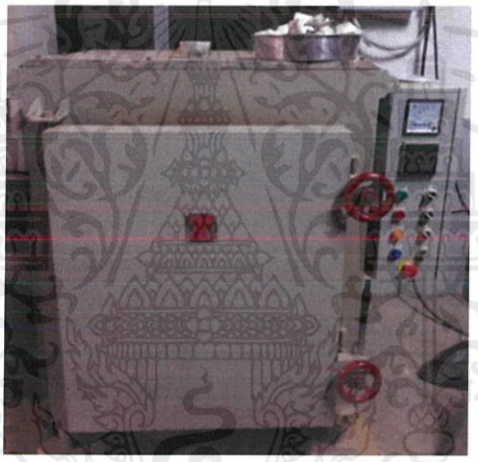
E: กำลังรับแรงอัดที่วัดได้จากเครื่อง UTM

Stress ความเค้น = E / (A x B) (3.1)

Stain ความเครียด = D/C (3.2)

3.4.2. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผาสำหรับการทดสอบ

1. เตรียมเครื่องอบ ชิ้นตัวอย่างและอุปกรณ์



รูปที่ 3.12 เครื่องอบ TF ที่ใช้อบตัวอย่าง

2. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบและเรียงให้เป็นระเบียบ
3. ตั้งค่าให้เครื่องอบโดยกำหนดการให้ความร้อนภายในเครื่องเป็น 3 ช่วง โดยช่วงแรกกำหนดให้เครื่องอบเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องจนถึง 1000 องศาเซลเซียสใน 4 ชั่วโมง ช่วงที่สองกำหนดอุณหภูมิค้างไว้ที่ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และช่วงสุดท้ายให้ลดอุณหภูมิลงจาก 1000 องศาเซลเซียสถึงอุณหภูมิห้องใน 4 ชั่วโมง
4. ปิดเครื่องเตาอบและทิ้งไว้เวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ตัวอย่างอุณหภูมิเย็นลง
5. นำตัวอย่างที่ผ่านการเผาและเย็นตัวลงแล้วมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักเพื่อเตรียมการทดสอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 ความสัมพันธ์ของค่าหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดต่างๆ และ ปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลต่างๆ

4.1.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ของคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดเม็ดแก้ว กับปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิล และ ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา

จากผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดเม็ดแก้ว กับปริมาณม็ดแก้วรีไซเคิล และค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาทำให้ทราบผลการทดลอง เป็นไปดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

Sample	0%					
	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	200.760	5.000	5.108	5.010	127.955	1.569
B	191.410	5.118	5.040	4.970	128.200	1.493
C	186.000	5.138	5.030	4.980	128.704	1.445
D	177.890	5.010	5.130	4.950	127.221	1.398
E	failure					
F	188.920	5.000	5.040	5.000	126.000	1.499
Average						1.481

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	5%					
Ø0.15-0.60mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	189.450	5.000	5.040	5.000	126.000	1.504
B	189.440	5.030	5.100	5.090	130.574	1.451
C	185.930	5.040	5.118	5.030	129.747	1.433
D	failure					
E	168.370	5.030	5.040	5.100	129.291	1.302
F	166.140	5.020	5.010	5.050	127.009	1.308
Average						1.400

ตารางที่ 4.3 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	10%					
Ø0.15-0.60mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	206.790	5.000	5.010	4.990	125.000	1.654
B	197.990	5.050	5.000	4.952	125.038	1.583
C	195.600	5.000	5.054	4.982	125.895	1.554
D	failure					
E	180.430	5.010	5.050	4.972	125.794	1.434
F	failure					
Average						1.556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

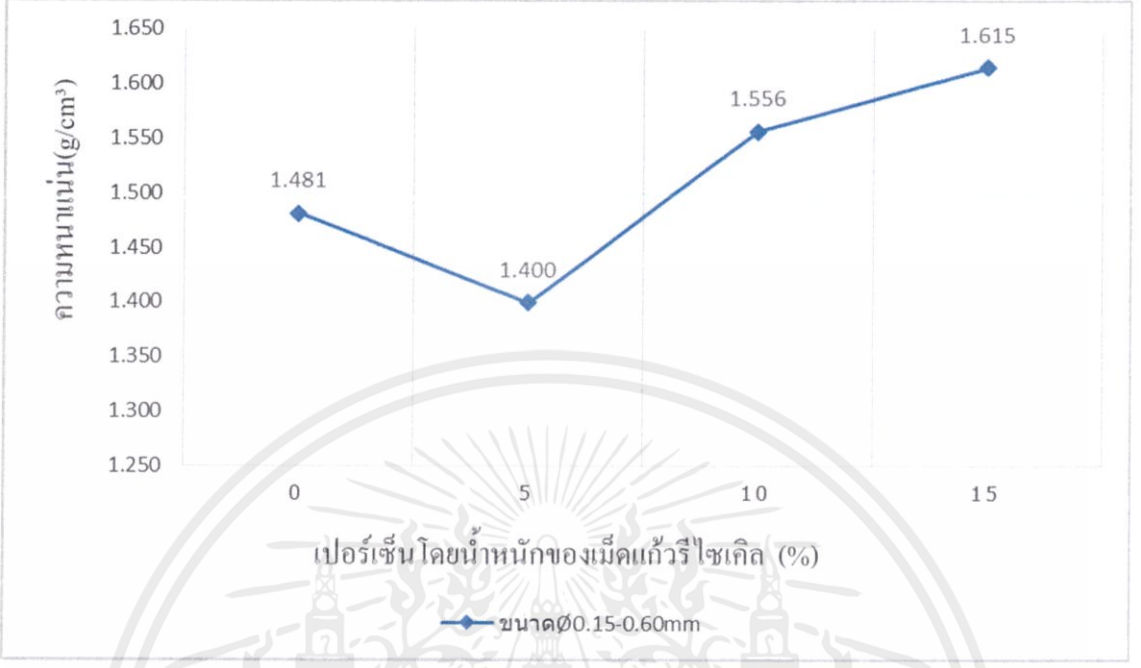
ตารางที่ 4.4 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	15%					
Ø0.15-0.60mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	failure					
B	202.390	5.020	5.082	4.912	125.313	1.615
C	209.480	5.000	5.090	4.920	125.214	1.673
D	191.080	5.070	5.000	4.900	124.215	1.538
E	211.530	5.140	5.030	5.010	129.530	1.633
F	failure					
Average						1.615

ผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาด Ø0.15-0.60 mm. กับหน่วยน้ำหนัก ได้ผลการทดลองว่าเปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.481 , 1.400 ,1.556 และ 1.615 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ นั้นคือน้ำหนักจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีต กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60mm. แสดงดังรูปที่ 4.1.1



รูปที่4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีต กับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60mm.

ตารางที่ 4.5 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	5%					
Ø0.60-1.18mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	failure					
B	185.400	4.960	5.020	5.020	124.994	1.483
C	205.070	4.942	5.012	5.010	124.094	1.653
D	failure					
E	157.490	5.010	5.010	4.810	120.731	1.304
F	171.370	5.000	5.014	4.982	124.899	1.372
Average						1.453

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	10%					
Ø0.60-1.18mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	194.600	5.090	4.990	4.890	124.202	1.567
B	186.920	4.920	5.060	4.940	122.982	1.520
C	failure					
D	failure					
E	182.740	5.050	5.000	4.880	123.220	1.483
F	170.580	5.060	5.070	4.895	125.577	1.358
Average						1.482

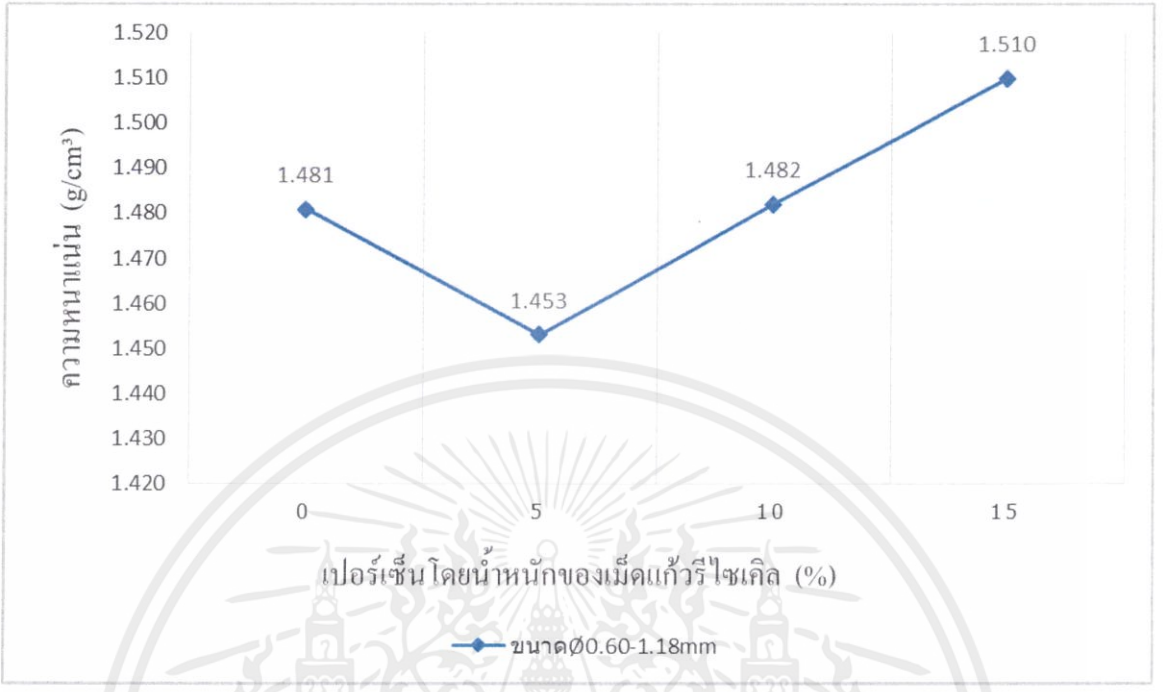
ตารางที่ 4.7 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	15%					
Ø0.60-1.18mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	failure					
B	failure					
C	177.940	5.010	5.030	4.942	124.540	1.429
D	196.970	5.000	5.040	5.000	126.000	1.563
E	187.930	5.000	5.000	4.982	124.550	1.509
F	190.150	5.010	5.030	4.904	123.582	1.539
Average						1.510

ผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60-1.18 mm. กับหน่วยน้ำหนัก ได้ผลการทดลองว่า เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.481 , 1.453 , 1.482 และ 1.510 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นั้น คือ น้ำหนักจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อนำเม็ดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.60-1.18 mm. ผสมคอนกรีตมวลเบามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีต กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18mm. แสดงดังรูปที่ 4.1.2



รูปที่4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีต กับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18mm.

ตารางที่ 4.8 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	5%					
Ø1.18-2.36mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	failure					
B	189.000	5.000	5.010	4.916	123.146	1.535
C	failure					
D	182.050	4.910	5.030	5.040	124.474	1.463
E	193.220	5.000	5.100	5.010	127.755	1.512
F	175.720	5.020	5.040	5.040	127.516	1.378
Average						1.472

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	10%					
Ø1.18-2.36 mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	206.360	5.170	5.020	5.020	130.286	1.584
B	204.710	5.110	5.020	5.100	130.826	1.565
C	197.240	5.100	5.020	5.000	128.010	1.541
D	184.770	5.050	5.020	5.000	126.755	1.458
E	177.710	5.070	5.010	5.120	130.052	1.366
F	186.840	5.030	5.040	4.940	125.235	1.492
Average						1.501

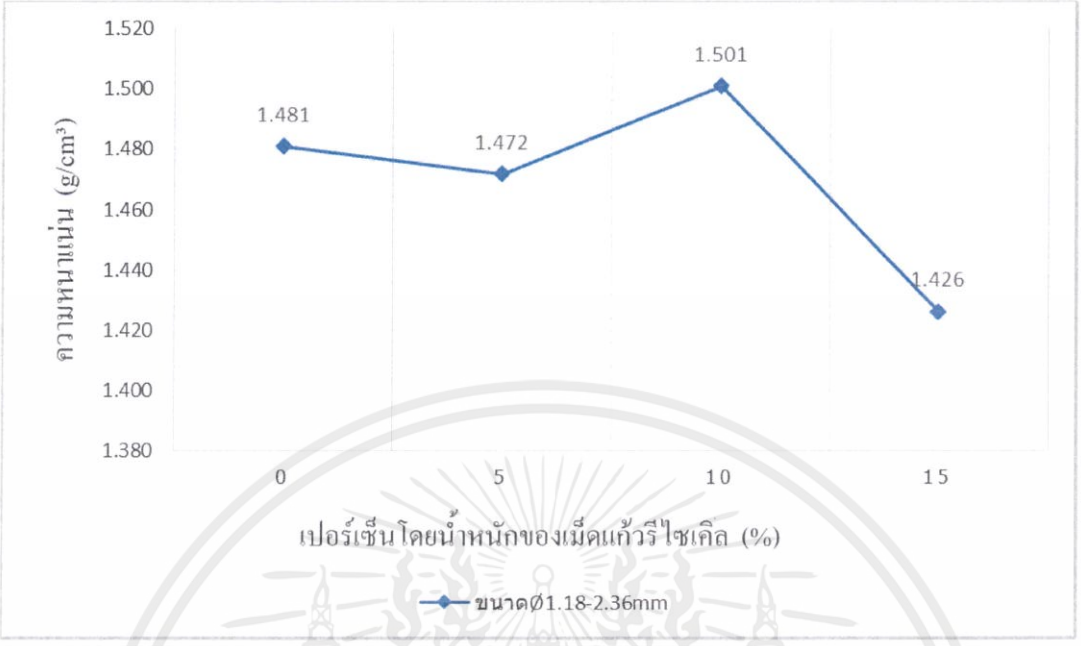
ตารางที่ 4.10 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	15%					
Ø1.18-2.36 mm.	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	182.180	5.120	5.010	5.000	128.256	1.420
B	171.970	5.090	5.010	4.980	126.994	1.354
C	failure					
D	failure					
E	194.410	5.130	5.010	5.030	129.278	1.504
F	failure					
Average						1.426

จากผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.18-2.36 mm. กับหน่วยน้ำหนัก ได้ผลการทดลองว่า เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.481 , 1.472 , 1.501 และ 1.426 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ นั้นคือ น้ำหนักจะลดลง เมื่อนำเม็ดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.18-2.36 mm. ผสมคอนกรีตมวลเบามากขึ้น

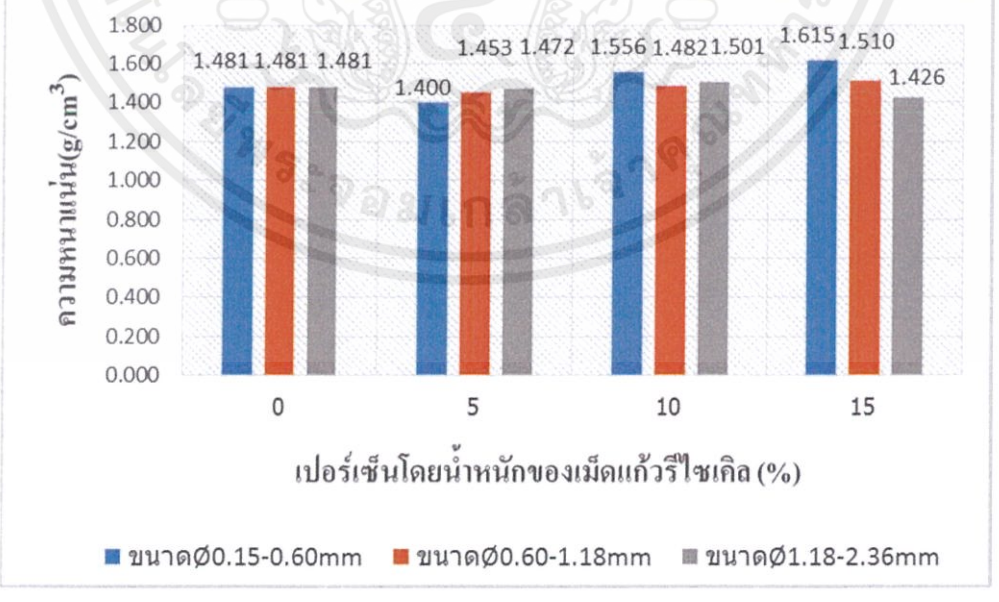
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีต กับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø1.18-2.36mm. แสดงดังรูปที่ 4.1.3



รูปที่4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีต กับปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø1.18-2.36mm.

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีต กับ ปริมาณแก้วที่ขนาดแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 4.1.4



รูปที่ 4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีต กับปริมาณแก้วที่ขนาดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.1.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดต่างๆ กับหน่วยน้ำหนัก โดยหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาขนาดที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลทั้ง3ขนาด จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเม็ดแก้วเพิ่มขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าค่าหน่วยน้ำหนักจะแปรผันตามปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ ขนาด Ø0.15-0.60 มม., ขนาด Ø0.60-1.18 มม. และขนาด Ø1.18-2.36 มม. เนื่องจากความหนาแน่นของเม็ดแก้วมีค่ามาก ทำให้มีค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่เม็ดแก้วขนาดใหญ่ผสมคอนกรีตมวลเบา ทำให้เม็ดแก้วนอนก้น ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาดใหญ่ ที่ปริมาณเม็ดแก้วร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ไม่ผสมกับเนื้อคอนกรีต ทำให้มีค่าหน่วยน้ำหนักลดลง

4.2 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตกรณีก่อนอบ

ตารางที่ 4.11 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล(ก่อนอบ)

Sample	0 % (ก่อนอบ)					
	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	20.760	2116.208	5.000	4.926	24.630	85.920
B	19.650	2003.058	5.118	5.014	25.662	78.056
C	18.010	1835.882	5.138	5.040	25.896	70.896
D	18.750	1911.315	5.010	5.000	25.050	76.300
F	18.930	1929.664	5.000	5.008	25.040	77.063
Average						77.647

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	5% (ก่อนอบ)					
Ø0.15-0.60mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	9.720	990.826	5.000	5.040	25.200	39.318
B	10.670	1087.666	5.030	5.100	25.653	42.399
C	17.110	1744.139	5.040	5.118	25.795	67.616
E	9.870	1006.116	5.030	5.040	25.351	39.687
F	13.870	1413.863	5.020	5.010	25.150	56.217
Average						49.048

ตารางที่ 4.13 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	10% (ก่อนอบ)					
Ø0.15-0.60mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	17.150	1748.216	5.000	5.010	25.050	69.789
B	22.080	2250.765	5.050	5.000	25.250	89.139
C	18.880	1924.567	5.000	5.054	25.270	76.160
E	16.100	1641.182	5.010	5.050	25.301	64.868
Average						74.989

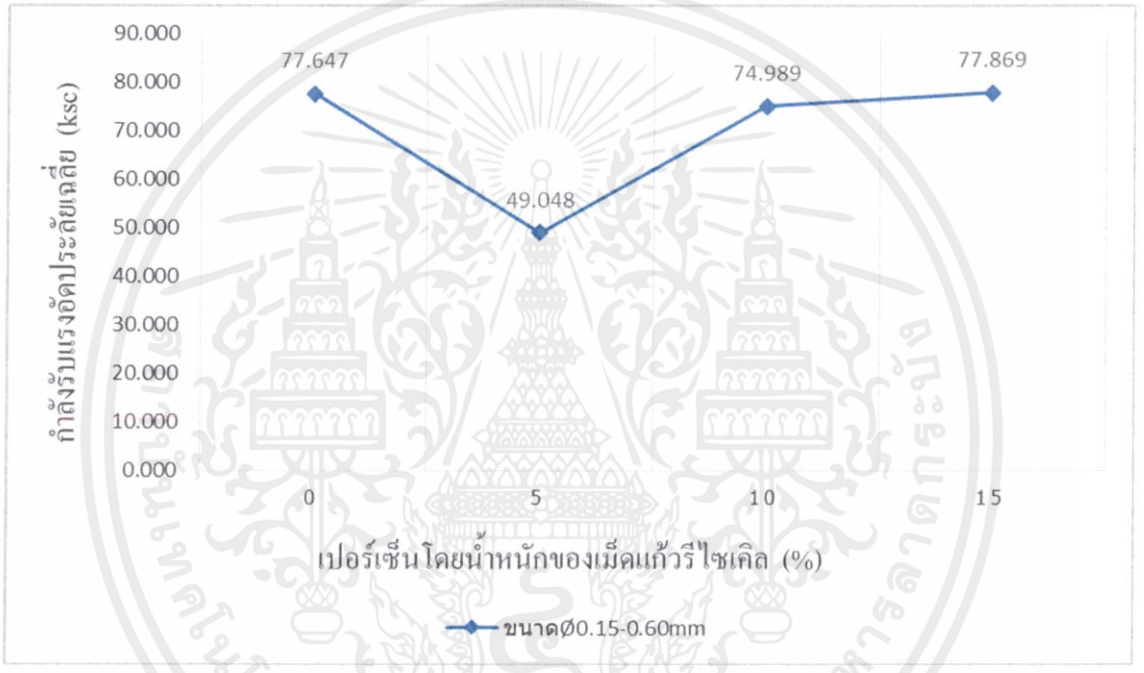
ตารางที่ 4.14 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	15 % (ก่อนอบ)					
Ø0.15-0.60mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
B	21.350	2176.351	5.020	5.082	25.512	85.308
C	21.440	2185.525	5.000	5.090	25.450	85.875
D	17.200	1753.313	5.070	5.000	25.350	69.164
E	18.040	1838.940	5.140	5.030	25.854	71.127
Average						77.869

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60mm. ได้ผลการทดลองว่า เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 77.647, 49.048, 74.989 และ 77.869 ksc. ตามลำดับ นั้นคือ กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60mm. ผสมคอนกรีตมวลเบามากขึ้น

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60mm. แสดงดังรูปที่ 4.2.1



รูปที่ 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.15-0.60mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	5% (ก่อนอบ)					
Ø0.60-1.18mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
B	10.240	1043.833	4.960	5.020	24.899	41.922
C	14.000	1427.115	4.942	5.012	24.769	57.616
E	10.720	1092.762	5.010	5.010	25.100	43.536
F	12.600	1284.404	5.000	5.014	25.070	51.233
Average						48.577

ตารางที่ 4.16 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	10% (ก่อนอบ)					
Ø0.60-1.18mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	21.030	2143.731	5.090	4.990	25.399	84.402
B	16.830	1715.596	4.920	5.060	24.895	68.913
E	15.640	1594.292	5.050	5.000	25.250	63.140
F	14.040	1431.193	5.060	5.070	25.654	55.788
Average						68.061

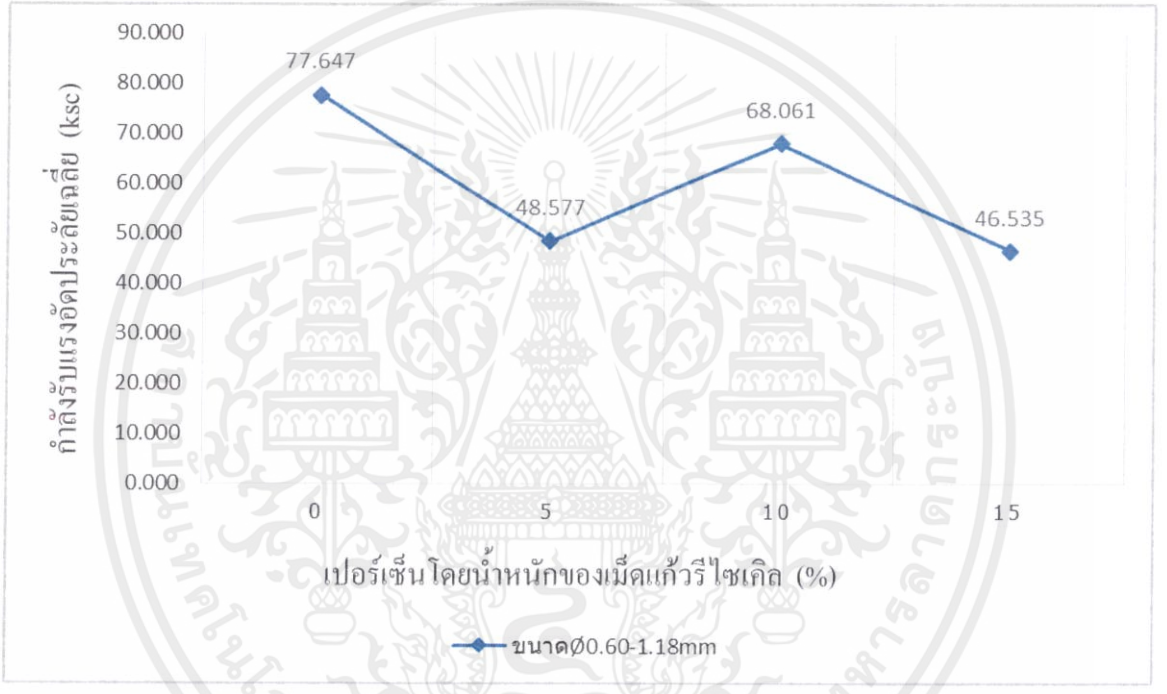
ตารางที่ 4.17 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	15% (ก่อนอบ)					
Ø0.60-1.18mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
C	9.500	968.400	5.010	5.030	25.200	38.428
D	11.460	1168.196	5.000	5.040	25.200	46.357
E	13.260	1351.682	5.000	5.000	25.000	54.067
F	11.690	1191.641	5.010	5.030	25.200	47.287
Average						46.535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18mm. ได้ผลการทดลองว่า เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 77.647, 48.577, 68.061 และ 46.535 ksc. ตามลำดับ นั้นคือ กำลังรับแรงอัดจะลดลง เมื่อนำเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18mm. ผสมคอนกรีตมวลเบามากขึ้น

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18mm. แสดงดังรูปที่ 4.2.2



รูปที่ 4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	5% (ก่อนอบ)					
Ø1.18-2.36mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
B	10.940	1115.189	5.000	5.010	25.050	44.519
D	7.510	765.545	4.910	5.030	24.697	30.997
E	8.260	841.998	5.000	5.100	25.500	33.020
F	11.980	1221.203	5.020	5.040	25.301	48.267
Average						39.201

ตารางที่ 4.19 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	10% (ก่อนอบ)					
Ø1.18-2.36 mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	22.190	2261.978	5.170	5.020	25.953	87.155
B	20.090	2047.910	5.110	5.020	25.652	79.834
C	22.120	2254.842	5.100	5.020	25.602	88.073
D	20.140	2053.007	5.050	5.020	25.351	80.983
E	19.660	2004.077	5.070	5.010	25.401	78.899
F	23.040	2348.624	5.030	5.040	25.351	92.643
Average						84.598

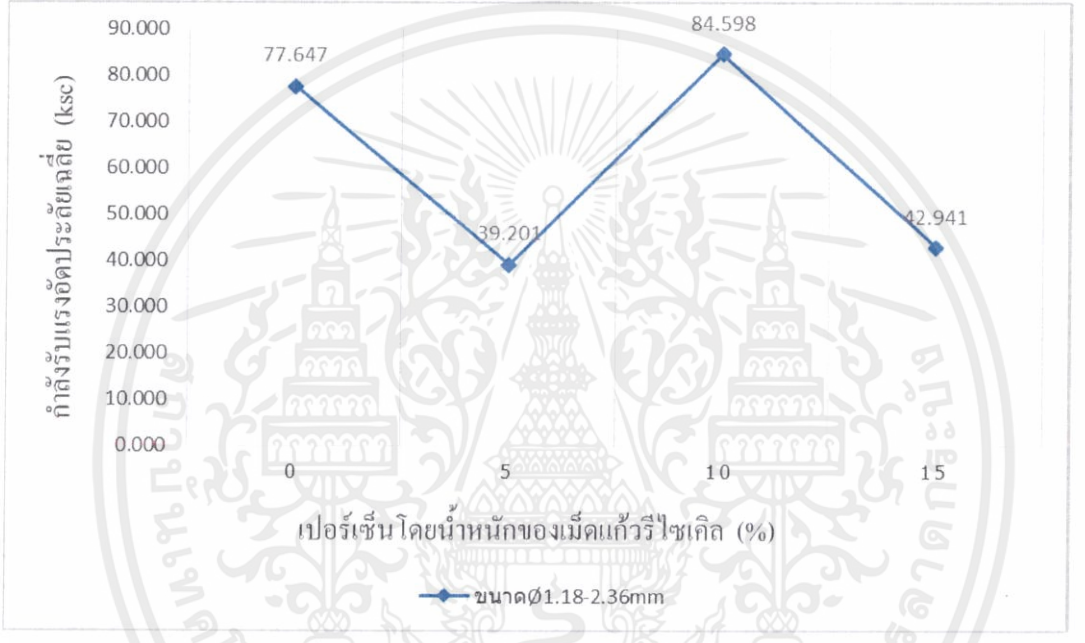
ตารางที่ 4.20 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36mm. ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 โดยน้ำหนัก

Recycled glass beads	15% (ก่อนอบ)					
Ø1.18-2.36 mm.	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	11.410	1163.099	5.120	5.010	25.651	45.343
B	8.640	880.734	5.090	5.010	25.501	34.537
E	12.340	1257.900	5.130	5.010	25.701	48.943
Average						42.941

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø1.18-2.36mm. ได้ผลการทดลองว่า เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 77.647, 39.201, 84.598 และ 42.941 ksc. ตามลำดับ นั้นคือ กำลังรับแรงอัดจะลดลง เมื่อนำเม็ดแก้วขนาด Ø1.18-2.36mm. ผสมคอนกรีตมวลเบามากขึ้น

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้วขนาด Ø1.18-2.36mm. แสดงดังรูปที่ 4.2.3

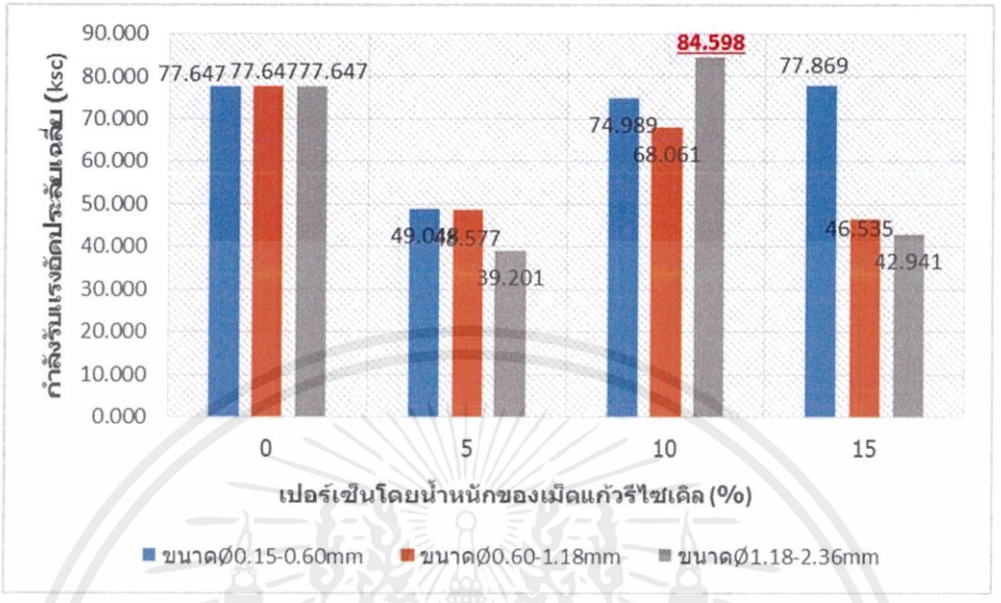


รูปที่ 4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณเม็ดแก้ว ที่มี Ø1.18-2.36mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณแก้วที่ขนาดแตกต่างกัน

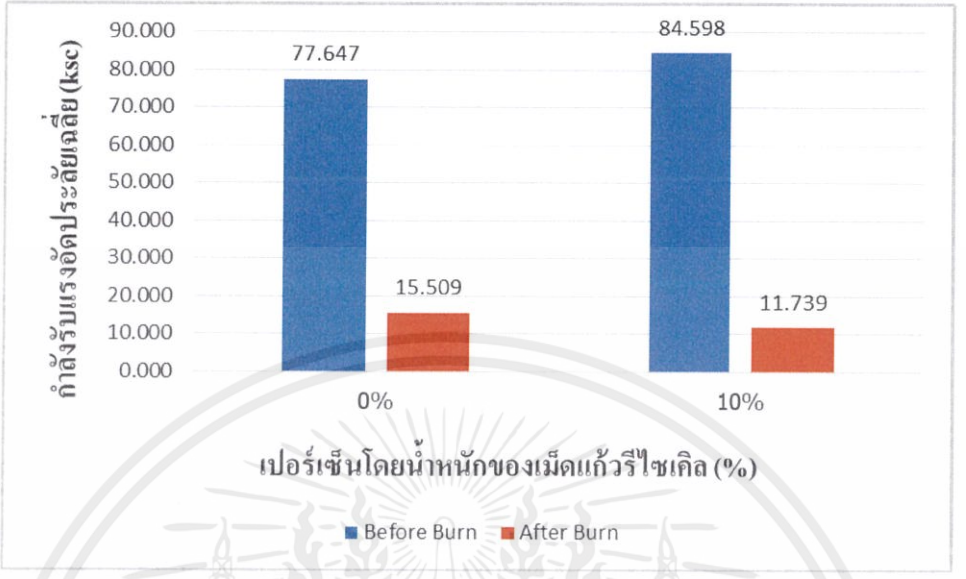


รูปที่ 4.2.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัย กับ ปริมาณแก้วที่ขนาดแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.2.4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยที่อายุ 14วัน เทียบกับร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลโดยน้ำหนักกรณีก่อนอบ โดยเปรียบเทียบว่าขนาดของเม็ดแก้วรีไซเคิลและร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลโดยน้ำหนัก พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดประลัยจะมีค่าแปรผันกับปริมาณเม็ดแก้วที่มากขึ้น เนื่องจากปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณเนื้อคอนกรีตมีน้อยลง ทำให้คอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุยึดเกาะมีปริมาณน้อยลง สามารถสังเกตจากเนื้อตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงวิบัติได้ว่า ไม่พบเม็ดแก้วรีไซเคิลแตกเสียหายหลังจากคอนกรีตถึงจุดวิบัติ และจะได้ว่าคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาด Ø1.18-2.36 ที่ปริมาณร้อยละเม็ดแก้ว10โดยน้ำหนักมีค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 84.598 ksc. จึงนำตัวอย่างดังกล่าวมาศึกษากรณีหลังอบที่อุณหภูมิ 1000 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลและคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้ว โดยเปรียบเทียบกรณีก่อนอบกับกรณีหลังอบ



รูปที่4.3.1 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดประลัยเฉลี่ยที่ของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล Ø1.18-2.36มม. ที่ปริมาณเม็ดแก้วร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้ว โดยเปรียบเทียบกรณีก่อนอบกับกรณีหลังอบ

รูปที่4.3.2 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นกำลังอัดประลัยเฉลี่ยที่ลดลงของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล Ø1.18-2.36มม. ที่ปริมาณเม็ดแก้วร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้ว โดยเปรียบเทียบกรณีก่อนอบกับกรณีหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การวิเคราะห์ร้อยละของการลดลงของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตกรณีหลังอบเทียบกับกรณีก่อนอบ

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.3.2 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาด Ø1.18-2.36มม. ที่ปริมาณเม็ดแก้วร้อยละ 0 และ10 โดยน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบกรณีก่อนอบกับกรณีหลังอบ มีเปอร์เซ็นการลดลงของกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 80.027 และ 86.124 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมมวลรวมหยาบสังเคราะห์ คือเม็ดแก้วรีไซเคิล ที่นำมาทดแทนส่วนผสมของหิน โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทราย 1:1 ร้อยละของน้ำยาผลิตโฟมสำหรับคอนกรีตมวลเบา 40 % อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.65 ขนาดของเม็ดแก้วØ0.15-0.60 มม.,Ø0.60-1.18 มม., Ø1.18-2.36 มม. และร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลโดยน้ำหนัก 0, 5, 10 และ 15 % สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดสอบอัตราการดูดซึม (Absorption) ของเม็ดแก้วรีไซเคิล

จากผลการทดลอง พบว่าอัตราการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาด Ø0.15-0.60 มม. , Ø0.60-1.18 มม. และ Ø1.18-2.36 มม.ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งจากการเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 28.88% , 16.17% และ 2.05% ตามลำดับซึ่งข้อมูลนี้มีประโยชน์ในการนำไปวิเคราะห์หาร้อยละของปริมาณน้ำที่จะผสมเผื่อในการผสมคอนกรีตมวลเบาหรือสามารถใช้เม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และยังสามารถใช้ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ถึงผลการทบจากอัตราการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่มีต่อน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา

5.1.2 การทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ขนาด Ø0.15-0.60 มม.ค่าหน่วยน้ำหนักจะแปรผันกับปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิล, ขนาด Ø0.60-1.18 มม.ค่าหน่วยน้ำหนักจะแปรผันกับปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิล และขนาด Ø1.18-2.36 มม.ค่าหน่วยน้ำหนักจะแปรผกผันกับปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิล กล่าวคือ คอนกรีตมวลเบาจะมีน้ำหนักน้อยที่สุด กรณี ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลขนาด Ø0.15-0.60 มม. ที่ปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลร้อยละ5 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด คือ กรณีผสมเม็ดแก้วขนาดใหญ่ที่ปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับน้ำหนักก่อนอบเท่ากับ 84.598 ksc. และมีค่ากำลังรับแรงอัดหลังจากการให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 11.739 ksc. คิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ –86.124 เทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล มีค่ากำลังรับแรงอัดกรณีก่อนอบเท่ากับ 77.647 และมีค่ากำลังรับแรงอัดหลังให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 15.509 ksc. คิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ –80.027 ดังนั้นการผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลไม่ทำให้ร้อยละที่ลดลงของกำลังรับแรงอัดน้อยลง

5.2 สรุปผลการดำเนินงานของโครงการ

- เดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม

เริ่มหาหัวข้อและจุดประสงค์ในการทำงานวิจัย รวมทั้งศึกษาหาข้อมูลงานวิจัย และบทความต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ที่สามารถนำมาประยุกต์กับงานวิจัยได้ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเม็ดแก้วรีไซเคิล เพื่อเป็นการอ้างอิงถึงคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ และ อัตราการดูดซึม พร้อมทั้งศึกษาวิธีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 1000 ^{o}C

- เดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคม

ดำเนินการทดลอง เริ่มจากการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง โดยมีส่วนประกอบหลักคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200, ทรายละเอียด ขนาดเดียวกันกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ข้างต้น, เม็ดแก้วรีไซเคิล, เครื่องมือผสมปูน, เครื่องมือผลิตฟองโฟมสำหรับคอนกรีตมวลเบา, เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด และเตาอบด้วยอุณหภูมิสูง และหลังจากอายุคอนกรีตครบ 14 วัน จึงทำการวัดขนาด ชั่งน้ำหนัก และทดสอบกำลังรับแรงอัดทั้งก่อนและหลังอบ แล้วจึงนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังที่กล่าวมาในข้างต้นจึงทำการสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ และสามารถนำโครงงานวิจัยไปประยุกต์หรือแตกแขนงการศึกษาเพื่อใช้ในการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมเทคโนโลยีการก่อสร้างสืบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม

ขั้นตอนการจัดทำรูปเล่มโครงงานวิจัย เพื่อรวบรวมข้อมูลตลอดงานวิจัยไว้เพื่อเผยแผ่ข้อมูลที่ถูกค้นพบเป็นแนวทางให้กับงานวิจัยที่จะถูกต่อยอดในอนาคต

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา

ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาและทดลอง พบปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานดังนี้

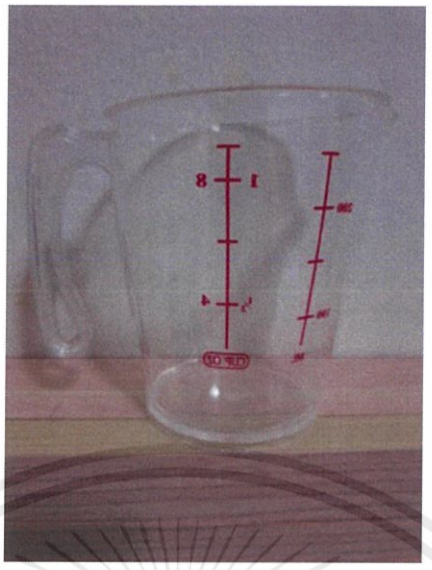
1. ขณะผสมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบากรณีเม็ดแก้วขนาด Ø0.60-1.18 มม.ที่เม็ดแก้วรีไซเคิล ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าลักษณะของคอนกรีตมวลเบาผสมลงในแบบไม่ทั่วถึง จึงต้องทำการหล่อตัวอย่างขึ้นใหม่

รูปที่ 5.1 คอนกรีตตัวอย่างที่เกิดปัญหาหล่อเขาแบบไม่ทั่วถึง

2. เนื่องจากเม็ดแก้วรีไซเคิลมีค่าหน่วยน้ำหนักมากรวมกับการที่มีลักษณะเรียบกลม จึงเกิดปัญหามวลรวมจมลงและกองรวมอยู่ที่ก้นของแบบ เมื่อทำการจี้เขย่ามากเกินไป
3. ขณะผสมตัวอย่างคอนกรีต ในขั้นตอนการผสมฟองโฟมสำหรับคอนกรีตมวลเบา พบว่า การตวงปริมาตรของฟองโฟมนั้นทำได้ยาก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาจึงบรรจุใส่ภาชนะตวงได้ยาก

   แก้ปัญหาโดยใช้ภาชนะตวงที่มีลักษณะปากกว้างก้นแคบแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ถ้วยตวงปริมาตร

4. เนื่องจากขั้นตอนในการผสมมอร์ต้ากับโฟมเข้าด้วยกัน อาจก่อให้เกิดปัญหา เช่น การตีโฟมนานเกินไปทำให้โฟมแตก ส่งผลให้ค่าหน่วยน้ำหนักอาจเกิดข้อผิดพลาดได้

   แก้ปัญหาโดยควบคุมระยะเวลาในการตีโฟมให้เหมาะสม

5.4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการผสมมอร์ต้ากับฟองโฟมสำหรับผสมคอนกรีตมวลเบา เพื่ออำนวยความสะดวกและลดระยะเวลาในการผสมคอนกรีต
2. งานวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาการผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลในคอนกรีคมวลเบาระบบ CLC จึงขอแนะนำให้เปลี่ยนไปเป็นศึกษาการผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลในอิฐมอญ และคอนกรีตบล็อคแทน
3. เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้เกิดข้อผิดพลาดจากการผสมโฟม จึงแนะนำให้ศึกษาเรื่องระยะเวลาในการผสมโฟมเข้ากับมอร์ต้าสำหรับคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎา สุทธิพันธ์. (2557) คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อ.โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม,ค้นเมื่อ 2 กันยายน 2560, จาก http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-11-2557-Concrete.pdf

ณัฐวุฒิ เต่งศิริธรรม, "การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดคะเนหาสัดส่วนที่เหมาะสม ,"(วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558)

บุรฉัตร กาซูยี, ปิยนันท์ สุโน, "การวัดค่าความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ณ ความหนาแน่นต่างๆ " (ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551)

ประเสริฐ ดำรงชัย, วัสดุก่อสร้าง, พิมพ์ครั้งที่ 1 (ขอนแก่น : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ,2542)

ยวดยง อัศวทิภาวงศ์, ยุทธนา ครองยุทรและ อรรถพล แก้วลัดดากร, "การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผสมเม็ดแก้ว รีไซเคิลในคอนกรีตมวลเบา," (ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554)

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

ศาสตร์ตราชัย เตี๊ยะตาช้าง, "การศึกษาอิทธิพลของเถ้าอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ" (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวัทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553)

ศิริวัฒน์ ไชยชนะ , ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 2 (กรุงเทพมหานคร : หจก. วี.เจ.พริ้นติ้ง จำกัด, 2542)

สุรเชษฎ์ อุปวรรณ์,สุรพงษ์ สุวรรณราช,อรรถพล หายทุกข์, "อิฐมวลเบาผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน," (ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุเมธ สันทัดวัฒนา “การทำนายคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC จากค่าความหนาแน่นของคอนกรีต” (ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554)

อุตตรากร วรวรรณ “แก้ว”วารสารวัสดุศาสตร์ (ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 : เมษายน 2525) บารมีการพิมพ์ : กรุงเทพฯ หน้า 11-24.

นายพุทธพร อรไทวรรณ , นายเศรษวัฒณ์ ช่วยศรีนวล และนายอิสรา สิริกุล “กรณีศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล” (ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดประลัย

กรณีก่อนอบและหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก. 1 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.487 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A	200.760	5.000	5.108	5.010	1.569	85.920	
B	191.410	5.118	5.040	4.970	1.493	78.056	
C	186.000	5.138	5.030	4.980	1.445	70.896	
D	177.890	5.010	5.130	4.950	1.398	76.300	
E							
F	188.920	5.000	5.040	5.000	1.499	77.063	
A	198.890	5.092	5.000	5.108	1.529		3.330
B	191.410	5.000	5.014	5.040	1.515		3.301
C							
D	178.890	5.020	4.980	5.130	1.395		3.599
E	186.000	5.032	4.960	5.030	1.482		3.396
F	188.920	5.000	5.008	4.970	1.518		3.294
เฉลี่ย					1.487	77.647	3.384

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.400 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A	189.450	5.000	5.040	5.000	1.504	39.318	
B	189.440	5.030	5.100	5.090	1.451	42.399	
C	185.930	5.040	5.118	5.030	1.433	67.616	
D							
E	168.370	5.030	5.040	5.100	1.302	39.687	
F	166.140	5.020	5.010	5.050	1.308	56.217	
เฉลี่ย					1.400	49.048	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.556 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A	206.790	5.000	5.010	4.990	1.654	69.789	
B	197.990	5.050	5.000	4.952	1.583	89.139	
C	195.600	5.000	5.054	4.982	1.554	76.160	
D							
E	180.430	5.010	5.050	4.972	1.434	64.868	
F							
เฉลี่ย					1.556	74.989	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.15-0.60 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.615 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A							
B	202.390	5.020	5.082	4.912	1.615	85.308	
C	209.480	5.000	5.090	4.920	1.673	85.875	
D	191.080	5.070	5.000	4.900	1.538	69.164	
E	211.530	5.140	5.030	5.010	1.633	71.127	
F							
เฉลี่ย					1.615	77.869	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.453 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A							
B	185.400	4.960	5.020	5.020	1.483	41.922	
C	205.070	4.942	5.012	5.010	1.653	57.616	
D							
E	157.490	5.010	5.010	4.810	1.304	43.536	
F	171.370	5.000	5.014	4.982	1.372	51.233	
เฉลี่ย					1.453	48.577	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.6 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.482 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A	194.600	5.090	4.990	4.890	1.567	84.402	
B	186.920	4.920	5.060	4.940	1.520	68.913	
C							
D							
E	182.740	5.050	5.000	4.880	1.483	63.140	
F	170.580	5.060	5.070	4.895	1.358	55.788	
เฉลี่ย					1.482	68.061	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø0.60-1.18 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.510 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A							
B							
C	177.940	5.010	5.030	4.942	1.429	38.428	
D	196.970	5.000	5.040	5.000	1.563	46.357	
E	187.930	5.000	5.000	4.982	1.509	54.067	
F	190.150	5.010	5.030	4.904	1.539	47.287	
เฉลี่ย					1.510	46.535	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.472 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A							
B	189.000	5.000	5.010	4.916	1.535	44.519	
C							
D	182.050	4.910	5.030	5.040	1.463	30.997	
E	193.220	5.000	5.100	5.010	1.512	33.020	
F	175.720	5.020	5.040	5.040	1.378	48.267	
เฉลี่ย					1.472	39.201	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.9 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.370 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A	206.360	5.170	5.020	5.020	1.584	87.155	
B	204.710	5.110	5.020	5.100	1.565	79.834	
C	197.240	5.100	5.020	5.000	1.541	88.073	
D	184.770	5.050	5.020	5.000	1.458	80.983	
E	177.710	5.070	5.010	5.120	1.366	78.899	
F	186.840	5.030	5.040	4.940	1.492	92.643	
A	155.200	5.030	4.960	4.990	1.247		11.113
B	154.630	5.000	4.930	5.050	1.242		11.951
C	155.410	5.010	4.980	5.030	1.238		11.726
D	153.400	4.990	5.020	4.910	1.247		12.045
E	153.110	4.990	5.000	4.980	1.232		11.481
F	154.560	4.990	4.990	5.040	1.232		12.118
เฉลี่ย					1.370	84.598	11.739

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.10 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ขนาด Ø1.18-2.36 มม.

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.426 g/cm^3

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	สูง (cm.)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (ksc.)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc.)
A	182.180	5.120	5.010	5.000	1.420	45.343	
B	171.970	5.090	5.010	4.980	1.354	34.537	
C							
D							
E	194.410	5.130	5.010	5.030	1.504	48.943	
F							
เฉลี่ย					1.426	42.941	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย ศุภชัย สูงยิ่ง

วัน เดือน ปีเกิด 7 สิงหาคม พ.ศ. 2540

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 32/5 หมู่10 ตำบล บ่อนอก อำเภอ เมืองประจวบคีรีขันธ์ จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ 77210

โทร 092-6173699

ประวัติการศึกษา พ.ศ.2557 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมปลาย ที่โรงเรียนประจวบวิทยาลัย อำเภอ เมืองประจวบคีรีขันธ์ จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์

ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

Email Jamesup58@hotmail.com

ชื่อ-นามสกุล นาย สิรวิชญ์ จันทร์สนธิ

วัน เดือน ปีเกิด 9 มกราคม พ.ศ. 2540

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 98-100 ถนน นาสร้างนาขุม ตำบล นครปฐม อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัด นครปฐม 73000

โทร 081-3027220

ประวัติการศึกษา พ.ศ.2557 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมปลาย ที่โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัด นครปฐม

ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

Email sirawitchansonthi@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน(ต่อ)

ชื่อ-นามสกุล นาย อภิมุข สุขจิตต์

วัน เดือน ปีเกิด 3 เมษายน พ.ศ. 2540

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 532-4 ถนน ราชดำเนิน ตำบล ในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัด นครราชสีมา 30000

โทร 091-8284589

ประวัติการศึกษา พ.ศ.2557 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมปลาย ที่โรงเรียน ราชสีมาวิทยาลัย อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัด นครราชสีมา

ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

Email paco.aps@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้