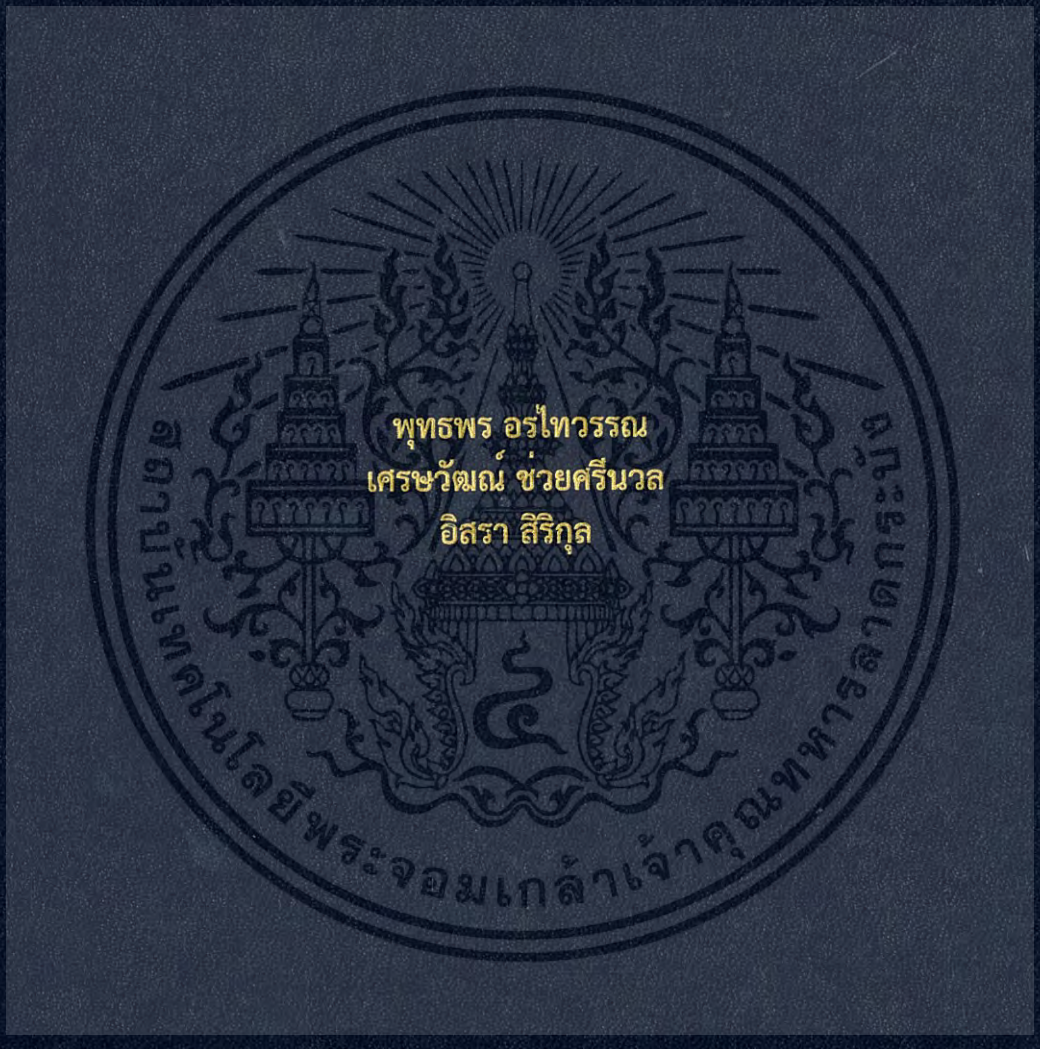
ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตมวลเบาผสมแก้วรีไซเคิลหลังจากเกิดเพลิงไหม้
STUDY ON PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE MIXING WITH RYCYCLED GLASS POWDER AFTER CONFLAGRATION



พุทธพร อรไทวรรณ
เศรษวัฒณ์ ช่วยศรีนวล
อิสรา สิริกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตมวลเบาผสมแก้วรีไซเคิลหลังจากเกิดเพลิงไหม้

STUDY ON PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE MIXING WITH RYCYCLED GLASS POWDER AFTER CONFLAGRATION

พุทธพร อรไทวรรณ

เศรษวัฒณ์ ช่วยศรีนวล

อิสรา สิริกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE MIXING WITH RYCYCLED GLASS POWDER AFTER CONFLAGRATION

PHUTTHAPORN ORATHAIWAN

SETSAWAT CHUAISRINUAL

ISSARA SIRIKUL

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 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตมวลเบาผสมแก้วรีไซเคิลหลังจากเกิดเพลิงไหม้

STUDY ON PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE MIXING WITH RYCYCLED GLASS POWDER AFTER CONFLAGRATION

นักศึกษา นายพุทธพร อรไทวรรณ รหัสนักศึกษา 57010931

นายเศรษวัฒณ์ ช่วยศรีนวล รหัสนักศึกษา 57011287

นายอิสรา สิริกุล รหัสนักศึกษา 57011548

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	
ผศ.ดร.ชลิดา	อู่ตะเภา	
ดร.ชดชนก	อัฑฒพงศ์	
รศ.สุพจน์	ศรีนิล	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 4/6/61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตคอนกรีตมวลเบาผสมผงแก้วรีไซเคิลหลังจากเกิดเพลิงไหม้

นายพุทธพร อรไทวรรณ รหัสนักศึกษา 57010931
นายเศรษวัฒณ์ ช่วยศรีนวล รหัสนักศึกษา 57011287
นายอิสรา สิริกุล รหัสนักศึกษา 57011548
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

สำหรับอาคารที่เกิดเพลิงไหม้และต้องการการอพยพผู้คนออกจากอาคารนั้น ความแข็งแรงของโครงสร้างมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะ อาคารที่เป็นสถานรับเลี้ยงเด็ก, ศูนย์ดูแลผู้ป่วยและผู้สูงอายุ ที่มีความล่าช้าในการอพยพมากกว่าบุคคลทั่วไป โดยงานวิจัยนี้ ได้นำวัสดุมวลรวมสังเคราะห์ นั้นคือ เม็ดแก้วรีไซเคิลซึ่งมีซิลิกาเป็นส่วนผสมหลักโดยซิลิกามีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 1,700 องศาเซลเซียส โดยงานวิจัยนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและมุ่งเน้นการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ที่ใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศร้อยละ 40 โดยปริมาตรทั้งหมด และ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดเท่ากับ 1 ต่อ 1 ซึ่งทดลองใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 ,0.4 และ 0.5 และแต่ละอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ใช้ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลต่อน้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 0 ,5 ,10 และ 15 แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัดและเปรียบเทียบตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบกับตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เพื่อหาส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพนั้นคือตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดทั้งกรณีก่อนอบและหลังอบมากที่สุด โดยจากผลการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยทั้งกรณีก่อนอบและหลังอบของตัวอย่างที่ w/c 0.4 ที่ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลเท่ากับ 5 เท่ากับ 414.44 และ 139.77 ksc. ตามลำดับ ตัวอย่างที่ w/c 0.5 ที่ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลเท่ากับ 5 เท่ากับ 290.66 และ 104.85 ksc. ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยทั้งก่อนและหลังอบมากที่สุดคือ ตัวอย่างที่ w/c 0.3 ที่ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลเท่ากับ 10 เท่ากับ 636.06 และ 157.49 ksc. ตามลำดับ

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบา, กำลังรับแรงอัด, เม็ดแก้วรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The study property of lightweight concrete mixture of recycled glass powder after conflagration

Mr. Phutthaporn Orathaiwan Student ID. 57010026
Mr. Setsawat Chuysrinoun Student ID. 57010146
Mr. Issara Sirikul Student ID. 57010209
Advisor: Assoc.Prof.Dr.Laemthong Laokhongthavorn
Academic Year 2017

ABSTRACT

For burned building, people need to evacuate from collapsing building to save them life. Structural strength is the most important factor for this situation. Especcially, people in nursery and hospital building who are slower mobility for evacuation than normal person. So this research uses synthetic aggregate, recycled glass bead, whose main composition is silica. Silica has melting point around 1,700 degree celsius. This research aims to study and to focus on development lightweight concrete CLC system which comprises of foaming agent 40 percent by volume and cement and sand ratio is 1 by 1. The experiment used water and cement ratio at 0.3, 0.4 and 0.5 by weight. For each water and cement ratio, it composed of percentage of recycled glass bead at 0, 5, 10 and 15 percent by weight. All samples were tested compressive strength, then were compared between results of normal samples and burnt samples with 1,200 degree celsius. After that, effective ingredients which has the most average compressive strength were indicated for both normal and burnt samples. The results showed that average compressive strength for normal and burnt samples at w/c 0.4, 5 percent recycled glass bead are 414.44 and 139.77 ksc. respectively, at w/c 0.5, 5 percent recycled glass bead are 290.66 and 104.85 ksc. Respectively. And w/c 0.3, 10 percent recycled glass bead has the most average compressive strength for both cases are 636.06 and 157.49 ksc. respectively.

Keywords: lightweight-concrete, compressive strength, recycled glass powder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงงาน รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

ขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่ได้กรุณาให้ข้อมูลโดยการตอบแบบสอบถามตามความเป็นจริงและครบถ้วน

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

พุทธพร อรไทวรรณ
เศรษฐวัฒณ์ ช่วยศรีนวล
อิสรา สิริกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป..... XI

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย..... 2

1.4 วิธีการศึกษา..... 3

1.5 ผลที่ (คาดว่าจะ) ได้รับ..... 4

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์..... 5

2.1 บทนำ..... 5

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 8

2.2.1 นิยามของคอนกรีต..... 8

2.2.2 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา..... 9

2.2.3 โฟมคอนกรีต..... 10

2.2.4 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด..... 10

2.2.5 ความหมายของแก้ว..... 11

2.3 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 14

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง..... 17

3.1.1 กำหนดส่วนประกอบที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของตัวอย่าง..... 17

3.1.2 กำหนดขนาดและจำนวนของตัวอย่าง..... 18

3.2 ขั้นตอนเตรียมการผลิต..... 18

3.3 ขั้นตอนการผลิต..... 20

3.3.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง..... 20

3.3.2 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเม็ดแก้วรีไซเคิลสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง..... 24

3.3.3 ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตมวลเบา..... 27

3.4 การเตรียมชิ้นส่วนตัวอย่างสำหรับการทดสอบ..... 30

3.4.1 กำลังรับแรงอัด..... 32

3.4.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผาสำหรับการทดสอบ.. 33

บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล..... 34

4.1 ความสัมพันธ์ของค่าหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตมวลบาที่ไม่ผสมแก้วรีไซเคิลที่ปริมาณต่างๆ..... 34

4.1.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์,ปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา..... 34

4.2 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยที่อายุ 14 วันของตัวอย่างคอนกรีตก่อนอบและหลังอบ..... 44

4.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาผสมผงแก้วรีไซเคิล..... 54

4.3 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยที่อายุ 14 วันของตัวอย่างคอนกรีตกรณีก่อนอบและหลังอบ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และปริมาณผงแก้วรีไซเคิลเดียวกัน..... 55

4.3.1 การวิเคราะห์ร้อยละของการบลดลงของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตกรณีหลังอบเปรียบเทียบกับก่อนอบ..... 57

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.1.1 การทดสอบอัตราการดูดซึมของผงแก้วรีไซเคิล	58
5.1.2 การทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา	58
5.1.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต	58
5.2 สรุปผลการดำเนินงานของโครงการ	59
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา	60
5.4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดกรณีก่อนอบและหลังอบ	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	การคำนวนค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทรายละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	24
3.2	การคำนวนความถ่วงจำเพาะของผงแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	26
3.3	การคำนวณร้อยละการดูดซึมของผงแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	26
3.4	อัตราส่วนผสมของตัวอย่าง	30
4.1	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0%	34
4.2	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5%	35
4.3	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10%	35
4.4	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15%	36
4.5	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0%	37
4.6	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5%	37
4.7	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10%	38
4.8	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15%	38
4.9	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0%	40
4.10	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5%	40
4.11	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10%	41
4.12	คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15%	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 0 %	44
4.14	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 5 %	44
4.15	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 10 %	44
4.16	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 15 %	44
4.17	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 0 %	45
4.18	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 5 %	45
4.19	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 10 %	46
4.20	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 15 %	46
4.21	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 0 %	47
4.22	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 5 %	47
4.23	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 10 %	47
4.24	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้ว รีไซเคิล 15 %	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.25	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %	49
4.26	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %	49
4.27	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %	49
4.28	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %	49
4.29	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %	50
4.30	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %	50
4.31	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %	51
4.32	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %	51
4.33	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %	52
4.34	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %	52
4.35	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %	52
4.36	กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %	52
ก.1	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.3 แก้ว 0%	65
ก.2	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.3 แก้ว 5%	66
ก.3	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.3 แก้ว 10%	67
ก.4	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.3 แก้ว 15%	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.5	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.4 แก้ว 0%	69
ก.6	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.4 แก้ว 5%	70
ก.7	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.4 แก้ว 10%	71
ก.8	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.4 แก้ว 15%	72
ก.9	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.5 แก้ว 0%	73
ก.10	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.5 แก้ว 5%	74
ก.11	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.5 แก้ว 10%	75
ก.12	ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c=0.5 แก้ว 15%	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ผงแก้วรีไซเคิล	11
2.2	โครงสร้างของสิลิกอนไดออกไซค์ที่ไม่แน่นอน	12
3.1	ขวดหาแก้ววัดปริมาตร. Volumetric Flask ขนาด 500 ml	20
3.2	กรวยหล่อโลหะหัวตัดและเหล็กกระทุ้ง	21
3.3	เตาอบ	21
3.4	กรวยโลหะและทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่มีลักษณะคล้ายพีระมิด	22
3.5	ชั่งน้ำนัก Volumetric Flask ให้ถึง 500 ml	23
3.6	เม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	25
3.7	ปั๊มลมและเครื่องผลิตโฟม	27
3.8	ขั้นตอนผลิตฟองโฟม	28
3.9	การใส่มอร์ต้าลงในแบบหล่อ	29
3.10	Vernier caliper	31
3.11	เครื่อง Universal Testing Machine	31
3.12	เครื่องอบ TF ที่ใช้อบตัวอย่าง	33
3.13	ตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้ว	33
4.1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3	36
4.1.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4	39
4.1.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5	42
4.1.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	33
4.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีก่อนอบที่ w/c 0.3	45
4.2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีก่อนอบที่ w/c 0.4	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีก่อนอบที่ w/c 0.5	48
4.2.4	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีก่อนอบ ที่ w/c ต่างๆ	48
4.2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีหลังอบที่ w/c 0.3	50
4.2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีหลังอบที่ w/c 0.4	51
4.2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีหลังอบที่ w/c 0.5	53
4.2.8	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีหลังอบ ที่ w/c ต่างๆ	53
4.3.1	ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.3	55
4.3.2	ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.4	55
4.3.3	ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.5	56
4.3.4	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c ต่างๆ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

กล่าวนำ

คอนกรีตมวลเบาถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะเนื่องจากเป็นวัสดุทางเลือกแบบใหม่ที่มีน้ำหนักเบา มีความเป็นฉนวนความร้อนมากกว่าอิฐธรรมดา(อิฐมอญ)และคุณสมบัติอื่นๆที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาทางด้านคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยการใช้วัสดุมวลรวมแบบใหม่ผสมเข้าไปในคอนกรีตเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้กับคอนกรีตมวลเบาสำหรับเป็นทางเลือกใหม่ให้กับกลุ่มวิศวกรได้ที่นำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกที่ตรงตามความต้องการมากขึ้น

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยในปัจจุบันมีการพัฒนานวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในยุคที่เศรษฐกิจไทยกำลังพัฒนานั้น เรื่องการประหยัดค่าใช้จ่ายมีความสำคัญมากต่อวงการวิศวกรไทยคอนกรีตมวลเบาจึงถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว เนื่องจากคอนกรีตนั้นมีน้ำหนักเบาช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่ง ทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนมากกว่าอิฐชนิดอื่นช่วยประหยัดพลังงานภายในตัวอาคาร คอนกรีตมวลเบาทั่วมีคุณสมบัติทนความร้อนได้ประมาณ 2-4 ชั่วโมงก่อนเกิดการไหม้ การนำคอนกรีตมวลเบาผสมกับมวลรวมอาจเพิ่มประสิทธิภาพในการทนความร้อนได้ แก้วมีคุณสมบัติการทนความร้อนที่สูงมากและยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก ซึ่งแก้วที่นำมาใช้งานเป็นเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ผ่านการหลอมและเปลี่ยนความดันแล้ว เพื่อเป็นการส่งเสริมการนำแก้วกลับมาใช้ใหม่และเพื่อลดต้นทุนการผลิตอิฐมวลเบาด้วย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแก้วรีไซเคิลเมื่อเกิดเพลิงไหม้ ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมแก้วรีไซเคิลทั้งก่อนและหลังได้รับความร้อนโดยทำการศึกษาถึงข้อดีและข้อเสียในการผสมแก้วรีไซเคิลจากตัวอย่างที่ยังไม่ได้รับความร้อนและศึกษาค่าความทนความร้อนของคอนกรีตจากตัวอย่างที่ได้รับความร้อนแล้ว ทั้งนี้เพื่อพัฒนาความสามารถการทนความร้อนของคอนกรีตมวลเบาให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.เพื่อหาส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพต่อคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ดีที่สุดของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3, 0.4 และ 0.5

2.เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ออกแบบ ได้แก่ หน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดข ทั้งที่ผสมและไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติคอนกรีตระหว่างก่อนอบและหลังอบ ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมเดียวกัน

3.เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถของกำลังอัดประลัยระหว่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วและไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ทั้งกรณีก่อนเผาและหลังเผา

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและทดสอบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาโดยวิธี Cellular Lightweight Concrete (CLC) ในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย 4 ปัจจัย และ 2 รูปแบบ คือตัวอย่างธรรมดาและตัวอย่างที่ผ่านความร้อนโดยอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาอยู่ที่ 1200 – 1300 องศาเซลเซียส ทั้งหมด 24 การทดลอง การทดลองละ 6 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 144 ตัวอย่างโดยใช้แบบหล่อสำหรับตัวอย่างชิ้นงานขนาด 5*5*5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปัจจัยที่ใช้มีดังนี้

- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 3 ระดับ ได้แก่ 0.3, 0.4 และ 0.5
- เม็ดแก้วรีไซเคิล เป็นมวลรวมหยาบ (ผ่านตะแกรงเบอร์ 12 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 16) มี 4 ระดับได้แก่ 0%, 5%, 10% และ 15% โดยน้ำหนักของคอนกรีต
- อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1 โดยน้ำหนัก (ผ่านตระแกรงเบอร์ 100)
- น้ำยาผลิตโฟมสำหรับอิฐมวลเบา ยี่ห้อ Fo-mix ที่อัตราส่วนต่อปริมาตรเท่ากับร้อยละ 40

2) คุณสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่

- กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) อายุการบ่ม 14 วัน

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

- อัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการศึกษา

1.ขั้นตอนการศึกษารวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบา คุณสมบัติของแก้ว การออกแบบการทดลอง ส่วนผสมและการให้ความร้อนกับตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

2.ขั้นตอนการคำนวณส่วนผสมด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำหนักของเม็ดแก้วต่อน้ำหนักของคอนกรีต โดย แบ่งเป็นร้อยละ 5 10 และ 15

3.ขั้นตอนการเลือกและทดสอบหาคุณสมบัติของเม็ดแก้วรีไซเคิล โดยทำการสุ่มจากทั้งหมด

- ความหนาแน่น
- อัตราการดูดซึมน้ำ

4.ขั้นตอนการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมและไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล , กรณี ก่อนอบ และ หลังอบ

- ทดสอบความหนาแน่น
- ทดสอบกำลังรับแรงอัด

5.ขั้นตอนการอบตัวอย่าง - หลังจากหล่อตัวอย่างเสร็จ ตัวอย่างสำหรับทดสอบหลังจากผ่านการอบ มีขั้นตอนการให้ความร้อนดังนี้

(1) การวางตัวอย่างในเตาอบ ไม่วางตัวอย่างซ้อนทับกันกับตัวอย่างอื่น และไม่ใส่ตัวอย่างมากเกินไป จนมีชิ้นงานชิดกับขอบของตู้อบมากเกินไป เพราะจะทำให้มีด้านใดด้านหนึ่งได้รับความร้อนจากเตาอบไม่สม่ำเสมอ

(2) ป้อนค่าอุณหภูมิที่อัตรา 5 องศาต่อนาที จากอุณหภูมิห้องถึง 1200 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นในตัวอย่าง

(3) คงที่อุณหภูมิไว้ที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(4) ลดค่าอุณหภูมิจาก 1200 องศาเซลเซียส ลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ที่อัตรา 5 องศาต่อนาที ภายในเวลา 4 ชั่วโมง

(5) หลังจากการอบ ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นตัวภายในเตาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

6.วิเคราะห์และคำนวณหาส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้ส่วนผสมที่ดีที่สุดสำหรับคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

2.คอนกรีตมวลเบาที่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล มีกำลังมากขึ้นเทียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

3.สามารถลดค่าใช้จ่ายทางตรง และทางอ้อมจากการใช้วัสดุเหลือใช้อย่างเม็ดแก้วรีไซเคิล

4.เป็นแนวทางให้งานวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

การนำวัสดุมวลรวมมาใช้นั้นควรเลือกวัสดุหลักที่มีความสามารถในการผสมที่ดี เมื่อนำเม็ดแก้วรีไซเคิลมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมเพื่อเพิ่มความสามารถในการทนไฟ คอนกรีตมวลเบาจึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการนำเม็ดแก้วมาผสม เนื่องด้วยกรรมวิธีการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ทำให้สามารถทดลองและปรับเปลี่ยนสูตรได้ง่าย

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

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 ได้ทำการพัฒนาโดยรวมวิธีการอบไอน้ำละเพิ่มฟองอากาศเข้าด้วยกันในเนื้อวัสดุ ซึ่งเป็นผลทำให้ได้วัสดุก่อผนังที่มีความเบาและมีความแข็งแกร่งสูง ซึ่งดีกว่าอิฐก่อผนังชนิดอื่นในโลกการผลิตคอนกรีตมวลเบาได้ถือกำนิดเกิดขึ้นและมีการพัฒนามาจนถึง ปี 1929 (พ.ศ.2472) ในปีค.ศ.1929 (พ.ศ. 2472) ประเทศเยอรมัน ช่วงสงครามโลกได้นำการพัฒนากระบวนการผลิตในรูปของเครื่องจักร ควบคุมด้วยระบบ คอมพิวเตอร์ เพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับซ่อมแซมบ้านเรือน อาคารสำนักงาน ในปี ค.ศ. 1995 (พ.ศ. 2538) ประเทศไทย ประเทศไทยมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะ ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ ที่เป็นธุรกิจที่ทำให้กับนักลงทุนเป็นอย่างมาก แต่ทว่างานก่อสร้างในเมืองไทยยังมีปัญหาด้านอิฐก่อผนังที่ยังไม่มีวิธีการผลิตที่ควบคุมมาตรฐานที่ดี ซึ่งผู้ประกอบการ

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 จึงไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ผลิตได้ทุกฤดูกาล (นายสุรเชษฐ์ อุปวรรณ์ และคณะ, 2556)

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 ขนาดก้อนได้มาตราฐานเท่ากันทุกก้อน ทน ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ใช้งานได้เกือบ 100% ไม่มีเศษเป็นอิฐหัก และที่สำคัญคือรวดเร็ว สะอาด ลดระยะเวลาในการก่อสร้าง และลดต้นทุนโครงสร้าง (กฤษฎา สุทธิพันธ์, 2557)

อิฐมวลเบามีคุณสมบัติที่โดดเด่น ดังนี้

1.คุณสมบัติทางกายภาพ อิฐมวลเบา หนา 10 เซนติเมตร เมื่อรวมน้ำหนักวัสดุรวมปูนฉาบจะหนัก 120 กิโลกรัม ในขณะที่อิฐมอญก่อ 2 ชั้น(เว้นช่องว่างตรงกลาง)จะหนัก 180 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักของการก่ออิฐมอญจะมากกว่าทำให้ต้องเตรียมโครงสร้างเผื่อกันรับน้ำหนักในส่วนนี้ด้วย ทำให้ต้นทุนโครงสร้างเพิ่มขึ้น

2.การกันความร้อน หากเป็นกรณีปกติ “อิฐมวลเบา”จะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าอิฐมอญประมาณ 8-11 เท่า แต่การก่อผนังภายนอกอิฐจะต้องมีความหนา 10 เซนติเมตร และผนังภายในหนา 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนติเมตรขึ้นไปจึงจะสามารถกันความร้อนได้ดี แต่ในกรณีใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้น ตัวช่องว่างตรงกลาง จะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี และอิฐแถวด้านในไม่สัมผัสความร้อนโดยตรง จึงทำให้คุณสมบัติตรงนี้ของอิฐมอญจะมีความสามารถในการกันความร้อนที่ดีกว่า แต่การเว้นช่องว่างไม่ควรต่ำกว่า 5 เซนติเมตร

3.การกันเสียง ปกติอิฐมวลเบาจะกันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญประมาณ 20% แต่ในกรณีใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้นช่องว่างตรงกลางจะทำหน้าที่เป็นฉนวนได้ดีกว่าเกือบ 2 เท่า แต่อิฐมวลเบาจะลดการสะท้อนของเสียงได้ดีกว่าเนื่องจากโครงสร้างของอิฐมวลเบามีฟองอากาศเป็นจำนวนมากอยู่ภายในทำให้ดูดซับเสียงได้ดี จึงเหมาะสำหรับห้องหรืออาคารที่ต้องการความเงียบ เช่นโรงภาพยนตร์หรือห้องประชุม

4.การกันไฟ อิฐมอญก่อ 2 ชั้นมีฉนวนตรงกลางจะกันไฟได้ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาเล็กน้อยและทนไฟที่ 1,100 องศาเซลเซียส ได้นานกว่า 4 ชั่วโมงซึ่งนานกว่าอิฐมอญ 2-4 เท่าทำให้ช่วยจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้

5.ความแข็งแรง การใช้งานทั่วไปไม่ต่างกัน แต่ผนังอิฐมอญจะเหมาะสำหรับการใช้วัสดุกรุผนังที่มีน้ำหนักมาก เช่น หินแกรนิตหรือหินอ่อน

6.น้ำหนักเบาและรับแรงกดได้ดี น้ำหนักเบากว่าอิฐมอญ 2-3 เท่าและเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่าส่งผลให้ประหยัดค่าก่อสร้างอาคาร และเสาเข็มลงได้อย่างมาก แต่อาคารยังคงมีความแข็งแรงเท่าเดิมจากโครงสร้างของอิฐมวลเบาที่ประกอบไปด้วยฟองอากาศจำนวนมากทำให้มีน้ำหนักเบาและสามารถรับแรงกดได้ดี ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้ทำให้ผู้ใช้ประหยัดต้นทุนในการก่อสร้างได้มาก ยกตัวอย่างเช่น ไม่ต้องลงเสาเข็มลึกมากเนื่องจากโครงสร้างเบาและสามารถก่อสร้างโดยใช้โครงสร้างที่เล็กลงทำให้ประหยัดการใช้เหล็กและมีพื้นที่ใช้สอยภายในมากขึ้น

7.ประหยัดพลังงาน เนื่องจากสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญแล้วยังใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กลงได้ ช่วยประหยัดค่าไฟไปได้มาก กันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญ 4-8 เท่า จึงช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู้ภายในอาคารได้เป็นอย่างดี ช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ถึง 30%

8.ใช้งานง่ายและรวดเร็ว เนื่องจากการผลิตมที่เป็นมาตรฐานทำให้สินค้าที่ออกมาเท่ากันทุกก้อนไม่เหมือนกับอิฐมอญที่ยังมีความไม่เป็นมาตรฐานอยู่ทำให้กรก่อสร้างโดยใช้อิฐมวลเบาจะใช้เวลาในการก่อและเกิดการสูญเสียน้อยกว่าโดยเฉลี่ยแล้วภายใน1วันการก่อผนังโดยใช้อิฐมวลเบาจะได้พื้นที่ 25 ตารางเมตรโดยไม่ต้องอาศัยความชำนาญของช่าง สามารถตัดแต่ง เลื่อย ไส เจาะ ฝังท่อระบบได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่ใช้งานง่ายและหาซื้อได้ทั่วไป ขณะที่ก่อโดยใช้อิฐมอญจะก่อได้เพียง 12 ตารางเมตร นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดวัสดุอื่นๆ เช่น ปูนฉาบด้วย เนื่องจากสามารถก่อฉาบได้บางกว่าช่วยจำกัดความเสียในกรณีเกิดเพลิงไหม้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.มิติเที่ยงตรง ขนาดมิติเที่ยงตรง แน่นอนได้ชิ้นงานเรียบ สวยงาน มีหลายขนาดให้เลือก ประหยัดวัสดุและแรงงานในการก่อฉาบ

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

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 นิยามของคอนกรีต

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) ราคาต้นทุนการผลิตต่ำ และใช้งานง่าย

โดยเฉพาะในปัจจุบันหรือในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ ที่ต้องการความพิถีพิถันในแง่ของการเลือกและรักษาคุณภาพของวัสดุ ความต้องการคอนกรีตไม่ได้จำกัดเพียงแค่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเท่านั้น แต่ต้องมีคุณสมบัติอื่นๆตามมาอีก ยกตัวอย่างเช่น ความสวยงาม คงทน น้ำหนักเบา กันความร้อน ปลอดมลพิษ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทำให้การได้คอนกรีตที่ดีนั้น ไม่ง่ายอย่างที่ใครคิด ผู้ใช้งานทุกระดับไม่ว่าจะเป็นบุคคลธรรมดาที่ต้องการใช้งานที่บ้านเอง หรือวิศวกรที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงจำเป็นต้องศึกษาและมีความรู้ในเรื่องของคอนกรีตอย่างเพียงพอที่จะสามารถผลิตผลงานนั้นๆออกมาได้ด้วย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามวัสดุที่ใช้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Light – Weight Aggregate Concrete)

1.) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินที่เป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ มวลชนิดนี้ใช้ผสมคอนกรีตที่ไม่ต้องกำลังสูง และมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก

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

3.) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกผสมในคอนกรีต

4.) มวลรวมที่ได้จากของเหลวของกระบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าหนักที่ได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหินหรือจากการพ่นน้ำไปบน Slag ที่หลอมเหรอ แต่ถ้าหากจำแนกคอนกรีตเบาตามการไปใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 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. (จาก ประเสริฐ ดำรงชัย ,2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.2.4 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Finess Concrete)

คอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด (ทราย) อยู่ในส่วนผสม ส่วนผสมหลักจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และมวลรวมหยาบ การยึดเกาะติดกันระหว่างมวลรวมหยาบเกิดจากผิวที่ถูกเคลือบด้วยซีเมนต์เพสต์หนาประมาณ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ความหมายของแก้ว

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

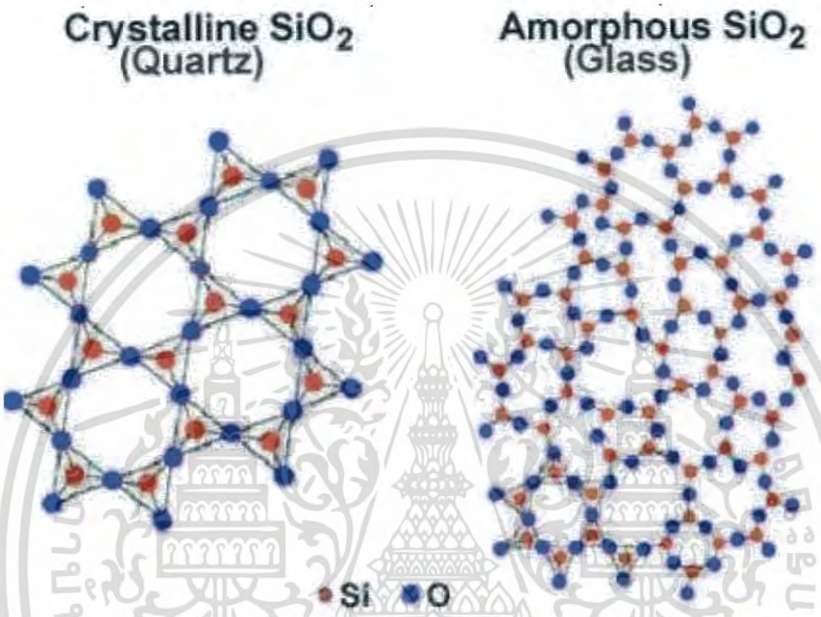
รูปที่ 2.1 เม็ดแก้วรีไซเคิล

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 (magnesium carbonate, MgCO3) มีลักษณะโปร่งแสงและมีความเปราะ หากพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพแล้ว แก้วจะหมายถึงวัสดุที่มีความแข็ง (hard) โปร่งใส (transparent) เปราะ (brittle) มีความแวววาว (relative) มีจุดหลอมละลายสูง (high softening point) ไม่ละลายในน้ำและในสารละลายใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือแสวงหาผลกำไรในทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(insoluble in water and organic solvents) อีกทั้งไม่ติดไฟ (non inflammable) ซึ่งแก้วมีสมบัติดังต่อไปนี้ (อุตตรากร,2525)

1. แก้วมีโครงสร้างทางเคมีไม่แน่นอน แต่แก้วจะมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกัน คือ ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตเป็นหลัก



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ที่ไม่แน่นอน

2. มีความแข็งแต่เปราะทำให้แตกหักง่าย

3. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องไม่ดี แต่ที่อุณหภูมิสูงจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี

4. มีลักษณะโปร่งใส (transparency)

5. สามารถทำให้หลอมละลายได้ด้วยความร้อน

6. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสมบัติของแก้วจะเปลี่ยนไปทั้งลักษณะทางกายภาพ และสมบัติ ทางเคมี

7. มีช่วงการหลอมละลายกว้าง

8. สมบัติทางกายภาพต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะสามารถสังเกตเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบามีดังนี้

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

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 คอนกรีตธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวังของคอนกรีตมวลเบาในการใช้งาน

1.การแยกตัว ถ้าส่วนผสมมีค่ายุบตัวมากหรือการจี้เขย่ามากเกินไปคอนกรีตจะเกิดการแยกตัว ทำให้มวลรวมที่หนักจะกองไปอยู่ก้นแบบและน้ำจะเยิ้มออกมาสู่ผิวหน้าคอนกรีตมากทำให้การแต่งผิวหน้าทำได้ยากขึ้น

2.การดูดซึมน้ำของมวลรวมจะมาก ดังนั้นในการออกแบบสัดส่วนผสมต้องนำปัจจัยนี้มรพิจารณารวมทั้งกำหนดวิธีการผสม

3.การผสมต้องผสมให้ถูกวิธี ถ้าใช้เวลาในการผสมที่นานเกินไป อาจทำให้มวลรวมเบาแตกได้

4.ความทนทานในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.3 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สุเมธ สันทัดวัฒนา, 2554. ได้ศึกษาเรื่องคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC เป็นการผลิตโดยใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศก่อนจึงนำไปผสมกับซีเมนต์และน้ำ ทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง การวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นอยู่ช่วง 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 กาชูยี และ ปิยนันท์ สุโน, 2551. ได้ศึกษาการวัตต์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ณ ความหนาแน่นต่างๆ โดยใช้น้ำยาเคมีทำให้เกิดฟองอากาศก่อนจึงนำไปผสมซีเมนต์และน้ำ ทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง การวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ที่มีความหนาแน่นระหว่าง 600-1800 กก./ลบ.ม. ทดลองโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1ซึ่งคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงอัดจะแปรผันตามความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง และพบว่า เมื่อคอนกรีตมีค่ากำลังรับแรงอัดมากจะทำให้ความสามารถในการกันความร้อนน้อยลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณัฐวุฒิ เต่งศิริธรรม, 2558. ได้การศึกษาส่วนผสมและอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 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 แล้วนาตัวอย่างชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยค่าความหนาแน่น, ค่าความพรุนปรากฏ, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, และสมบัติทางกลประกอบด้วย ค่ากาลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็น จากนั้นทาการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอลูมินาสูง KB-50

ศาสตร์ตราชัย เตี๊ยะตาช้าง, 2553. ได้กล่าวถึงการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ในอุตสาหกรรมมีต้นทุนที่สูง บริษัทรับเหมาขนาดเล็กรวมถึงประชาชนทั่วไปมักจะเลือกใช้คอนกรีตบล็อกหรืออิฐมอญที่มีราคาถูกกว่าในการก่อสร้างผนังดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยการหาสัดส่วนที่เหมาะสมจากปัจจัยหลัก 3 อย่างอันได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์อยู่ในช่วง 0.40 ถึง0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์อยู่ในช่วง 1.0 ถึง 2.5 และปริมาณโฟมอยู่ในช่วง 30 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากนั้นทำการทดลองและสร้างสมการทำนายหากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นในสภาพแห้ง และอัตราการดูดซึมน้ำ เพื่อวิเคราะห์และแก้ระบบสมการหาสัดส่วนที่เหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก.2601-2556 และได้ราคาต่ำสุด ผลจากการศึกษาพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในช่วงความหนาแน่น 500 ถึง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.18 และปริมาณโฟมเท่ากับ 53.42 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนที่เหมาะสมในช่วงความหนาแน่น 801 ถึง 1200กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ2.50 และปริมาณโฟมเท่ากับ 44.08 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนที่เหมาะสมในช่วงความหนาแน่น 1201 ถึง 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 2.50 และปริมาณโฟมเท่ากับ 35.41 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยวดยง อัศวทิภาวงศ์ ยุทธนา ครองยุทรและ อรรถพล แก้วลัดดากร, 2555. ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลในคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนการผสมตามกำหนด โดยงานวิจัยนี้เน้นการนำสิ่งที่เหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์และการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตความหนาแน่นระหว่าง 600 – 1800 กก./ลบ.ม. การทดสอบนี้ใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทราย 1:1 และผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล 16 , 24 , 40, 48 , 64% โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อคอนกรีตทดสอบ ที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำ 0.3 , 0.4 , และ 0.5 ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติในด้านกำลังแรงอัดและคาหน่วยน้ำหนักจะแปรผกผันกับปริมาณแก้วที่ผสมลงในคอนกรีตมวลเบา อัตราการดูดซึมน้ำจะแปรผันตามปริมาณเม็ดแก้วที่ผสมลงในคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยในเพื่อศึกษาและพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC โดยผสมมวลรวมสังเคราะห์ คือ ผลแก้วรีไซเคิล ซึ่งแก้วรีไซเคิลนั้นเป็นวัสดุที่หาง่ายทั่วไปและเป็นการลดมลพิษจากขยะ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือและวิธีดำเนินงานวิจัย เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนในการทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติของคอนกรีต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

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

3.1 ขั้นการออกแบบการทดลอง

3.1.1) กำหนดส่วนประกอบที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของตัวอย่าง

การทดลองเพื่อหาส่วนผสมต่างๆของคอนกรีตมวลเบาตามขั้นตอนการผลิตแบบ CLC เพื่อที่จะหาอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด นั้นคือ ส่วนผสมที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด ทั้งก่อนอบและหลังอบ มีองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อตัวอย่างดังนี้

3.1.1.1) ค่าอัตราส่วน Water cement ratio เป็นตัวกำหนดปริมาณน้ำที่ผสมลงในคอนกรีต ค่า W/C ที่ต่างกันอาจมีผลต่อการรับแรงอัดของคอนกรีต รวมถึงคุณสมบัติอื่นๆของคอนกรีตด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2) ปริมาณของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ผสมลงในคอนกรีต ให้เป็นมวลรวมหยาบ จำเป็นต้องกำหนดปริมาณเม็ดแก้วเพื่อเปรียบเทียบ เพื่อหาปริมาณของแก้วที่ดีที่สุดที่ต้องผสมลงในคอนกรีต

3.1.1.3) ปริมาณและขนาดของตัวอย่างการทดลองเพื่อให้เหมาะสมกับการทดลอง

3.1.2) กำหนดขนาดและจำนวนของตัวอย่าง

เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่นำมากำหนดเป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา จำทำให้การออกแบบขนาดและจำนวนของตัวอย่างการทดลอง 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 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. ซึ่งวัสดุที่เล็กกว่านี้เรียกว่า ฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เม็ดแก้วรีไซเคิล

ขนาดของเม็ดแก้วรีไซเคิลนั้นมีขนาดเล็กกว่า 2.36 มม. หรือสามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 8 และมีขนาดใหญ่กว่า 1.18 มม. หรือค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 16 โดยขั้นตอนการผลิตอย่างละเอียดของเม็ดแก้วรีไซเคิลนี้ขอสงวนสิทธิไว้กับ บริษัท P.General product จำกัด

กรรมวิธีการผลิตเม็ดแก้วรีไซเคิลมีดังนี้

(1) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเม็ดแก้วรีไซเคิลคือเศษแก้วใสที่ได้จากกระจกประเภทโซดาไลม์ ซึ่งทำความสะอาดมาแล้ว

(2) ในส่วนของการคัดเลือกแก้วต้องระมัดระวัง เลือกแก้วประเภทเดียวกัน หากมีเศษแก้วที่มีส่วนผสมของตะกั่วปะปนเข้ามา จะทำให้เม็ดแก้วที่ได้คุณภาพไม่ดี เพราะแก้วที่มีตะกั่วปนเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดหรือก๊าซ ที่เคยใสจะเปลี่ยนไปเป็นหมองคล้ำ

(3) เมื่อเลือกเศษแก้วได้แล้ว นำมาบดและคัดขนาดแล้วนำเข้าเตาหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 – 1,400 องศาเซลเซียสจนได้น้ำแก้วหลอมเหลว

(4) ช่วงปลายเตาจะมีท่อเล็กๆจำนวนหนึ่งปล่อยให้น้ำแก้วหยดผ่าน ขณะเดียวกันเป่าลมดันสวนขึ้นไป ควบคุมอุณหภูมิและความดันของลมให้พอเหมาะก็จะได้เม็ดแก้วกลมๆออกมามากมาย

(5) เม็ดแก้วที่ได้จะถูกนำไปเคลือบด้วยเรซิ่นที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียสอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ทนทานต่อสภาพอากาศได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) ขั้นตอนการผลิต

3.3.1) ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

เครื่องมืออุปกรณ์

1. ขวดหาแก้ววัดปริมาตร. Volumetric Flask ขนาด 500 ml.

รูปที่ 3.1 ขวดหาแก้ววัดปริมาตร. Volumetric Flask ขนาด 500 ml.

2. เครื่องชั่ง

3. กรวยหล่อโลหะหัวตัด (Sand absorption cone) เส้นผ่าศูนย์กลางปลายบน 38 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางปลายล่าง 89 มม. สูง 74 มม. พร้อมเหล็กกระทุ้ง (tamper) น้ำหนัก 340-+15 กรัมลักษณะเหล็กกระทุ้งนี้ ที่ปลายเหล็กกระทุ้งเป็นวงกลมแบน เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 กรวยหล่อโลหะหัวตัดและเหล็กกระทุ้ง

4. ถาด

5. เตาอบ (Oven) รักษาอุณหภูมิในช่วง 100-115 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.3 เตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างทรายแช่น้ำสะอาด 24 ชั่วโมงเพื่อให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวสมบูรณ์

2. ทำการตากตัวอย่างและนำมาทดสอบด้วยกรวยหล่อโลหะหัวตัดจนได้ลักษณะของทรายที่ถอดแบบคล้ายพีระมิดหัวแหลม จึงได้ทรายในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

รูปที่ 3.4 กรวยโลหะและทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่มีลักษณะคล้ายพีระมิด

3. นำตัวอย่างทรายที่มีอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จำนวน 500 g (ค่า B) แบ่งเป็นสี่ส่วนเลือกทรายแค่สองส่วน

4. เทลงใน Volumetric Flask 500 ml. (C.C.) โดยใช้กรวยตวงทรายใส่จนหมด แล้วนำน้ำสะอาดมาเทใส่จนท่วมทราย ให้ไม่เกินขีดบอกขนาด 500ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการไล่ฟองอากาศ โดยเอนขวดพอประมาณแล้วหมุนขวดไป-มา หรือจะแกว่งทรายในขวดแล้วนำไปสูบเอาอากาศออก โดยใช้ Vacuum Pump ก็ได้ หรือจะนำไปแกว่งในน้ำร้อน ซึ่งวิธีนี้ต้องการ Calibrate น้ำกับขวด Volumetric Flask เพราะมีอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง

6. เติมน้ำเข้าไปอีกจนพอดีขีดบอกขนาด 500 ml. โดยสังเกตท้องน้ำเป็นหลักแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (ได้ค่า C)

รูปที่ 3.5 เทน้ำลงไปใน Volumetric Flask ให้ถึง 500 ml. แล้วชั่งน้ำนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เทตัวอย่างทรายพร้อมน้ำออกจาก Volumetric Flask ใส่ลงในถาดที่ใหญ่พอโดยเมื่อเทออกจนหมดแล้วน้ำไม่ล้นออกมานำไปอบที่อุณหภูมิ 100-115 C ทิ้งไว้จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 24ชม) แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (ได้ค่า A)

การคำนวณ

ตารางที่ 3.1 การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทรายละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย
C: น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่ใส่ทรายและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	873.22	864.52	869.80	
B: น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	666.84	672.67	669.20	
A: น้ำหนักของทรายหลังจากอบแห้ง (กรัม)	486.33	480.94	483.10	
S: น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มจัวผิวแห้ง (กรัม)	500.00	500.00	500.00	
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม (Bulk specific gravity) = A/(B+S-C)	1.66	1.56	1.61	1.61
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity) = S/(B+S-C)	1.70	1.62	1.67	1.67
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/(B+A-C)	1.74	1.66	1.71	1.70
ร้อยละการดูดน้ำของเม็ดแก้วรีไซค์เคิล (Absorption) = [(S-A)/A]*100 (%)	2.81	3.96	3.50	3.42

3.3.2) ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเม็ดแก้วรีไซค์เคิล สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

เครื่องมืออุปกรณ์

1. ขวดหาแก้ววัดปริมาตร. Volumetric Flask ขนาด 500 ml.

2. เครื่องชั่ง

3. ถาด

4. เตาอบ (Oven) รักษาอุณหภูมิในช่วง 100-115 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างเม็ดแก้วรีไซค์เคิลแช่น้ำสะอาด 24 ชั่วโมงเพื่อให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวสมบูรณ์

2. ทำการตากแดดจนผิวของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลแห้ง จึงได้ตัวอย่างในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

รูปที่ 3.6 เม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

3. นำตัวอย่างเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่มีอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จำนวน 500 g (ค่า B) แบ่งเป็นสี่ส่วน เลือกเม็ดแก้วรีไซค์เคิลแค่สองส่วน

4. เทลงใน Volumetric Flask 500 ml. (C.C.) โดยใช้กรวยตวงเม็ดแก้วรีไซค์เคิลใส่จนหมด แล้วนำน้ำสะอาดมาเทใส่จนท่วมเม็ดแก้วรีไซค์เคิล 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เทตัวอย่างพร้อมน้ำออกจาก Volumetric Flask ใส่ลงในถาดที่ใหญ่พอโดยเมื่อเทออกจนหมดแล้วน้ำไม่ล้นออกมานำไปอบที่อุณหภูมิ 100-115 C ทิ้งไว้จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 24ชม) แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (ได้ค่า A)

การคำนวณ

ตารางที่ 3.2 การคำนวณความถ่วงจำเพาะของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย
C: น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่ใส่เม็ดแก้วรีไซค์เคิลและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	958.12	962.43	964.69	
B: น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	665.29	671.25	668.60	
A: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม)	490.11	493.46	492.55	
S: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่สภาวะอิ่มจัวผิวแห้ง (กรัม)	500.00	500.00	500.00	
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม (Bulk specific gravity) = A/(B+S-C)	2.37	2.36	2.42	2.38
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity) = S/(B+S-C)	2.41	2.39	2.45	2.42
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/(B+A-C)	2.48	2.44	2.51	2.48

ตารางที่ 3.3 การคำนวณร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5
A: น้ำหนักของภาชนะและเม็ดแก้วรีไซค์เคิลอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	199.03	105.82	132.36	126.37	200.72
B: น้ำหนักของภาชนะและเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม)	196.44	104.25	130.39	124.85	198.46
C: น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	13.96	13.43	13.32	12.64	19.21
D: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลที่สภาวะอิ่มจัวผิวแห้ง (กรัม) = A - C	185.07	92.39	119.04	113.73	181.51
E: น้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิลหลังจากอบแห้ง (กรัม) = B - C	182.48	90.82	117.07	112.21	179.25
ร้อยละการดูดน้ำของเม็ดแก้วรีไซค์เคิล (Absorption) = [(D-E)/E]*100 (%)	1.42	1.73	1.68	1.35	1.26
ร้อยละการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลเฉลี่ย	1.49				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3) ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตมวลเบา

1. ผสมปูน ทราย น้ำ ตามอัตราส่วนที่กำหนด

2. ผลิตฟองโฟมจากน้ำยาที่เตรียมไว้ ด้วยเครื่องผลิตฟองโฟมเละเครื่องอัดอากาศ แล้วคัดโฟมที่มีความละเอียดสูง จากนั้นตวงฟองโฟมด้วยถ้วยตวง ตามอัตราส่วนโดยปริมาตรที่กำหนด

รูปที่ 3.7 ปั๊มลมและเครื่องผลิตโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 ขั้นตอนผลิตฟองโฟม

3. ผสมมอร์ต้า กับ ฟองโฟม ให้เข้ากัน โดยทำการผสมที่ห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ร้อนจะทำให้น้ำในมอร์ต้าระเหยไวขึ้น เป็นสาเหตุให้กำลังของชิ้นตัวอย่างลดลง

4.สำหรับตัวอย่างที่มีการผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล ให้นำมอร์ต้าที่ผสมฟองโฟมเรียบร้อยแล้วมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาณโดยน้ำหนักที่จะผสมเม็ดแก้ว จากนั้นผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

5. หล่อมอร์ต้าลงแบบหล่อที่เตรียมไว้ โดยต้องให้มอร์ต้าเข้ากับแบบได้อย่างดี แล้วปาดแต่งผิวหน้าด้วยเกรียงแล้วซีนด้วยพลาสติกซีนเพื่อป้องกันน้ำระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 การใส่มอร์ต้าลงในแบบหล่อ

6. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วจึงทำการแกะแบบออก จากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มน้ำ

7. เมื่อตัวอย่างมีอายุครบกำหนดแล้ว นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ ตากแห้งไว้เป็นเวลา 1 วัน แล้วทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่าง ก่อนทำการทดสอบตัวอย่างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

การเตรียมชิ้นตัวอย่างแสดงจำนวนชิ้นงานในการทดลอง โดยในการทดลองได้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.3 ,0.4 และ 0.5 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1 ร้อยละฟองโฟมโดยปริมาตรชิ้นงานเท่ากับ 0.4 และ ร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดแก้วรีไซค์เคิล 5 ,10 ,15 และ 20 โดยแบ่งการทดสอบดังนี้

ตางรางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมของชิ้นตัวอย่าง

Sand/Cement	w/c	% Glass	Testing	Number
1	0.3	0	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		5	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		10	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		15	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
	0.4	0	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		5	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		10	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		15	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
	0.5	0	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		5	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		10	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
		15	Pre-burnt	6
			Post-burnt	6
			sum	144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

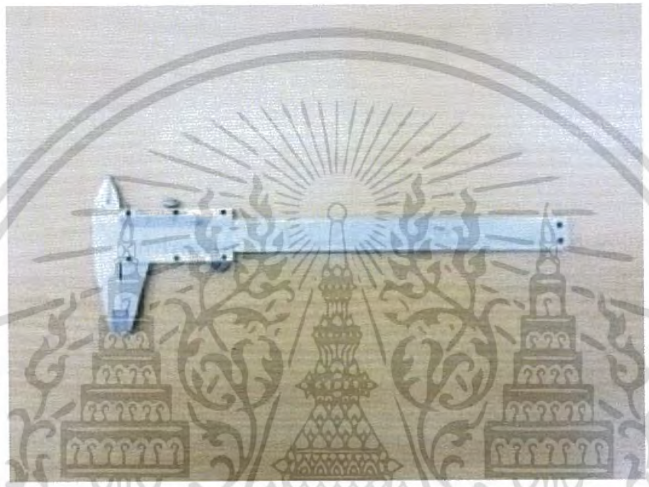
3.4.1) กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

เครื่องมืออุปกรณ์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างที่บ่มเสร็จแล้วมาวัดความกว้าง ความยาว และความสูงด้วย Vernier caliper

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและจดบันทึก

3. นำ Dial gauge มาติดตั้งที่เครื่อง UTM เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของความสูง

4. นำตัวอย่างเข้าเครื่อง UTM เตรียมทำสอบการรับแรงอัด

5. กดตัวอย่างจนถึงจุดวิบัติและบันทึกข้อมูลกำลังรับแรงอัดทุกระยะ 0.1 mm รวมถึงกำลังรับแรงอัดประลัย

การคำนวณ

A: ความกว้างของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

B: ความยาวของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

C: ความสูงของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

D: การเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่าง (ทุกระยะ0.1mm)

E: กำลังรับแรงอัดที่วัดได้จากเครื่อง UTM

Stress ความเค้น = E / (A x B)

Stain ความเครียด = D/C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้ว

5.นำตัวอย่างที่ผ่านการเผาและเย็นตัวลงแล้วมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักเพื่อเตรียมการทดสอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 ความสัมพันธ์ของค่าหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมและผสมเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ปริมาณต่างๆ

4.1.1 การทดลองหาความสัมพัทธ์ของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ,ปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิล กับค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 4.1 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 %					
0.3	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	failure					
B	failure					
C	240.950	5.002	5.010	5.130	128.558	1.874
D	failure					
E	237.210	5.000	5.008	5.090	127.454	1.861
F	231.180	5.002	5.006	5.060	126.702	1.825
G	237.200	5.000	5.004	5.150	128.853	1.841
H	240.560	5.060	5.130	5.040	130.827	1.839
I	245.260	5.040	5.140	5.050	130.823	1.875
J	240.120	5.040	5.060	5.070	129.297	1.857
K	240.340	5.040	5.060	5.070	129.297	1.859
L	240.170	5.100	5.060	5.000	129.030	1.861
average						1.855

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 %					
0.3	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	254.300	5.002	5.010	5.150	129.059	1.970
B	253.720	5.004	5.006	5.100	127.755	1.986
C	253.680	5.002	5.009	5.120	128.282	1.978
D	250.490	5.002	5.140	5.060	130.094	1.925
E	250.360	5.020	5.040	5.140	130.046	1.925
F	250.490	5.010	5.080	5.120	130.308	1.922
G	245.020	5.150	5.030	5.010	129.782	1.888
H	failure					
I	failure					
J	failure					
K	failure					
L	failure					
average						1.942

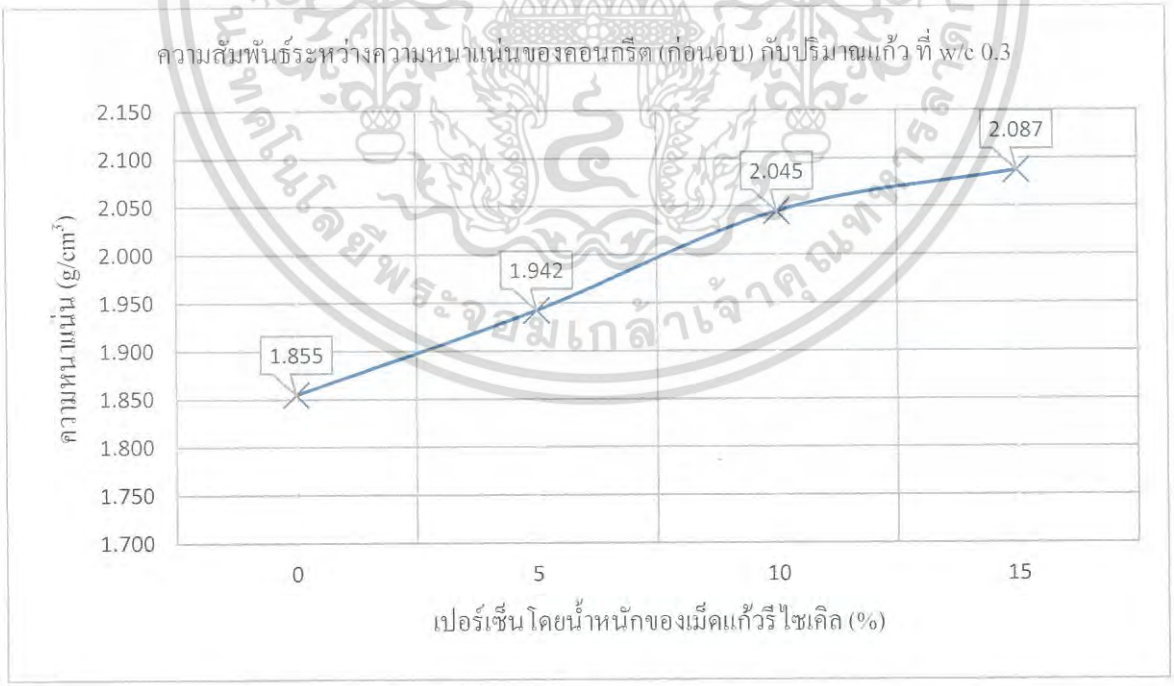
ตารางที่ 4.3 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 %					
0.3	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	262.340	5.002	5.002	5.160	129.103	2.032
B	261.260	5.001	5.001	5.020	125.550	2.081
C	260.650	5.002	5.001	5.080	127.076	2.051
D	261.230	5.002	5.005	5.100	127.679	2.046
E	260.150	5.000	5.020	5.000	125.500	2.073
F	260.240	5.150	5.020	5.000	129.265	2.013
G	failure					
H	failure					
I	failure					
J	failure					
K	260.370	5.140	5.020	5.000	129.014	2.018
L	failure					
average						2.045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตางรางที่ 4.4 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

w/c	Recycle glass bead = 15 %					
0.3	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	failure					
B	266.150	5.002	5.002	5.100	127.602	2.086
C	265.930	5.002	5.002	5.100	127.602	2.084
D	264.410	5.000	5.002	5.080	127.051	2.081
E	265.270	5.000	5.000	5.020	125.500	2.114
F	262.330	5.000	5.000	5.020	125.500	2.090
G	265.670	5.060	5.010	5.000	126.753	2.096
H	265.110	5.070	5.060	4.991	128.040	2.071
I	265.230	5.080	5.000	5.000	127.000	2.088
J	265.180	5.040	5.130	5.000	129.276	2.051
K	270.640	5.000	5.100	5.060	129.030	2.097
L	270.410	5.000	5.150	5.000	128.750	2.100
average						2.087



รูปที่ 4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 ได้ผลการทดลองว่า เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.855, 1.942 ,2.045 และ 2.087 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นั้นคือ น้ำหนักจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วในคอนกรีตมากขึ้น

ตางรางที่ 4.5 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 %					
0.4	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	failure					
B	failure					
C	223.673	4.990	5.002	5.060	126.297	1.771
D	225.260	4.996	5.030	5.020	126.151	1.786
E	failure					
F	226.643	5.020	5.020	5.030	126.758	1.788
G	227.457	5.020	5.030	5.010	126.505	1.798
H	222.959	5.000	5.060	5.010	125.751	1.759
I	failure					
J	218.681	5.010	5.020	5.000	125.751	1.739
K	217.833	5.060	5.000	5.000	126.500	1.722
L	217.932	5.080	5.000	5.000	127.000	1.716
average						1.760

ตางรางที่ 4.6 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 %					
0.4	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	228.406	5.010	5.030	5.002	126.052	1.812
B	241.978	5.050	5.010	5.120	129.539	1.868
C	240.730	5.050	5.010	5.110	129.286	1.862
D	240.979	5.020	5.020	5.100	128.522	1.875
E	240.212	5.040	4.996	5.140	129.424	1.856
F	243.024	5.110	5.020	5.050	129.544	1.876
G	240.395	5.060	5.100	5.060	130.578	1.841
H	failure					
I	244.946	5.120	5.080	5.020	130.568	1.876
J	240.994	5.020	5.060	5.060	128.530	1.875
K	241.028	5.100	5.060	5.000	129.030	1.868
L	244.385	5.080	5.100	5.200	134.722	1.814
average						1.857

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 %					
0.4	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	245.256	5.004	5.006	5.008	125.451	1.955
B	245.381	5.008	5.006	5.004	125.451	1.956
C	241.066	5.008	5.010	5.012	125.751	1.917
D	246.013	5.008	5.010	5.018	125.902	1.954
E	246.784	4.995	5.040	5.040	126.881	1.945
F	245.815	4.992	5.003	5.050	126.124	1.949
G	247.783	5.050	5.120	5.020	129.797	1.909
H	246.395	5.030	5.050	5.000	127.008	1.940
I	245.326	5.020	5.000	5.020	126.002	1.947
J	247.406	5.010	5.120	5.000	128.256	1.929
K	245.686	5.040	5.000	5.010	126.252	1.946
L	245.850	5.050	5.020	5.030	127.516	1.928
average						1.940

ตารางที่ 4.8 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

w/c	Recycle glass bead = 15 %					
0.4	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	249.233	5.040	5.000	4.990	125.748	1.982
B	249.029	5.004	5.050	5.010	126.604	1.967
C	245.955	5.030	5.000	5.010	126.002	1.952
D	248.702	5.090	4.996	5.000	127.148	1.956
E	246.199	5.050	5.000	4.990	125.998	1.954
F	failure					
G	249.724	5.060	4.980	4.990	125.742	1.986
H	253.598	5.100	5.000	5.000	127.500	1.989
I	248.375	5.000	5.000	5.000	125.000	1.987
J	244.151	5.000	5.000	4.970	124.250	1.965
K	249.118	5.000	5.020	5.000	125.500	1.985
L	247.750	5.000	5.000	5.000	125.000	1.982
average						1.973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4

ผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 ได้ผลการทดลองว่า เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.760, 1.857 ,1.940 และ 1.973 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นั้นคือ น้ำหนักจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วในคอนกรีตมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 %					
0.5	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	220.340	5.090	5.080	5.030	130.062	1.694
B	220.620	5.100	5.080	5.020	130.058	1.696
C	220.960	5.060	5.030	4.990	127.004	1.740
D	220.120	5.050	5.000	5.100	128.775	1.709
E	220.310	5.040	5.040	5.040	128.024	1.721
F	215.650	5.060	5.040	5.020	128.022	1.684
G	failure					
H	failure					
I	failure					
J	failure					
K	failure					
L	failure					
average						1.707

ตารางที่ 4.10 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 %					
0.5	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	223.244	4.950	5.050	5.080	126.987	1.758
B	220.610	4.970	5.090	5.010	126.739	1.741
C	225.555	5.010	5.010	5.100	128.011	1.762
D	225.157	5.060	5.000	5.100	129.030	1.745
E	220.650	4.950	5.010	5.080	125.981	1.751
F	219.170	5.000	5.000	5.050	126.250	1.736
G	failure					
H	failure					
I	failure					
J	failure					
K	failure					
L	failure					
average						1.749

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 %					
0.5	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	227.714	4.972	4.998	5.020	124.747	1.825
B	failure					
C	233.774	5.020	4.992	5.030	126.051	1.855
D	231.972	5.010	4.996	5.030	125.901	1.843
E	220.671	4.880	4.920	5.040	121.008	1.824
F	228.085	4.995	5.060	4.980	125.868	1.812
G	225.900	5.020	5.000	5.000	125.500	1.800
H	231.454	5.050	5.000	5.000	126.250	1.833
I	229.919	5.020	5.000	5.030	126.253	1.821
J	228.202	5.020	5.020	5.000	126.002	1.811
K	226.838	5.000	5.000	5.000	125.000	1.815
L	232.063	5.000	5.000	5.000	125.000	1.857
average						1.827

ตารางที่ 4.12 คำนวณความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

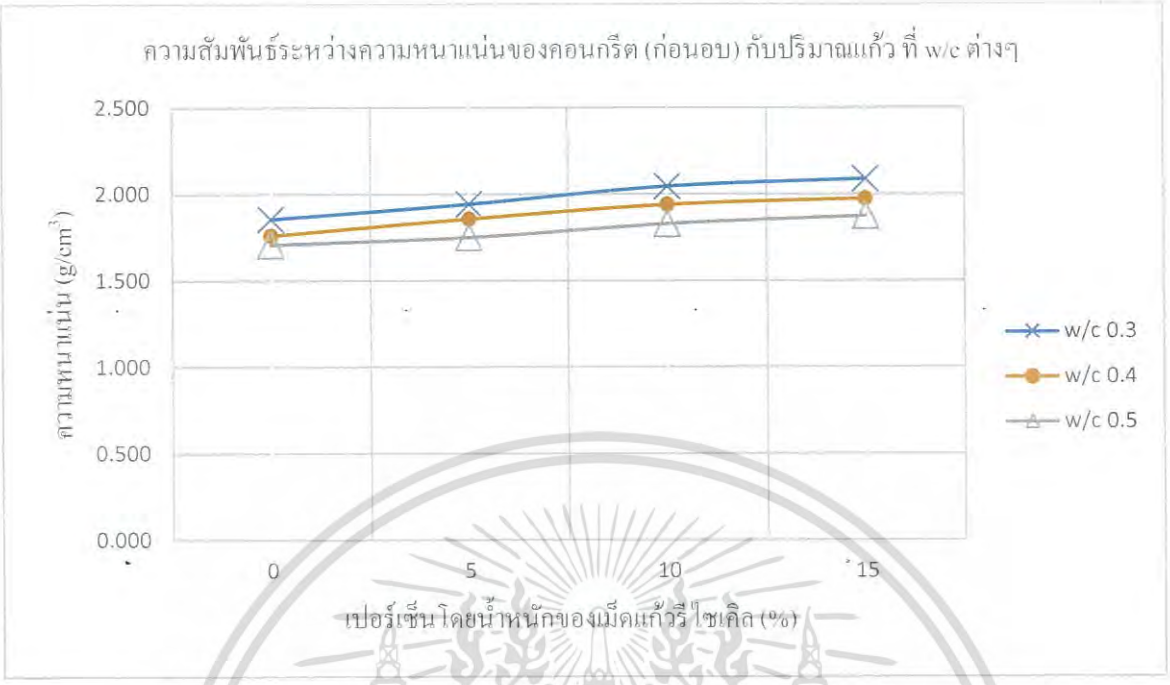
w/c	Recycle glass bead = 15 %					
0.5	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	ความถ่วงจำเพาะ
A	232.468	4.960	5.000	5.010	124.248	1.871
B	failure					
C	234.856	5.000	5.000	5.010	125.250	1.875
D	234.355	5.000	5.000	5.010	125.250	1.871
E	236.421	5.020	5.030	5.000	126.253	1.873
F	235.815	5.000	5.020	5.000	125.500	1.879
G	232.325	5.010	4.990	5.020	125.499	1.851
H	237.499	5.040	5.000	5.020	126.504	1.877
I	234.059	5.020	5.000	4.980	124.998	1.873
J	235.181	4.980	5.000	5.000	124.500	1.889
K	failure					
L	4.980	4.990	5.000	4.980	124.251	1.875
average						1.873

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5

ผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 ได้ผลการทดลองว่า เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วที่ 0 , 5 , 10 และ 15 ได้ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.707, 1.749 ,1.827 และ 1.873 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นั้นคือ น้ำหนักจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วในคอนกรีตมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ผลการทดลองที่แสดงในรูป 4.1.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับหน่วยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดย อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่มีปริมาณของเม็ดแก้วรีไซเคิลเดียวกัน จะมีค่าหน่วยน้ำหนักลดลง เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าค่าหน่วยน้ำหนักจะแปรผันตามปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ผสมในตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา และจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กล่าวได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วมากขึ้น น้ำหนักของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งมีค่าเท่ากับ 2.42 ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นตามปริมาณเม็ดแก้วที่เพิ่ม และ เมื่อเพิ่ม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากขึ้น น้ำหนักของคอนกรีตจะน้อยลงเนื่องจากน้ำที่อยู่ในคอนกรีตจะระเหยออกไปเมื่อคอนกรีตแข็งตัว ทำให้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงจึงมีช่องว่างภายในมากขึ้น ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตกรณีก่อนอบและหลังอบ

ตางรางที่ 4.13 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 % (ก่อนอบ)					
0.3	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
C	58.600	5973.496	5.002	5.010	25.060	238.368
E	84.580	8621.814	5.000	5.008	25.040	344.322
F	97.110	9899.083	5.002	5.006	25.040	395.331
G	104.000	10601.427	5.000	5.004	25.020	423.718
average						350.434

ตางรางที่ 4.14 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 % (ก่อนอบ)					
0.3	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	129.040	13153.925	5.002	5.010	25.060	524.897
B	120.360	12269.113	5.004	5.006	25.050	489.784
C	122.900	12528.033	5.002	5.009	25.055	500.021
average						504.901

ตางรางที่ 4.15 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 % (ก่อนอบ)					
0.3	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	158.300	16136.595	5.002	5.002	25.020	644.948
B	155.290	15829.766	5.001	5.001	25.010	632.937
C	156.160	15918.451	5.002	5.001	25.015	636.356
D	154.220	15720.693	5.002	5.005	25.035	627.948
average						635.547

ตางรางที่ 4.16 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

w/c	Recycle glass bead = 15 % (ก่อนอบ)					
0.3	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
B	144.600	14740.061	5.002	5.002	25.020	589.131
C	144.840	14764.526	5.002	5.002	25.020	590.109
D	157.890	16094.801	5.000	5.002	25.010	643.535
E	152.450	15540.265	5.000	5.000	25.000	621.611
F	148.460	15133.537	5.000	5.000	25.000	605.341
average						609.945

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีก่อนอบที่ w/c 0.3

ตางรางที่ 4.17 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 % (ก่อนอบ)					
0.4	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
C	83.200	8481.142	4.990	5.002	24.960	339.790
D	87.470	8916.412	4.996	5.030	25.130	354.813
F	98.660	10057.085	5.020	5.020	25.200	399.084
G	108.030	11012.232	5.020	5.030	25.251	436.118
average						382.451

ตางรางที่ 4.18 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 % (ก่อนอบ)					
0.4	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	104.610	10663.609	5.010	5.030	25.200	423.154
B	100.240	10218.145	5.050	5.010	25.301	403.871
C	87.070	8875.637	5.050	5.010	25.301	350.809
D	120.450	12278.287	5.040	5.020	25.301	485.292
E	95.840	9769.623	5.110	4.996	25.530	382.679
average						409.161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตางรางที่ 4.19 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 % (ก่อนอบ)					
0.4	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	78.820	8034.659	5.004	5.006	25.050	320.745
B	74.900	7635.066	5.008	5.006	25.070	304.549
C	69.970	7132.518	5.008	5.010	25.090	284.276
D	50.630	5161.060	5.008	5.010	25.090	205.701
E	64.500	6574.924	4.995	5.040	25.175	261.171
F	62.500	6371.050	4.992	5.003	24.975	255.097
average						271.923

ตางรางที่ 4.20 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

w/c	Recycle glass bead = 15 % (ก่อนอบ)					
0.4	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	70.540	7190.622	5.040	5.000	25.200	285.342
B	63.640	6487.258	5.004	5.050	25.270	256.716
C	54.530	5558.614	5.030	5.000	25.150	221.018
D	65.350	6661.570	5.090	4.996	25.430	261.961
E	64.700	6595.311	5.050	5.000	25.250	261.200
average						257.248

รูปที่ 4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีก่อนอบที่ w/c 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตางรางที่ 4.21 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 % (ก่อนอบ)					
0.5	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	70.540	7190.622	5.040	5.000	25.200	285.342
B	63.640	6487.258	5.004	5.050	25.270	256.716
C	54.530	5558.614	5.030	5.000	25.150	221.018
D	65.350	6661.570	5.090	4.996	25.430	261.961
E	64.700	6595.311	5.050	5.000	25.250	261.200
average						257.248

ตางรางที่ 4.22 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 % (ก่อนอบ)					
0.5	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	73.510	7493.374	5.090	5.080	25.857	289.798
B	63.390	6461.774	5.100	5.080	25.908	249.412
C	63.670	6490.316	5.060	5.030	25.452	255.004
average						264.738

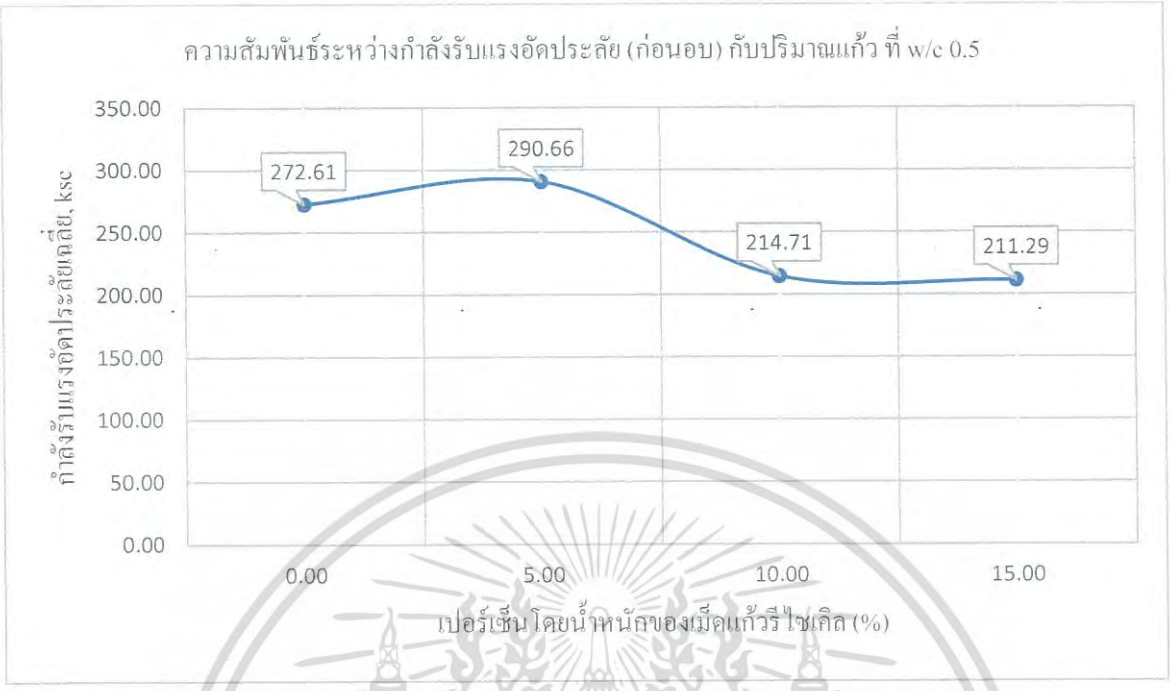
ตางรางที่ 4.23 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 % (ก่อนอบ)					
0.5	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	71.600	7298.675	4.950	5.050	24.998	291.976
B	70.970	7234.455	4.970	5.090	25.297	285.977
C	71.290	7267.074	5.010	5.010	25.100	289.524
average						289.159

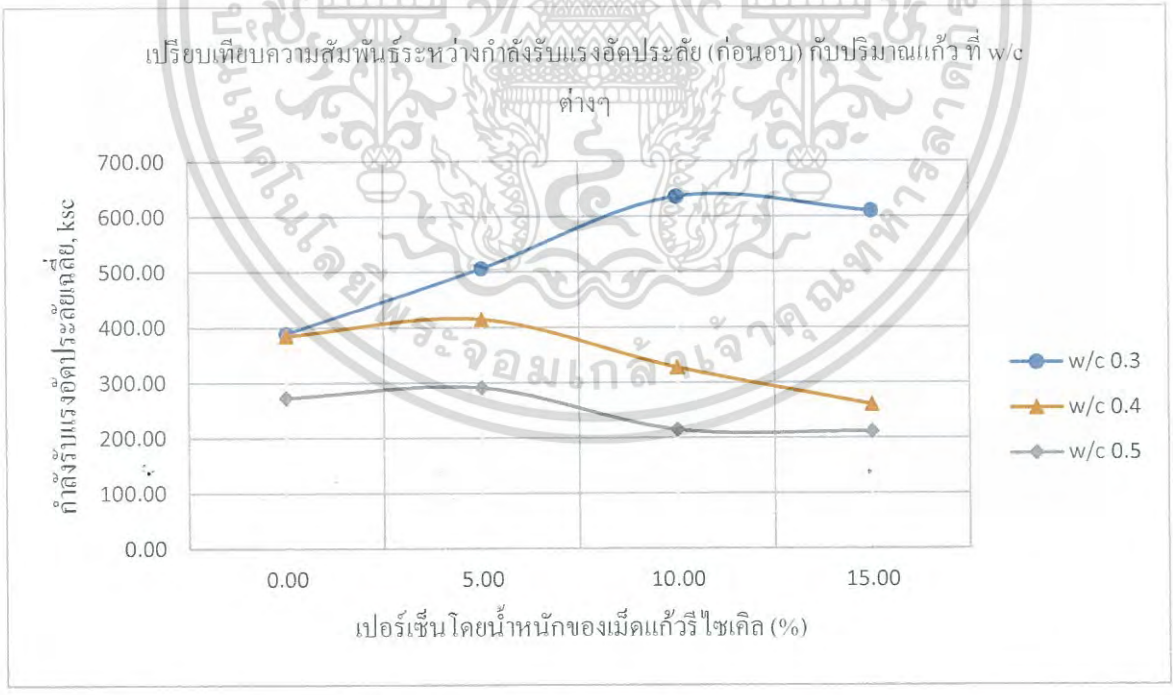
ตางรางที่ 4.24 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (ก่อนอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

w/c	Recycle glass bead = 15 % (ก่อนอบ)					
0.5	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
A	56.370	5746.177	4.972	4.998	24.850	231.234
C	57.650	5876.656	5.020	4.992	25.060	234.505
D	46.410	4730.887	5.010	4.996	25.030	189.009
E	51.060	5204.893	4.880	4.929	24.054	216.388
F	51.800	5280.326	4.995	5.060	25.275	208.917
average						216.011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีก่อนอบที่ w/c 0.5



รูปที่ 4.2.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีก่อนอบที่ w/c ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 % (หลังอบ)					
0.3	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
H	33.270	3391.437	5.060	5.130	25.958	130.652
I	32.310	3293.578	5.040	5.140	25.906	127.138
J	31.540	3215.087	5.040	5.060	25.502	126.070
K	32.790	3342.508	5.040	5.060	25.502	131.066
L	31.470	3207.951	5.100	5.060	25.806	124.310
average						127.847

ตารางที่ 4.26 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 % (หลังอบ)					
0.3	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
D	26.440	2695.209	5.002	5.140	25.710	104.830
E	29.860	3043.833	5.020	5.040	25.301	120.306
F	36.750	3746.177	5.010	5.080	25.451	147.193
G	23.470	2392.457	5.150	5.030	25.905	92.357
average						116.171

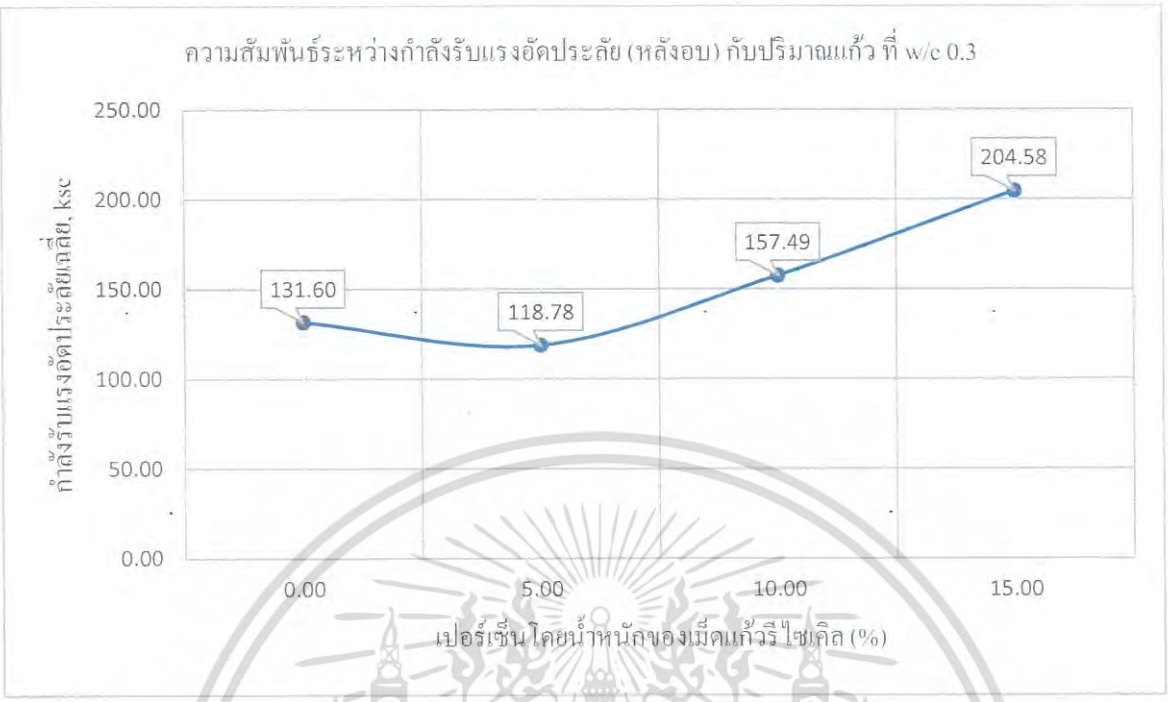
ตารางที่ 4.27 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 % (หลังอบ)					
0.3	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
E	43.560	4440.367	5.000	5.020	25.100	176.907
F	33.690	3434.251	5.150	5.020	25.853	132.838
K	38.656	3940.469	5.140	5.020	25.803	152.715
average						154.153

ตารางที่ 4.28 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.3 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

w/c	Recycle glass bead = 15 % (หลังอบ)					
0.3	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
H	59.700	6085.627	5.070	5.060	25.654	237.218
I	46.700	4760.449	5.080	5.000	25.400	187.419
J	44.330	4518.858	5.040	5.130	25.855	174.776
average						199.804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีหลังอบที่ w/c 0.3

ตารางที่ 4.29 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 % (หลังอบ)					
0.4	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
H	30.190	3077.472	5.000	5.060	25.300	121.639
J	31.480	3208.970	5.010	5.020	25.150	127.592
K	34.880	3555.556	5.060	5.000	25.300	140.536
L	29.250	2981.651	5.080	5.000	25.400	117.388
average						126.789

ตารางที่ 4.30 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 % (หลังอบ)					
0.4	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
I	32.250	3287.462	5.120	5.080	26.010	126.394
J	31.080	3168.196	5.020	5.060	25.401	124.726
K	31.750	3236.493	5.100	5.060	25.806	125.416
L	42.030	4284.404	5.080	5.100	25.908	165.370
average						135.477

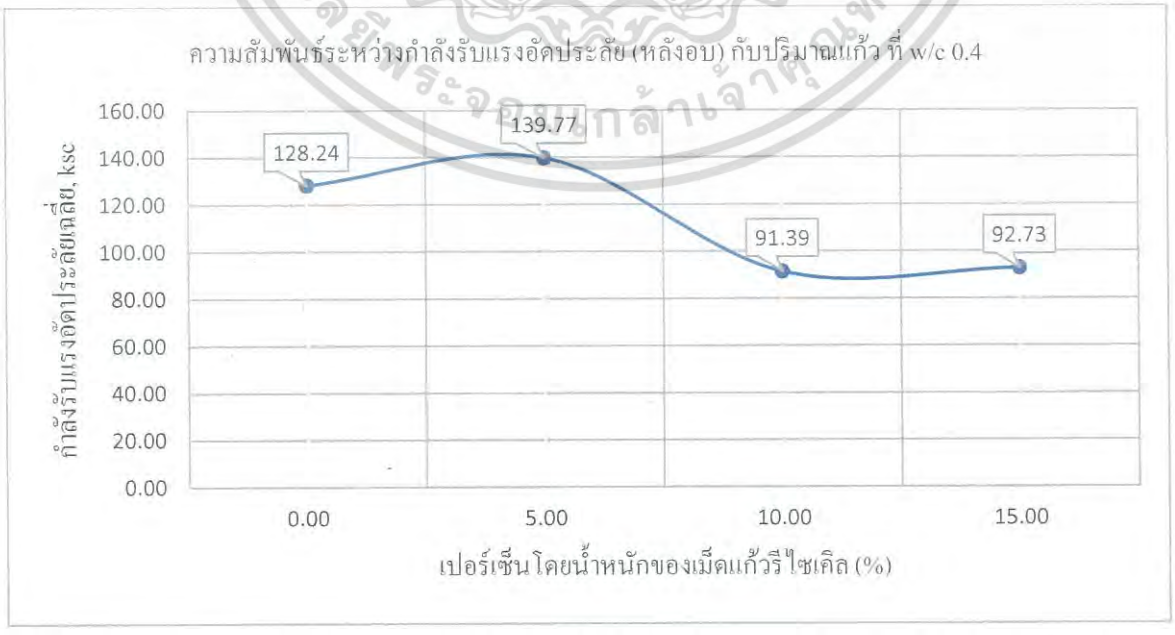
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 กำลังรับแรงอัดระลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 % (หลังอบ)					
0.4	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
G	20.900	2130.479	5.050	5.120	25.856	82.398
H	18.570	1892.966	5.030	5.050	25.402	74.522
I	26.910	2743.119	5.020	5.000	25.100	109.288
J	25.930	2643.221	5.010	5.120	25.651	103.045
K	21.630	2204.893	5.040	5.000	25.200	87.496
L	20.540	2093.782	5.085	5.020	25.527	82.023
average						89.795

ตารางที่ 4.32 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.4 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

w/c	Recycle glass bead = 15 % (หลังอบ)					
0.4	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
G	21.340	2175.331	5.060	4.980	25.199	86.327
H	17.800	1814.475	5.100	5.000	25.500	71.156
I	27.260	2778.797	5.000	5.000	25.000	111.152
J	21.840	2226.300	5.000	5.000	25.000	89.052
K	25.190	2567.788	5.000	5.020	25.100	102.302
L	23.020	2346.585	5.000	5.000	25.000	93.863
average						92.309



รูปที่ 4.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีหลังอบที่ w/c 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 0 %

w/c	Recycle glass bead = 0 % (หลังอบ)					
0.5	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
D	22.340	2277.268	5.050	5.000	25.250	90.189
E	20.960	2136.595	5.040	5.040	25.402	84.113
F	23.780	2424.057	5.060	5.040	25.502	95.052
average						89.785

ตารางที่ 4.34 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 5 %

w/c	Recycle glass bead = 5 % (หลังอบ)					
0.5	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
D	21.460	2187.564	5.060	5.000	25.300	86.465
E	25.750	2624.873	4.950	5.010	24.800	105.844
F	29.930	3050.968	5.000	5.000	25.000	122.039
average						104.782

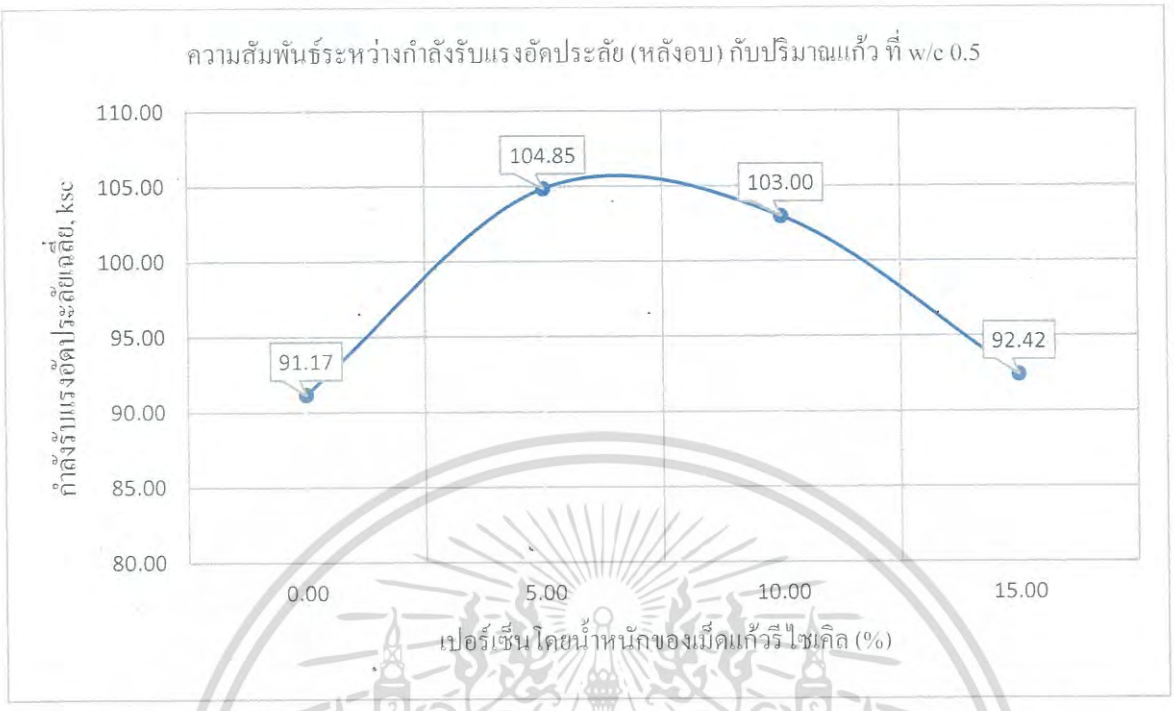
ตารางที่ 4.35 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 %

w/c	Recycle glass bead = 10 % (หลังอบ)					
0.5	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
G	29.490	3006.116	5.020	5.000	25.100	119.766
H	25.410	2590.214	5.050	5.000	25.250	102.583
K	20.880	2128.440	5.000	5.000	25.000	85.138
average						102.495

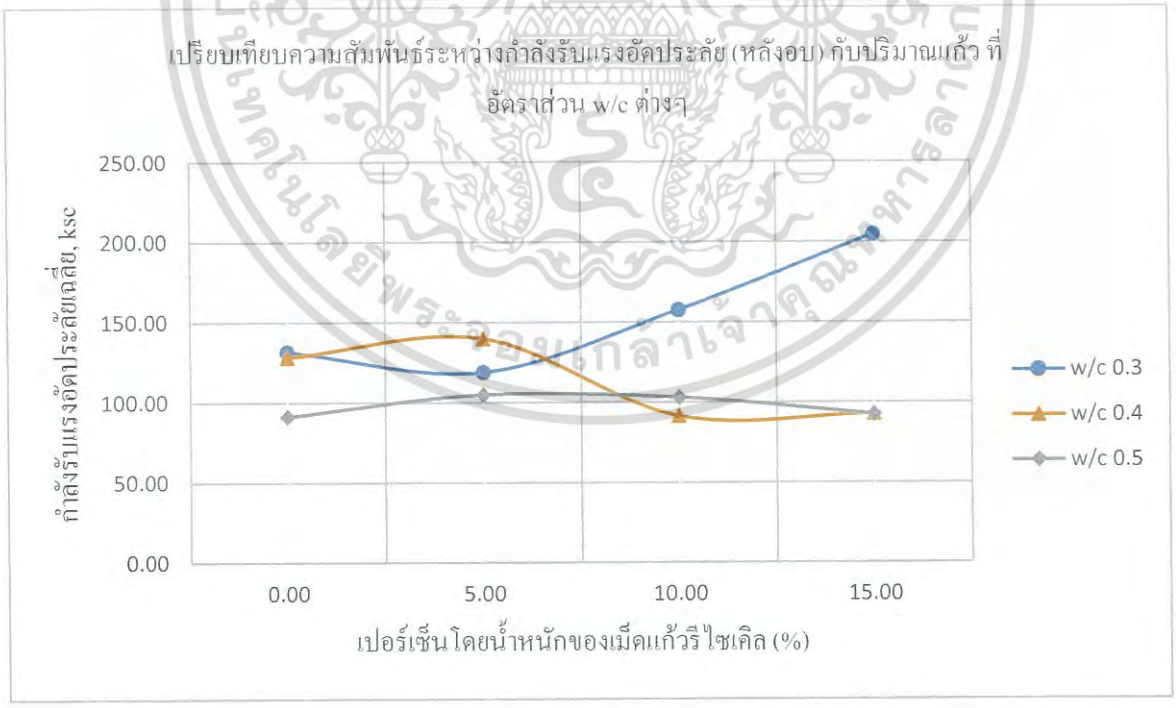
ตารางที่ 4.36 กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (หลังอบ) ที่ w/c 0.5 ร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 15 %

w/c	Recycle glass bead = 15 % (หลังอบ)					
0.5	แรงอัด (kN)	แรงอัด (kg)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	พื้นที่ (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
G	20.610	2100.917	5.010	4.990	25.000	84.037
H	27.600	2813.456	5.040	5.000	25.200	111.645
I	22.330	2276.249	5.020	5.000	25.100	90.687
J	22.940	2338.430	4.980	5.000	24.900	93.913
L	19.850	2023.445	4.990	5.000	24.950	81.100
average						92.276

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีหลังอบที่ w/c 0.5



รูปที่ 4.2.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลกับกำลังอัดประลัยของกรณีหลังอบที่ w/c ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

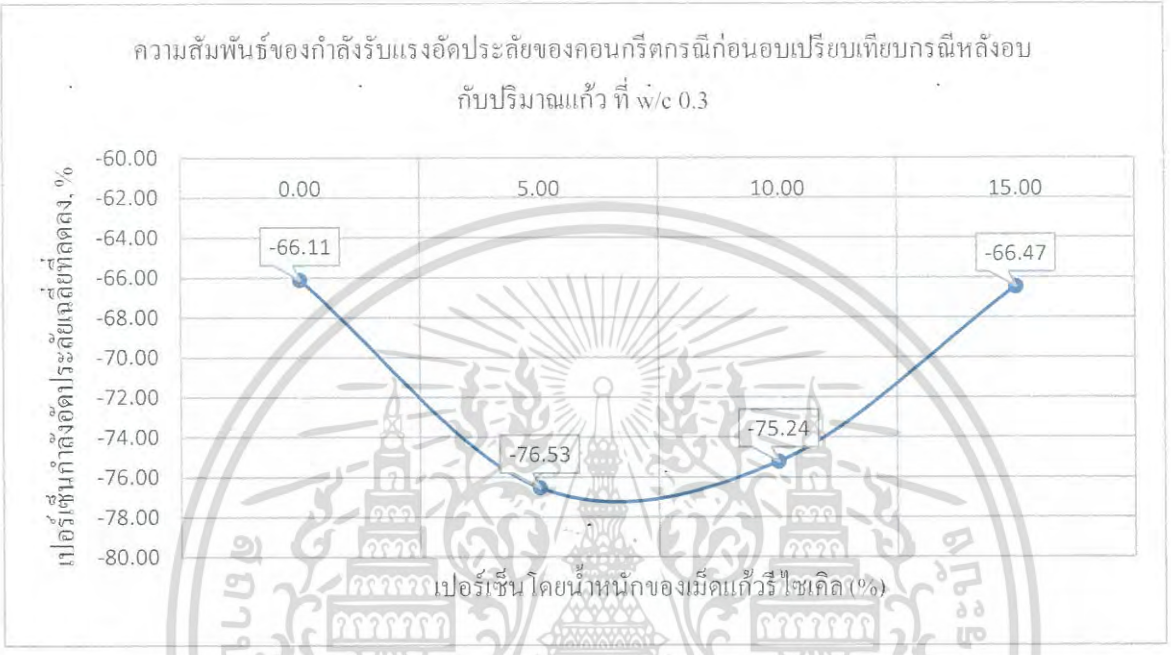
4.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาผสมเม็ดแก้วรีไซเคิล

จากรูปที่ 4.2.1 – 4.2.8 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยที่อายุ 14 วัน เทียบกับร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลโดยน้ำหนักกรณีก่อนอบและกรณีหลังอบด้วยอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลโดยน้ำหนัก พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กล่าวคือ กำลังรับแรงอัดประลัยจะมีค่าน้อยลง เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะมีการเรียงตัวของอนุภาคภายในคอนกรีตที่หลวมกว่าเนื่องจากมีน้ำส่วนเกินมากกว่า ซึ่งน้ำส่วนนี้จะระเหยทำให้เกิดโพรงอากาศขึ้น ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากขึ้น ก็จะทำให้โพรงมีมากขึ้น ทำให้รับแรงได้น้อยลง

และ สำหรับกรณีก่อนอบค่ากำลังรับแรงอัดประลัยจะแปรผันตรง จนถึง ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ 10 % สำหรับ w/c 0.3 ที่ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลเท่ากับ 10 โดยมีกำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 636.06 ksc. และจนถึง ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ 5 % สำหรับ w/c 0.4 และ 0.5 โดยมีกำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 414.44 และ 290.66 ksc. ตามลำดับ โดยหลังจากนั้น ค่ากำลังอัดประลัยจะแปรผกผันกับร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิล กล่าวคือ เมื่อร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลมีค่ามากกว่าค่าที่กล่าวมาในข้างต้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณเนื้อคอนกรีตมีน้อยลง ทำให้คอนกรีตซึ่งเป็นวัศดุยึดเกาะมีปริมาณน้อยลง สามารถสังเกตจากเนื้อตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงจนวิบัติได้ว่า ไม่พบเม็ดแก้วรีไซเคิลแตกเสียหายหลังจากคอนกรีตถึงจุดวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

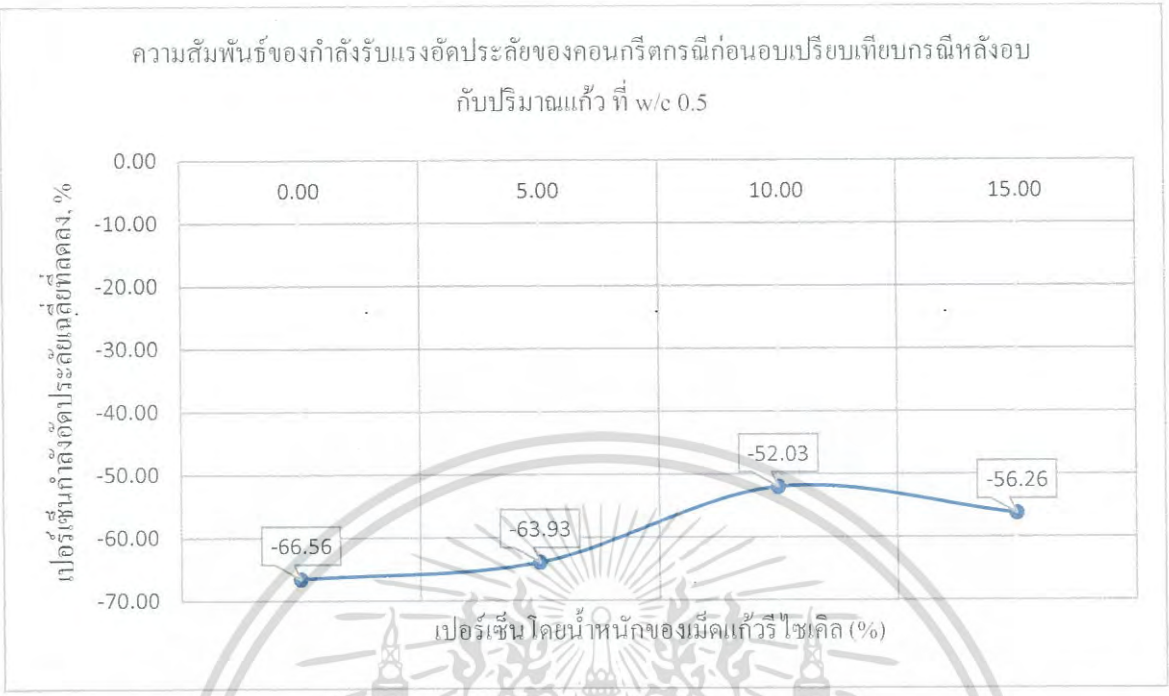
4.3 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกับกรณีหลังอบ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ ปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิลเดียวกัน



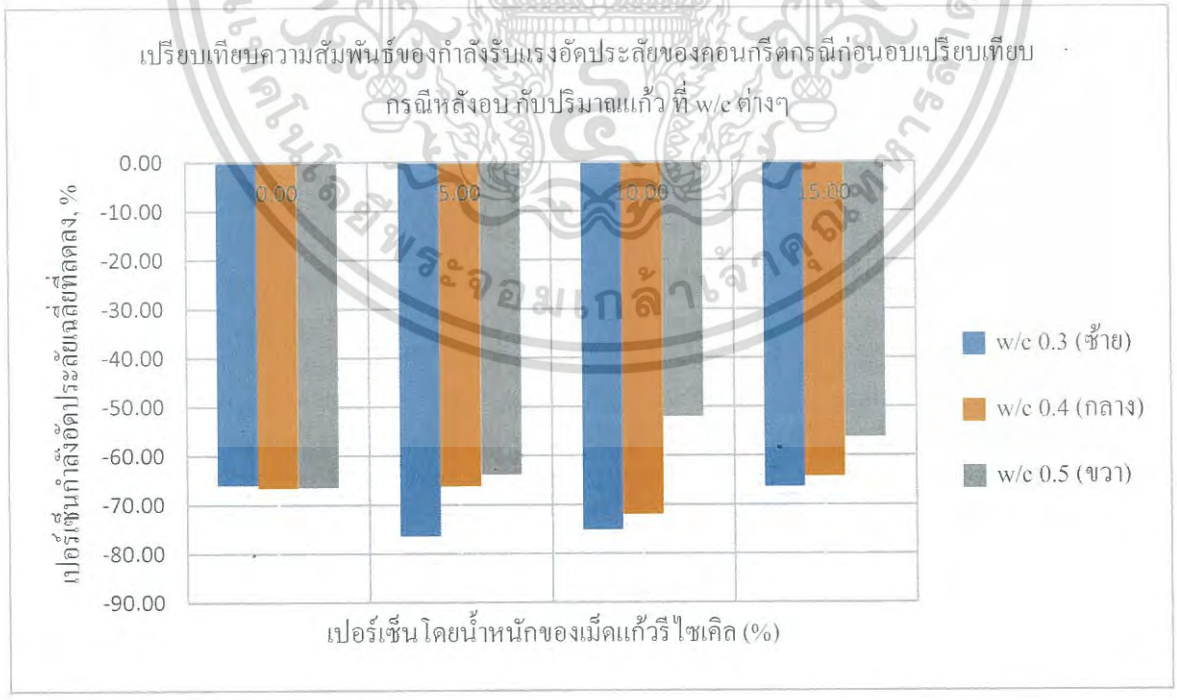
รูปที่ 4.3.1 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.3

รูปที่ 4.3.2 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.3 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.5



รูปที่ 4.3.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบ กรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การวิเคราะห์ร้อยละของการลดลงของกำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตกรณีหลังอบเปรียบเทียบกับกรณีก่อนอบ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.3.1 – 4.3.4 พบว่า กำลังรับแรงอัดประลัยที่อายุ 14 วันของตัวอย่างคอนกรีตกรณีหลังอบด้วยอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตกรณีก่อนอบที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลเดียวกัน ประมาณ 50 – 80 %

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.3.1 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.3 และที่ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิล 0, 5, 10 และ 15 % มีเปอร์เซ็นการลดลงของกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 66.11, 76.53, 75.24 และ 66.47 ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.3.2 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.4 และที่ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิล 0, 5, 10 และ 15 % มีเปอร์เซ็นการลดลงของกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 66.66, 66.28, 72.08 และ 64.33 ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.3.3 ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c 0.5 และที่ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิล 0, 5, 10 และ 15 % มีเปอร์เซ็นการลดลงของกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 66.56, 63.93, 52.03 และ 56.26 ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.3.4 เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกรณีก่อนอบเปรียบเทียบกรณีหลังอบ กับปริมาณแก้ว ที่ w/c ต่างๆ ส่วนผสมที่ให้ร้อยละการลดลงของกำลังรับแรงอัดน้อยที่สุดคือ w/c 0.5 ที่ 10 เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วรีไซเคิล มีค่าเท่ากับ 52.03 เปอร์เซ็น และส่วนผสมที่ให้ร้อยละการลดลงของกำลังรับแรงอัดมากที่สุดคือ w/c 0.3 ระหว่าง 5 -10 เปอร์เซ็นของเม็ดแก้วรีไซเคิล มีค่าเท่ากับ 77.20 เปอร์เซ็น และสามารถสังเกตได้ว่า ที่ร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ 15 % จะมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นการลดลงของกำลังรับแรงอัดที่เริ่มเกาะกลุ่มกันมากขึ้นซึ่งมีค่าระหว่าง 55 - 70 % เนื่องจากเมื่อร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลต่อน้ำหนักมีค่ามากขึ้น จะทำให้องค์ประกอบภายในมีความใกล้เคียงกันมากขึ้นแม้ว่าจะมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมมวลรวมหยาบสังเคราะห์ คือเม็ดแก้วรีไซเคิลที่นำมาทดแทนส่วนผสมของหิน โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทราย 1:1 ร้อยละของน้ำยาผลิตโฟมสำหรับอิฐมวลเบา 40 % อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.3, 0.4 และ 0.5 และร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลโดยน้ำหนัก 0, 5, 10 และ 15 % สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดสอบอัตราการดูดซึม (Absorption) ของเม็ดแก้วรีไซเคิล

จากผลการทดลอง พบว่าอัตราการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งจากการเฉลี่ย 5 ตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 1.49 % ซึ่งข้อมูลนี้มีประโยชน์ในการนำไปวิเคราะห์หาร้อยละของปริมาณน้ำที่จะผสมเผื่อในการผสมคอนกรีตมวลเบาหรือสามารถใช้เม็ดแก้วรีไซเคิลที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งและยังสามารถใช้ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ถึงผลการทบจากอัตราการดูดซึมของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่มีต่อน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา

5.1.2 การทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ค่าหน่วยน้ำหนักจะแปรผกผันกันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) และ แปรผันตรงกับปริมาณเม็ดแก้วรีไซเคิล กล่าวคือคอนกรีตมวลเบาจะมีน้ำหนักน้อยที่สุดที่กรณี w/c 0.5 และร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิลที่ 0 %

5.1.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุดคือ กรณี w/c 0.3 และมีร้อยละเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 % เท่ากับ 636.06 ksc. แต่จะมีกำลังรับแรงอัดหลังจากการอบด้วยอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ลดลงมาเท่ากับ 157.49 ksc. คิดเป็นร้อยละเท่ากับ –75.24 % ซึ่งมีค่ามากเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ w/c 0.5 และมีร้อยละของเม็ดแก้วรีไซเคิล 10 % เท่ากับ –52.03 % ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่ากำลังรับแรงอัดกรณีก่อนอบและหลังอบเท่ากับ 214.71 และ 103.00 ksc. ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีค่ากำลังน้อยกว่ากรณีแรกที่กล่าวมาในข้างต้นเป็นอย่างมาก

5.2 สรุปผลการดำเนินงานของโครงการ

- เดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม

เริ่มหาหัวข้อและจุดประสงค์ในการทำงานวิจัย รวมทั้งศึกษาหาข้อมูล งานวิจัย และบทความต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ที่สามารถนำมาประยุกต์กับงานวิจัยได้ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเม็ดแก้วรีไซเคิล เพื่อเป็นการอ้างอิงถึงคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ และ อัตรสการดูดซึม พร้อมทั้งศึกษาวิธีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

- เดือนตุลาคมถึงเดือนเมษายน

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

- เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน

ขั้นตอนการจัดทำรูปเล่มโครงงานวิจัย เพื่อรวบรวมข้อมูลตลอดงานวิจัยไว้เพื่อเผยแผ่ข้อมูลที่ถูกค้นพบเป็นแนวทางให้กับงานวิจัยที่จะถูกต่อยอดในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา

ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาและทดลอง พบปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานดังนี้

1. ขณะผสมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาการณีที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 พบว่า ลักษณะของคอนกรีตมวลเบา เนื่องจากปริมาณน้ำที่น้อยส่งผลให้การผสมคอนกรีตลงในแบบไม่ทั่วถึง จึงต้องทำการหล่อตัวอย่างขึ้นใหม่

รูปที่ 5.1 คอนกรีตตัวอย่าง w/c 0.3 เกิดปัญหาหล่อเขาแบบไม่ทั่วถึง

2. เนื่องจากเม็ดแก้วรีไซเคิลมีค่าหน่วยน้ำหนักมากรวมกับการที่มีลักษณะเรียบกลม จึงเกิดปัญหามวลรวมจมลงและกองรวมอยู่ที่ก้นของแบบ เมื่อทำการจี้เขย่ามากเกินไป

3.ขณะผสมตัวอย่างคอนกรีต ในขั้นตอนการผสมฟองโฟมสำหรับคอนกรีตมวลเบา พบว่า การตวงปริมาตรของฟองโฟมนั้นทำได้ยาก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาจึงบรรจุใส่ภาชนะตวงได้ยาก แก้ปัญหาโดยใช้ภาชนะตวงที่มีลักษณะปากกว้างก้นแคบแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 ถ้วยตวงปริมาตร

5.4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการผสมมอร์ต้ากับฟองโฟมสำหรับผสมคอนกรีตมวลเบา เพื่ออำนวยความสะดวกและลดระยะเวลาในการผสมคอนกรีต

2. งานวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้เม็ดแก้วรีไซเคิลที่มีรูปร่างและขนาดเดียวเท่านั้น จึงขอแนะนำการการศึกษาผลกระทบของขนาดและรูปทรงต่างๆของแก้วรีไซเคิลที่มีผลต่อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ 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 ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดประลัยทั้งกรณีก่อนอบและหลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.3

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.855 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 0 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A							
B							
C	240.950	5.002	5.010	5.130	1.874	58.600	
D							
E	237.210	5.000	5.008	5.090	1.861	84.580	
F	231.180	5.002	5.006	5.060	1.825	97.110	
G	237.200	5.000	5.004	5.150	1.841	104.000	
H	240.560	5.060	5.130	5.040	1.839		33.270
I	245.260	5.040	5.140	5.050	1.875		32.310
J	240.120	5.040	5.060	5.070	1.857		31.540
K	230.340	5.040	5.060	5.070	1.859		32.790
L	240.170	5.100	5.060	5.000	1.861		31.470
เฉลี่ย						95.230	32.276

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.3

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.942 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 5 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	254.300	5.002	5.010	5.150	1.970	129.040	
B	253.720	5.004	5.006	5.100	1.986	120.360	
C	253.680	5.002	5.009	5.120	1.978	122.900	
D	250.490	5.002	5.140	5.060	1.925		26.440
E	250.360	5.020	5.040	5.140	1.925		29.860
F	250.490	5.010	5.080	5.120	1.922		36.750
G	245.020	5.150	5.030	5.010	1.888		23.470
H							
I							
J							
K							
L							
เฉลี่ย						124.100	29.130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.3

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 2.045 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 10 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	262.340	5.002	5.002	5.160	2.032	158.300	
B	261.260	5.001	5.001	5.020	2.081	155.290	
C	260.650	5.002	5.001	5.080	2.051	156.160	
D	261.230	5.002	5.005	5.100	2.046	154.22	
E	260.150	5.000	5.020	5.000	2.073		43.560
F	260.150	5.150	5.020	5.000	2.013		33.690
G							
H							
I							
J							
K	260.370	5.140	5.020	5.000	2.018		38.656
L							
เฉลี่ย						124.100	38.635

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.3

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 2.087 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 15 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A							
B	266.150	5.002	5.002	5.100	2.086	144.600	
C	265.930	5.002	5.002	5.100	2.084	144.840	
D	264,410	5.000	5.002	5.080	2.081	157.890	
E	265.270	5.000	5.000	5.020	2.114	152.450	
F	262.330	5.000	5.000	5.020	2.090	148.460	
G	265.670	5.060	5.010	5.000	2.096		
H	265.110	5.070	5.060	4.991	2.071		59.700
I	265.230	5.080	5.000	5.000	2.088		46.700
J	265.180	5.040	5.130	5.000	2.051		44.330
K							
L							
เฉลี่ย						149.648	50.243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.4

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.760 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 0 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A							
B							
C	223.630	4.990	5.002	5.060	1.771	83.200	
D	225.260	4.996	5.030	5.020	1.786	87.470	
E							
F	226.643	5.020	5.020	5.030	1.788	98.660	
G	227.457	5.020	5.030	5.010	1.798	108.030	
H	222.959	5.000	5.060	5.010	1.759		30.190
I							
J	218.681	5.010	5.020	5.000	1.739		31.480
K	217.833	5.060	5.000	5.000	1.722		34.880
L	217.932	5.080	5.000	5.000	1.716		29.250
เฉลี่ย						94.340	31.450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.6 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.4

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.857 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 5 % โดยปริมาตรของเม้ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	228.406	5.010	5.030	5.002	1.812	104.610	
B	241.978	5.050	5.010	5.120	1.868	100.240	
C	240.730	5.050	5.010	5.110	1.862	87.070	
D	240.979	5.040	5.020	5.100	1.875	120.450	
E	240.212	5.110	4.996	5.140	1.856	95.840	
F							
G							
H							
I	244.946	5.120	5.080	5.020	1.876		32.250
J	240.994	5.020	5.060	5.060	1.875		31.080
K	241.028	5.100	5.060	5.000	1.868		31.750
L	244.385	5.080	5.100	5.200	1.814		42.030
เฉลี่ย						101.642	34.278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.4

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.940 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 10 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	245.256	5.004	5.006	5.008	1.955	78.820	
B	245.381	5.008	5.006	5.004	1.956	74.900	
C	241.066	5.008	5.010	5.012	1.917	69.970	
D	246.013	5.008	5.010	5.018	1.954	50.630	
E	246.784	4.995	5.040	5.040	1.945	64.500	
F	245.815	4.992	5.003	5.050	1.949	62.500	
G	247.783	5.050	5.120	5.020	1.909		20.900
H	246.395	5.030	5.050	5.000	1.940		18.570
I	245.326	5.020	5.000	5.020	1.947		26.910
J	247.406	5.010	5.120	5.000	1.929		25.930
K	245.686	5.040	5.000	5.010	1.946		21.630
L	245.850	5.0850	5.020	5.030	1.928		20.540
เฉลี่ย						80.266	22.413

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.4

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.973 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 15 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	249.233	5.040	5.000	4.990	1.982	70.540	
B	249.029	5.004	5.050	5.010	1.967	63.640	
C	245.955	5.030	5.000	5.010	1.952	54.530	
D	248.702	5.090	4.996	5.000	1.956	65.350	
E	246.199	5.050	5.000	4.990	1.954	64.700	
F							
G	249.724	5.060	4.980	4.990	1.986		21.340
H	253.598	5.100	5.000	5.000	1.989		17.800
I	248.375	5.000	5.000	5.000	1.987		27.260
J	244.151	5.000	5.000	4.970	1.965		21.840
K	249.118	5.000	5.020	5.000	1.985		25.190
L	247.750	5.000	5.000	5.000	1.982		23.020
เฉลี่ย						63.752	22.741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.9 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.5

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.707 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 0 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	220.340	5.090	5.080	5.030	1.694	73.510	
B	220.620	5.100	5.080	5.020	1.696	63.390	
C	220.960	5.060	5.030	4.990	1.740	63.670	
D	220.120	5.050	5.000	5.100	1.709		22.340
E	220.310	5.040	5.040	5.040	1.721		20.960
F	215.650	5.060	5.040	5.020	1.684		23.780
G							
H							
I							
J							
K							
L							
เฉลี่ย						66.856	22.360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.10 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.5

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.707 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม้ดแก้ว = 5 % โดยปริมาตรของเม้ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	223.244	4.950	5.050	5.080	1.758	71.600	
B	220.610	4.970	5.090	5.010	1.741	70.970	
C	225.555	5.010	5.010	5.100	1.762	71.290	
D	225.157	5.060	5.000	5.100	1.745		21.460
E	220.650	4.950	5.010	5.080	1.751		25.750
F	219.170	5.000	5.000	5.050	1.736		29.930
G							
H							
I							
J							
K							
L							
เฉลี่ย						71.285	25.713

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.11 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.5

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.827 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 10 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	227.714	4.972	4.998	5.020	1.825	56.370	
B							
C	233.774	5.020	4.992	5.030	1.855	57.650	
D	231.972	5.010	4.996	5.030	1.843	46.410	
E	220.671	4.880	4.929	5.040	1.824	51.060	
F	228.085	4.995	5.060	4.980	1.812	51.800	
G	225.900	5.020	5.000	5.000	1.800		29.490
H	231.454	5.050	5.000	5.000	1.833		25.410
I	229.919	5.020	5.000	5.030	1.821		
J	228.202	5.020	5.020	5.000	1.811		
K	226.838	5.000	5.000	5.000	1.815		20.880
L	232.063	5.000	5.000	5.000	1.857		
เฉลี่ย						52.658	25.260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.12 ผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัด

ผลการทดลอง

ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ w/c = 0.5

ความหนาแน่นเฉลี่ย = 1.873 (g/cm3)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 1 : 1 เม็ดแก้ว = 15 % โดยปริมาตรของเม็ดแก้วต่อบล็อกคอนกรีตทดสอบ

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทดสอบ(g)	กว้าง(cm)	ยาว(cm)	สูง(cm)	หน่วยน้ำหนัก (g/cm3)	กำลังรับแรงอัดก่อนอบ (kN)	กำลังรับแรงอัดหลังอบ (ksc)
A	232.468	4.960	5.000	5.000	1.871	50.810	
B							
C	234.856	5.000	5.000	5.000	1.875	52.660	
D	236.355	5.000	5.000	5.030	1.871	50.650	
E	235.421	5.020	5.030	5.000	1.873	51.990	
F	235.815	5.000	5.020	5.000	1.879	52.980	
G	232.325	5.010	4.990	5.020	1.851		20.610
H	237.499	5.040	5.000	5.020	1.877		27.600
I	234.059	5.020	5.000	4.980	1.873		22.330
J	235.181	4.980	5.000	5.000	1.889		22.940
K							
L	232.971	4.990	5.000	4.980	1.875		19.850
เฉลี่ย						52.658	22.666

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพุทธพร อรไทวรรณ

วัน เดือน ปีเกิด 21 ตุลาคม 2538

ที่อยู่ 359 หมู่ 6 ต.กังแอน อ.ปราสาท จ.สุรินทร์ 32140

โทร 098-257-9911

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2556 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียน สุรวิทยาคาร อ.เมือง จ.สุริทนร์
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

Email atlastine@outlook.co.th

ชื่อ-นามสกุล นายเศรษฐวัฒณ์ ช่วยศรีนวล

วัน เดือน ปีเกิด 30 พฤศจิกายน 2538

ที่อยู่ 67/5 หมู่ 8 ต.เกาะขนุน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา 24120

โทร 099-115-8780

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2553 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ที่โรงเรียน กาญจนาภิเษกวิทยาลัยฉะเชิงเทรา อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา
พ.ศ. 2556 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียน จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

Email maysetsawat@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)

ชื่อ-นามสกุล นายอิสรา สิริกุล

วัน เดือน ปีเกิด 4 ตุลาคม 2537

ที่อยู่ 40 หมู่ 10 ต.ขุนทะเล อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี 84100

โทร 091-4545-252

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2555 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียน สุราษฎร์ธานี อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี

ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

Email aisarazaza@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้