การศึกษากำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน

A study of compressive strength of steel square hollow section column filled with cellular lightweight concrete

เฉลิมเกียรติ อยู่สุข

มนัญชัย ดิสถาพร

อดิเทพ ทัพโหง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A study of compressive strength of steel square hollow section column filled with cellular lightweight concrete

Chaloermkieat Yoosook
Mananchai Disathaporn
Adithep Thaphong

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 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดำเนินโครงการวิจัย เรื่องการศึกษากำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน		
นักศึกษา	นายเฉลิมเกียรติ	อยู่สุข	รหัสประจำตัว 60015008
	นายมนัญชัย	ดิสถาพร	รหัสประจำตัว 60015037
	นายอดิเทพ	ทัพโหง	รหัสประจำตัว 60015054
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ. 2562

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการทดสอบในส่วนการตอบสนองทางโครงสร้างและลักษณะการวิบัติของเสาท่อเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน และเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสาที่ทดสอบได้กับสมการออกแบบเสาเชิงประกอบเพื่อศึกษาความเหมาะสมของสมการ โดยตัวแปรหลักที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยกำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตและความหนาของเหล็ก และเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25 x 25 mm. หนา 1.2 mm.มีความสูง 5 ระดับ 196 cm , 163 cm , 131 cm , 98 cm และ 65 cm แต่ละความสูงจะตัดจำนวน 4 ท่อน โดยจะแบ่ง 2 ท่อนนำไปชุบสีกันสนิมและอีก 2 ท่อนไม่ชุบสีกันสนิม รวมจำนวน 20 ท่อน โดยการหาสัดส่วนที่เหมาะสมจากปัจจัยหลัก 3 อย่าง ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1.50 และปริมาณโฟม 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

Thesis A study of compressive strength of steel square hollow section column filled with cellular lightweight concrete

Student Mr. Chaloermkieat Yoosook Student ID. 60015008

Mr. Mananchai Disathaporn Student ID. 60015037

Mr. Adithep Thaphong Student ID. 60015054

Degree Bachelor of Engineering

Program Civil Engineering

Year 2019

Thesis Advisor Asst.Prof.Dr.Arthit Petchsasithon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Asst.Prof.Dr.Amphon Jarasjarungkiat

ABSTRACT

The objective of this article is to present the test results in terms of structural response and failure characteristics of steel pipe columns, square cross-sections, cellular aerated concrete under axial compression. And compare the maximum compressive strength of the tested column with the composite pole design equation to study the suitability of the equation The main parameters used in this study consist of the maximum compressive strength of Concrete and steel thickness and the square pillar cross-section size 25 x 25 mm., Thickness 1.2 mm. There are 5 levels of height 196 cm, 163 cm, 131 cm, 98 cm, and 65 cm. Each height will cut 4 pieces by dividing the 2 pieces to be plated. Rust-proof paint and the other 2 pieces do not coat rust-proof paint sum of 20 pieces by finding the suitable proportion from 3 main factors which are water-cement ratio 0.40, sand-cement ratio 1.50 and foam volume 30 percent by volume

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการวิจัยเรื่องการศึกษากำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน (A study of compressive strength of steel square hollow section column filled with cellular lightweight concrete) ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร หัวหน้าภาคสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ และ รศ. สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำการดำเนินโครงการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสมบัติ คุณมานิตย์ คุณเจี๊ยบ ที่คอยช่วยเหลือละอำนวยความสะดวกในการทดลองและอำนวยการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณในความ อนุเคราะห์ของสถานที่วิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งของข้าพเจ้า ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นายเฉลิมเกียรติ อยู่สุข

นายมนัญชัย ดิสถาพร

นายอดิเทพ ทัพโหง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป..... VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา..... 3
1.4 วิธีการศึกษา..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
2.1 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (CLC)..... 5
2.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด..... 5
2.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ (Tension test of steel plate)... 7
2.4 การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular Lightweight Concrete หรือ CLC)..... 9
2.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด..... 9
2.4.1.1 ความสัมพันธ์ภายใต้แรงกระทำสถิต..... 9
2.4.1.2 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า..... 10
2.5 การหาราคาต้นทุนคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า..... 11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 13
3.1 การออกแบบการทดลอง..... 13
3.2 การออกแบบส่วนผสม..... 13
3.3 วิธีการผลิตและการทดสอบคอนกรีตมวลเบา..... 15
3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ..... 15
3.3.1.1 วัสดุที่ใช้..... 15
3.3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ดำเนินการวิจัย..... 16
3.3.2 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า..... 17

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า..... 19
3.3.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน..... 19
3.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตแบบเซลลูล่า (CLC)..... 21
3.3.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตแบบเซลลูล่า..... 21
3.3.5 การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กกล่อง..... 22
3.3.5.1 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ..... 22
3.3.6 การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กกล่องกรอกCLC..... 24
3.3.6.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของเหล็กกล่องกรอกCLC..... 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของเหล็กกล่องไม่กรอกCLC..... 24
4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน..... 26
4.1.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน (Compressive Strength)..... 26
4.1.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน (Compressive Strength)..... 28
4.2 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 และ 28 วัน..... 29
4.2.1 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 วัน..... 29
4.2.2 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 28 วัน..... 30
4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ..... 32
4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 21 วัน แบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม..... 33
4.4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 21 วัน แบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม..... 33
บทที่ 5 สรุป..... 35
5.1 สรุปผล..... 35
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 37
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน..... 37
บรรณานุกรม..... 38
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 cm. ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า..... 38
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ารูปทรงกระบอกที่อายุ 7 และ 28 วัน..... 41

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ..... 45
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 21 วัน แบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม..... 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ราคาต้นทุนส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า..... 12

3.1 ขอบเขตของข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลอง..... 13

3.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร..... 15

3.3 อายุของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้..... 20

4.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อายุ 7 วัน..... 26

4.2 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อายุ 28 วัน..... 28

4.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 วัน..... 30

4.4 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 28 วัน..... 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กำลังรับแรงดึงของตัวอย่างทดสอบเหล็กรูปพรรณ..... 33
4.6 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม..... 34
5.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม..... 36

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดที่เวลาและความหนาแน่นต่างกัน..... 6
2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาณซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ (%)..... 7
2.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ..... 8
2.4 ตัวอย่างกราฟการดึงเหล็ก..... 9
2.5 แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดภายใต้แรงอัดที่กระทำแบบสถิต..... 10
2.6 แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดเฉพาะจุดหรือเฉพาะช่วงแคบๆ..... 11
3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1..... 15
3.2 น้ำสะอาด..... 15
3.3 มวลรวมละเอียด..... 16
3.4 น้ำยาผลิตฟองโฟม..... 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เครื่องผสมคอนกรีต (Mixer)..... 16
3.6 ปั๊มลม..... 16
3.7 ปั๊มน้ำ..... 17
3.8 ปืนฉีดฟองโฟม..... 17
3.9 หลอดแก้วสำหรับตวงน้ำ..... 17
3.10 เครื่องชั่ง..... 17
3.11 ตะแกรงร่อนทราย..... 17
3.12 แบบหล่อทรงลูกบาศก์..... 17
3.13 ฟองโฟมที่ใช้ในการผสม..... 19
3.14 ส่วนผสมที่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน..... 19
3.15 กรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า..... 19
3.16 ปาดให้เรียบและเสมอขอบ..... 19
3.17 การบ่มในน้ำ..... 19
3.18 การบ่มแบบแล็บซีลหัวท้ายเหล็ก..... 19
3.19 เครื่องทดสอบ..... 20
3.20 ลักษณะตัวอย่างการวิบัติ..... 20
3.21 แคปหัวด้วยกำมะถัน..... 21
3.22 ทำการติดตั้งอุปกรณ์..... 21
3.23 เครื่องทดสอบ..... 22
3.24 ลักษณะตัวอย่างการวิบัติ..... 22

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.25 เครื่องทดสอบ..... 22
3.26 ลักษณะตัวอย่างการวิบัติ..... 22
3.27 เพื่อเปรียบเทียบ ระหว่างชุบสีกันสนิมกับไม่ชุบสีกันสนิม..... 24
3.28 เพื่อเปรียบเทียบ ระหว่างกรอก CLC กับไม่กรอก CLC..... 25
4.1 กราฟแสดงอัตราส่วนผสมต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุครบ 7 วัน... 27
4.2 เนื้อภายในคอนกรีตมวลเบาจะมีฟองอากาศแทรกอยู่..... 28
4.3 กราฟแสดงอัตราส่วนผสมต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุครบ 28 วัน 29
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างอายุ 7 วัน..... 30
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 1 อายุ 28 วัน..... 31
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 2 อายุ 28 วัน..... 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 1..... 32
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 2..... 32
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 3..... 33
4.10 กราฟแสดงอัตราส่วนความชะลูดต่อกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิมที่อายุครบ 21 วัน..... 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาหลักปัญหาหนึ่งในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่คือใช้ระยะเวลาก่อสร้างมาก และทำให้ต้นทุนมีราคาสูงเนื่องจากต้องดำเนินงานเป็นลำดับ ขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การตั้งไม้แบบและค้ำยัน ผูกเหล็กเสริมเทคอนกรีต และรอให้คอนกรีตแข็งตัวจนมีกำลังเพียงพอจึงทำการถอดแบบซึ่งการก่อสร้างลักษณะนี้มักใช้ระยะเวลาก่อสร้างมากและทำให้ต้นทุนมีราคาสูง โดยเฉพาะระหว่างขั้นตอนการ เทคอนกรีตและถอดแบบหล่อคอนกรีต นอกจากนั้นการก่อสร้างดังกล่าวมักสิ้นเปลืองวัสดุและแรงงานมากกว่า รวมทั้ง ต้องใช้แรงงานที่มีฝีมือค่อนข้างสูง ไม่เช่นนั้นแล้วจะเกิดปัญหา อื่น ๆ ตามมา เช่น แบบหล่อไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด แบบรั่ว และแบบแตก ทำให้คอนกรีตไหลออกในขั้นตอนการเท เป็นต้น ส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการดำเนินการเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับทิศทางของเศรษฐกิจในปัจจุบันที่มีการแข่งขันกัน ในด้านราคาและความรวดเร็วในการดำเนินการ จากปัญหาที่กล่าวมาจึงเกิดการพัฒนารูปแบบการก่อสร้าง โดยเฉพาะการนำระบบก่อสร้างแบบสำเร็จรูปมาช่วยเสริมใน บางส่วนของโครงสร้าง เช่น คานสำเร็จรูป ผนังสำเร็จรูป และการใช้แบบหล่อสำเร็จรูปเป็นแบบหล่อให้กับโครงสร้าง และออกแบบให้รับแรงกระทำร่วมกับองค์อาคาร โดยไม่มีการ ถอดแบบหล่อดังกล่าวออกภายหลัง ตัวอย่างเช่น การใช้เหล็กกล่องเป็นแบบหล่อสำเร็จรูปถาวรของเสา หรือเสาท่อเหล็ก กรอกคอนกรีต (cellular lightweight concrete, CLC) เป็นต้น เสาดังกล่าวช่วยลดระยะเวลาในการ ก่อสร้างเมื่อเทียบกับระบบการก่อสร้างแบบหล่อในที่ และลดปัญหาด้านการขาดแคลนแรงงานได้เป็นอย่างดี โครงสร้างมีความสวยงามเนื่องจากใช้เหล็กกล่องหรือปลอกเหล็กเป็นแบบหล่อถาวรให้โครงสร้าง โดยเหล็กกล่องยังทำหน้าที่ร่วมกับแกนคอนกรีตหรือแกนคอนกรีตเสริมเหล็ก ในการรับแรงกระทำโดย อาศัยผลของ composite action ซึ่งส่งผลให้เสาดังกล่าวมี กำลังรับแรงกดอัดและความเหนียวสูงกว่าเสาเหล็กรูปพรรณ และเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้ยังช่วยให้เสามีความสามารถในการดูดซึมพลังงานได้มากก่อนที่จะเกิดการวิบัติ เหมาะสำหรับโครงสร้างที่อยู่ในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อแรงกระทำเนื่องจากแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตาม เสาเหล็กกล่องกรอกคอนกรีตที่ใช้ในปัจจุบัน ถูกสร้างขึ้นโดยใช้คอนกรีตปกติที่มีหน่วยน้ำหนักค่อนข้างมาก ดังนั้นหากสามารถใช้คอนกรีตน้ำหนักเบา เช่น คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (cellular lightweight concrete, CLC) น่าจะเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งสำหรับงาน ก่อสร้าง โดยคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีคุณสมบัติ เช่นเดียวกับคอนกรีตปกติ แต่อาจมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าตามปริมาณฟองอากาศที่ใส่ไปในกระบวนการผสม ลักษณะโพรง อากาศแบบปิดไม่ต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีตก่อให้เกิดผลดี เช่น น้ำหนักเบา ป้องกันความร้อน สามารถไหลเข้าแบบโดยไม่ต้องจี้ดีกว่าคอนกรีตปกติ อย่างไรก็ตาม คอนกรีตมวลเบา แบบเซลลูล่ายังมีข้อเสียบางประการคือ กำลังรับแรงอัดสูงสุด ของคอนกรีตสามารถผลิตได้ในค่าที่จำกัดเนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณฟองอากาศที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นการนำ คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับเหล็กกล่องจึงเป็นการ เพิ่มความแกร่งในการรับน้ำหนักของวัสดุ 2 ชนิดนี้ โดย ผลทดสอบที่ได้รับจากงานวิจัยนี้จะช่วยส่งเสริมและต่อยอดให้ เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมการรับแรงกดอัดและการวิบัติของเสาดังกล่าว ตลอดจนสามารถนำความรู้และความเข้าใจที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างใหม่ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมมากขึ้น

คอนกรีตมวลเบาในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาไปมากและได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในวงการก่อสร้างด้วยส่วนผสมที่สามารถหาได้ตามท้องตลาดทั่วไป ขั้นตอนการผสมที่ไม่ยุ่งยากเครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งคุณสมบัติเสมือนคอนกรีตสดแต่มีความพิเศษเฉพาะตัวและน้ำหนักที่เบากว่าคอนกรีตทั่วไปเพราะมีฟองอากาศเล็กๆเข้าไปแทรกในส่วนผสมร่วมกับซีเมนต์เพสต์ โดยคอนกรีตมวลเบาชนิดนี้จะเรียกว่า “Foam Aerated Concrete” หรือ “Cellular Lightweight Concrete”

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าถูกพัฒนาขึ้น ณ เมืองสต๊อกโฮม ประเทศสวีเดน ราวปี ค.ศ. 1900 เดิมทีเป็นที่รู้จักในนาม “gas concrete” ซึ่งใช้มากในวัสดุอาคารในแง่ของผลิตภัณฑ์ฉนวนความร้อน หลังสงครามโลกครั้งที่2 เทคโนโลยีได้ถูกเผยแพร่ในหลายประเทศอย่างรวดเร็ว จุดเด่นในการพัฒนาวัสดุนี้ในด้านของวิธีการและคุณภาพ จึงทำให้เป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานประเภท อิฐ วัสดุเติมช่องว่าง และงานถนน (Andrew & William, 1978)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของเหล็กกล่องที่กรอกคอนกรีต (cellular lightweight concrete, CLC) ขนาด 25 x 25 mm. หนา 1.2 mm. มีความสูง 5 ระดับ 196 cm , 163 cm , 131 cm , 98 cm และ 65 cm แต่ละความสูงจะตัดจำนวน 2 ท่อน โดยจะนำไปชุบสีกันสนิม รวมจำนวน 10 ท่อน
2) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของเหล็กกล่องที่กรอกคอนกรีต (cellular lightweight concrete, CLC) ขนาด 25 x 25 mm. หนา 1.2 mm. มีความสูง 5 ระดับ 196 cm , 163 cm , 131 cm , 98 cm และ 65 cm แต่ละความสูงจะตัดจำนวน 2 ท่อน โดยจะไม่นำไปชุบสีกันสนิม รวมจำนวน 10 ท่อน
3) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของเหล็กกล่องที่ไม่กรอกคอนกรีต (cellular lightweight concrete, CLC) ขนาด 25 x 25 mm. หนา 1.2 mm. มีความสูง 5 ระดับ 196 cm , 163 cm , 131 cm , 98 cm และ 65 cm แต่ละความสูงจะตัดจำนวน 2 ท่อน รวมจำนวน 10 ท่อน

4) เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมเหล็กกล่องชุบสีกันสนิมที่กรอกคอนกรีต(cellular lightweight concrete, CLC)กับพฤติกรรมเหล็กกล่องไม่ชุบสีกันสนิมที่กรอกคอนกรีต(cellular lightweight concrete, CLC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมเหล็กกล่องกรอกคอนกรีต(cellular lightweight concrete, CLC)กับพฤติกรรมเหล็กกล่องที่ไม่กรอกคอนกรีต(cellular lightweight concrete, CLC)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ศึกษาและทดสอบอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาในการออกแบบการทดลอง ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร รวมทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง โดยขอบเขตปัจจัยที่ใช้ควบคุมมีดังนี้

- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
- อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์
- ปริมาณฟองโฟม

2) คุณสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่

- กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

1.4 วิธีการศึกษา

1) ทบทวนงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา
2) ออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา
3) ทดลองผสมคอนกรีตมวลเบา
4) ทดสอบกำลังรับแรงอัด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้อัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาประเภท CLC ที่เหมาะสมสำหรับกรอกลงเหล็กกล่อง
2) ได้ใช้คอนกรีตมวลเบากรอกแทนคอนกรีต เนื่องจากมีน้ำหนักเบากว่าและเซ็ตตัวเร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงหลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกล่าวถึง cellular lightweight concrete, CLC การใช้คอนกรีตมวลเบาชนิดเติมอากาศหรือคอนกรีตพรุน (Aerated Concrete) สำหรับงานงานกอสร้างในประเทศไทยเริ่มมีบทบาทในช่วงปีพ.ศ. 2537 ภายหลังการประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในปี พ.ศ. 2535 เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาชนิดนี้มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าอิฐมอญและคอนกรีตทั่วไปจึงถูกนำมาใช้ในการผลิตบล็อกคอนกรีตสำหรับก่อผนังอาคารอีกทั้งบล็อกคอนกรีตมวลเบายังช่วยลดน้ำหนักผนังอาคารลงได้มากดังนั้นคอนกรีตมวลเบาจึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการก่อสร้างอาคารที่ต้องการประหยัดพลังงานโดยคอนกรีตพรุนชนิด AAC ได้ถูกนำมาใช้ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 โดยบริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดัคส์ จำกัด (มหาชน) สำหรับคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (CLC) ที่มีข้อได้เปรียบคอนกรีตมวลเบาแบบ AAC ทั้งในแง่กระบวนการผลิตและการลงทุนได้มีการนำมาใช้ในประเทศไทยเมื่อประมาณ 2 ปีที่ผ่านมาเท่านั้นข้อดีอีกประการของการใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่านอกเหนือจากการประหยัดพลังงานและลดน้ำหนักสิ่งก่อสร้างคือไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบหรือหินในการผลิตซึ่งในปัจจุบันหินมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนและราคาสูงขึ้นอีกทั้งการผลิตหินยังก่อให้เกิดมลภาวะจากฝุ่นอีกด้วยน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตสามารถทำได้โดยใช้คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete) โดยปกติแล้วคอนกรีตมวลเบาจะมี 2 ชนิดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่ใช้ผลิตชนิดแรกได้แก่คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา (Lightweight Aggregate Concrete) ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมน้ำหนักเบาแทนการใช้มวลรวมปกติและชนิดที่สองได้แก่คอนกรีตพรุน (Aerated Concrete) ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้การเติมฟองอากาศเข้าสู่เนื้อคอนกรีตแทนการใช้มวลรวมหยาบหรือหินข้อดีของการใช้คอนกรีตพรุนคือความเป็นฉนวนและความทนไฟของเนื้อคอนกรีตเนื่องจากโพรงอากาศขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ภายในดังนั้นการใช้คอนกรีต พรุนในการทำผนังอาคารจะช่วยป้องกันปริมาณความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร (มีค่า OTTV ต่ำ) เสมือนเป็นฉนวนกันความร้อนจากภายนอกอาคารช่วยลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้ทั้งนี้คอนกรีตพรุนยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามกรรมวิธีการผลิตกล่าวคือประเภทแรกจะใช้การผสมของปูนซีเมนต์ทรายปูนขาวน้ำและสารกระจายฟองอากาศแล้วผ่านการอบไอน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงด้วยเครื่องจักรที่มีมาตรฐาน (โดยคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากกระบวนการผลิตนี้เรียกว่า Autoclaved Aerated Concrete หรือ AAC) ซึ่งมีค่าการลงทุนที่สูงมากส่วนประเภทที่สองนั้นเป็นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular Lightweight Concrete หรือ CLC) โดยใช้การผสมของปูนซีเมนต์ทรายน้ำร่วมกับโฟมเหลว (Pre-formed Foam) ซึ่งเป็นตัวเพิ่มฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต (คอนกรีตชนิดนี้บางครั้งเรียกว่าโฟมคอนกรีต-Foamed Concrete) ซึ่งคอนกรีตมวลเบาแบบ CLC มีข้อได้เปรียบคอนกรีตมวลเบาแบบ AAC ในแง่ที่ไม่ต้องผ่านการอบไอน้ำภายใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิและความดันสูงทำให้การลงทุนค่อนข้างต่ำอีกทั้งยังสามารถพัฒนากรรมวิธีการผลิตได้เองโดยไม่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีการผลิตจากต่างประเทศ

คอนกรีตมวลเบา คือ ผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังด้วยคุณสมบัติพิเศษที่มีน้ำหนักเบาและสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกถึง 4 เท่าและดีกว่าอิฐมอญ 6-8 เท่าทำให้ประหยัดการใช้พลังงานทนต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูงสามารถกันไฟได้ประมาณ 1, 100 องศาเซลเซียส (นิตย์ รดี ดอเลาะ, 2552) อิฐมวลเบาความจริงไม่ใช่อิฐแต่เป็นคอนกรีตที่ทำมาจากปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์โดยใช้เทคนิคเติมสารเคมีให้คอนกรีตพองฟูมีรูพรุนเล็กๆเกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตทำให้มีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนแบบเดียวกับโฟมซึ่งจะเรียกง่ายๆว่า “โฟมคอนกรีต”

2.1 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (CLC)

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular Lightweight Concrete หรือ CLC) คือคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ทรายน้ำและโฟมเหลว (Pre-formed Foam) ซึ่งเป็นตัวเพิ่มฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตโดยที่ไม่มีส่วนประกอบของมวลรวมหยาบหรือหินซึ่งฟองอากาศเหล่านี้จะสลายไปเมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีตสิ้นสุดลงเหลือไว้เพียงช่องว่างอากาศขนาดเล็กสม่ำเสมอจำนวนมากมายภายในเนื้อคอนกรีตดังนั้นคอนกรีตที่ได้จึงมีความพรุนสูงและมีน้ำหนักเบาโดยที่คุณสมบัติต่าง ๆ ทั้งคุณสมบัติทางวิศวกรรมคุณสมบัติด้านกำลังและคุณสมบัติด้านความคงทนจะแปรเปลี่ยนตามปริมาณช่องว่างอากาศหรือความหนาแน่นของตัวคอนกรีตนั่นเองการประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาสำหรับเป็นวัสดุก่อสร้างเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในต่างประเทศเป็นเวลาหลายสิบปีแล้วอย่างไรก็ตามองค์ความรู้เกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบาถูกจำกัดไว้เป็นลิขสิทธิ์เฉพาะและไม่ได้ถูกนำออกมาเปิดเผยในเชิงวิชาการสู่สาธารณะชนคอนกรีตมวลเบาปัจจุบันนิยมใช้ในงานก่อสร้างผนังอาคารและอิฐบล็อกปูพื้นเนื่องจากมีน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีจึงสามารถการใช้พลังงานลงได้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular Lightweight Concrete; CLC) เป็นคอนกรีตที่ผลิตโดยวิธี Pre-formed foam คือการสร้างฟองโฟมหรือฟองอากาศปริมาณสูงการค่อยฉีดโฟมเหลวเข้าไปผสมกับมอร์ต้าร์ซึ่งเป็นกระบวนการเติมฟองอากาศเข้าสู่เนื้อคอนกรีตเพื่อทำหน้าที่แทนที่มวลรวมเมื่อคอนกรีตแข็งตัวเนื้อคอนกรีตที่ได้จะมีรูพรุนมากและมีน้ำหนักเบาการผลิตคอนกรีตโดยวิธีนี้สามารถควบคุมกระบวนการเกิดโพรงอากาศที่แทรกภายในคอนกรีตได้ดีและใช้กันอย่างแพร่หลาย (Panesar, D. K., 2013)

2.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การศึกษานี้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและมอร์ต้าร์เปรียบเทียบที่อายุ 7 และ 28 วันเพื่อให้ทราบแนวโน้มการพัฒนากำลังรับแรงอัดสำหรับการทดสอบนี้จะใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement-Mortars (Using 2-in. or [50-mm]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cube Specimens) โดยก่อนนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบให้ทำการเช็ดตัวอย่างที่เปียกน้ำให้แห้ง (ชิ้น) เพื่อขจัดน้ำและเม็ดทรายหรือสิ่งที่ติดผิวมอร์ต้าร์ออกเลือกด้านที่เรียบที่สุด 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกันเพื่อรับแรงจากเครื่องทดสอบควบคุมเครื่องทดสอบให้มีน้ำหนักด้วยอัตราคงที่ประมาณ 90-180 กิโลกรัมต่อวินาทีจนตัวอย่างวิบัติบันทึกค่าน้ำหนักประลัยของตัวอย่าง

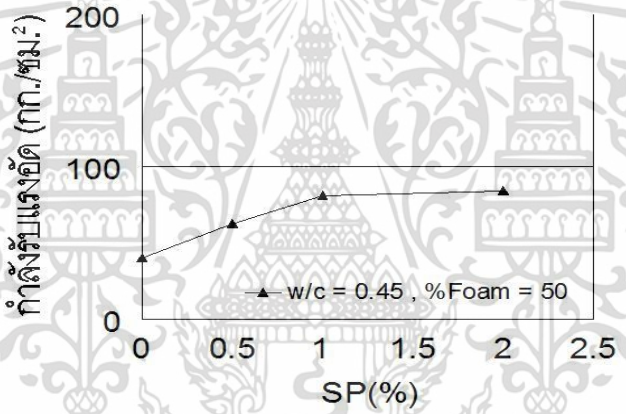
กำลังรับแรงอัดเป็นค่าที่มีบทบาทอย่างซึ่งกำลังอัดของของมอร์ต้าร์นี้ขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้าร์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแงและความพรุนจะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ากำลังมอร์ต้าร์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของมวลรวมเช่นการเปลี่ยนแปลงขนาดคละปริมาณกำลังลักษณะขนาดใหญ่สุดการดูดซึมและแร่ธาตุต่างๆจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก

ธนภร ทวีวุฒิ และ นน แสงเทียน (2558) ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7,14,28 และ 56 วันของตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานที่หน่วยน้ำหนักออกแบบเท่ากับ 800, 1000,1200,1400,1600 และ 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งแนวโน้มกำลังรับแรงอัดขอตัวอย่างทดสอบที่อายุครบ 7 วันมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.9 เท่า, ที่อายุ 14 วันมีค่าประมาณ 0.8-0.99 เท่าและที่อายุ 56 วันมีค่าประมาณ 1.03-1.25 เท่าของกำลังรับแรงอัดที่อายุครบ 28 วันโดยแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดที่เวลาและความหนาแน่นต่างกันแสดงดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดที่เวลาและความหนาแน่นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฤษณ์ กิ่งโก้ (2553) ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าผสมสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ที่มีความหนาแน่นระหว่างความหนาแน่น 950-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุครบ 7 วันกรณีที่ไม่ผสมสารซุปเปอร์พลาสติกไซเซอร์จะมีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 40,70 และ 115 กก./ซม^{2}ที่น้ำหนัก 1,200 , 1,400 และ 1,600 กก./ม^{3}ตามลำดับและเมื่อผสมสารซุปเปอร์พลาสติกไซเซอร์ 1% ในส่วนผสมคอนกรีตส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นใน 77,144 และ 185 กก./ซม^{2}โดยที่หน่วยน้ำหนัก 1,200 กก./ม^{3}มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.45 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ที่ 1.5 และเปอร์เซ็นต์โฟมที่ 50%, หน่วยน้ำหนัก 1. 400 กก./ม^3 มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.50 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ที่ 2 และเปอร์เซ็นต์โฟมที่ 40% และหน่วยน้ำหนัก 1,600 กก./ม^{3}มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.50 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ที่ 2.5 และเปอร์เซ็นต์โฟมที่ 30% และผลการทดลองพิสูจน์ให้เห็นว่าคอนกรีตมวลเบาที่ทำการผสมสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ทำให้ตัวอย่างทดสอบมีความสามารถทำงานได้ดีและส่งผลให้คุณสมบัติในการรับกำลังอัดดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาณซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ (%)

2.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ(Tension test of steel plate)

Mr.Samit Sorgpiriyakit (2548) ได้ศึกษาการหาค่า Modulus of Elasticity ของเหล็กรูปพรรณในการทดสอบโดยการดึงเหล็กเสริม ในขณะที่เกิดความเค้นดึง (Tensile stress) ตัวอย่างทดสอบจะยืดออกไปเรื่อยๆ ตามขนาดของความเค้นที่เพิ่มขึ้น ระยะที่ยืดออกต่อหน่วยความยาวเดิมของตัวอย่างเราเรียกว่าความเครียดดึง (Tensile strain)

ความเค้น (Stress, σ) = แรงดึง / พื้นที่หน้าตัด = P/A

ความเครียด (Strain, ε) = ระยะยืด / ความยาวตั้งต้น = ΔL/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ

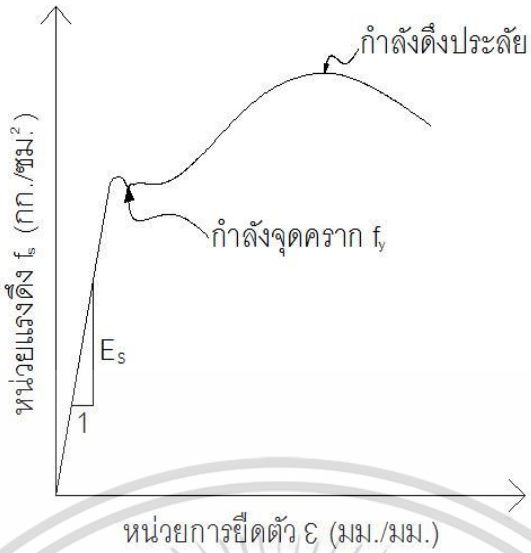
ในการทดสอบโดยการดึงในขณะที่เกิดความเค้นดึง ตัวอย่างทดสอบจะยืดออกไปเรื่อยๆ ตามขนาดของความเค้นที่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด แสดงได้ในกราฟ ความเค้น(แกนตั้ง) กับความเครียด (แกนนอน) ข้างต้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ช่วงแรก ความสัมพันธ์จะเป็นสัดส่วนโดยตรง ขอบเขตความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ในช่วงที่เป็นเส้นตรงอยู่เรียกว่า พิกัดเส้นตรง (Proportional limit) และในช่วงนี้เหล็กเสริมมีคุณสมบัติเป็นวัสดุยืดหยุ่น (Elastic) ซึ่งหมายถึงไม่มีการเสียรูปถาวรเกิดขึ้น ค่าความเค้นสูงสุดของช่วงยืดหยุ่นนี้เกิดขึ้นที่พิกัดยืดหยุ่น (Elastic limit) และค่าความชันของกราฟในช่วงนี้คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น(Modulus of elasticity)

ช่วงที่สอง เมื่อความเค้นสูงกว่าพิกัดเส้นตรง เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะไม่เป็นเส้นตรง โดยความเครียดจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าเดิม และที่จุดๆ หนึ่งความเครียดเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเค้นไม่เพิ่มขึ้นเลย ตำแหน่งดังกล่าวเรียกว่า จุดคราก (Yield point)และความเค้นดังกล่าวเรียกว่า ความเค้นคราก (Yield stress)

ช่วงที่สาม เมื่อความเค้นเพิ่มขึ้นถึงจุดครากและแรงดึงยังคงกระทำต่อไปความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และถึงระดับค่าหนึ่งความเค้นจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งเรียกพฤติกรรมนี้ว่า แกร่งขึ้นด้วยความเครียด (Strain hardening) ให้แรงกระทำต่อไปความเค้นจะเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง ซึ่งมีค่าสูงสุดเรียกว่า กำลังประลัย (Ultimate strength) จะเกิดคอคอดและขาดออกจากกันในตำแหน่งดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟการดึงเหล็ก

เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Modulus of Elasticity, } E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}$$

2.4 การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular Lightweight Concrete หรือ CLC)

วนิดา สีสังข์ (2557) ได้ศึกษาหาโมดูลัสยืดหยุ่น การหดตัว การคืบ และ การล้าของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจะเสียรูปภายใต้แรงกระทำ แรงกระทำอาจอยู่ในรูปของหน่วยแรงหรือความเค้น(Stress) ส่วนการเสียรูปอยู่ในรูปของความเครียด (strain) นอกจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าต้องสามารถรับแรงการกระทำแล้ว การเสียรูปยังเป็นตัวกำหนดการออกแบบโครงสร้างและลักษณะการใช้งาน ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดมีความสำคัญในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอีลาสติกหรือช่วงยืดหยุ่น นอกจากนี้คอนกรีตยังเสียรูปในลักษณะอื่น เช่น การหดตัว การคืบ และการล้า เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีความสำคัญเช่นกันภายใต้อายุการใช้งานของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

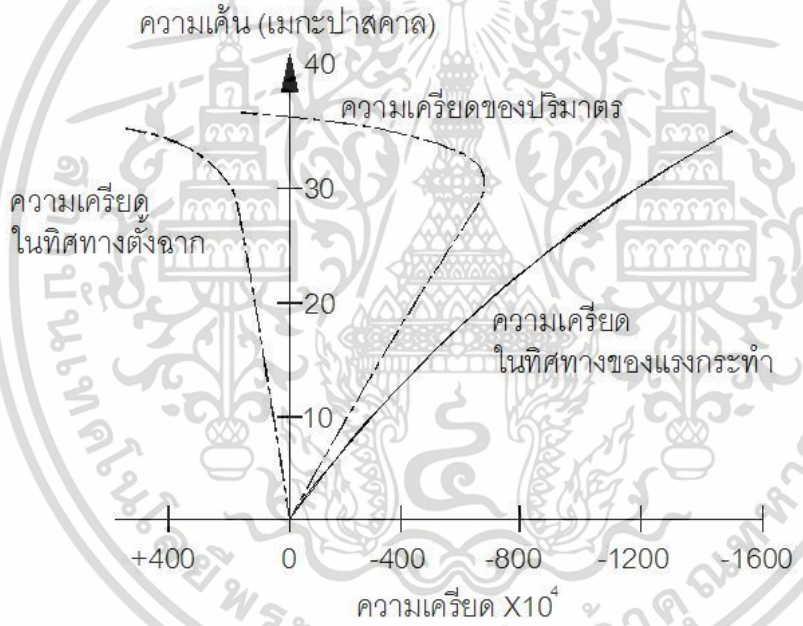
2.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

2.4.1.1 ความสัมพันธ์ภายใต้แรงกระทำสถิต

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าภายใต้แรงกระทำจะเสียรูป รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดภายใต้แรงอัดที่กระทำแบบสถิต ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดในทิศทางของแรงกระทำเป็นความสัมพันธ์ที่ใช้งานทั่วไป ในช่วงแรกของการให้แรงกระทำต่อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในทิศทางของแรงกระทำมีลักษณะเป็นเส้นค่อนข้างตรง ในช่วงต้นเมื่อแรงกระทำต่อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีค่าต่ำพบว่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียหายของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีไม่มากและความเสียหายมักเกิดในรูปของรอยแตกร้าวเล็กๆ แต่เมื่อแรงกระทำสูงขึ้นรอยแตกร้าวจะเกิดและขยายใหญ่มากขึ้น คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่านอกจากจะหดตัวภายใต้แรงอัดแล้วยังขยายตัวด้านข้างด้วย แรงอัดที่ใส่ในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทำให้เกิดแรงดึงในทิศทางตั้งฉากและเกิดความเครียดดึง ซึ่งในช่วงต้นมีขนาดเล็กกว่าความเครียดอัดทำให้ปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าลดลง เมื่อแรงอัดเพิ่มขึ้นการขยายตัวด้านข้างจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น เมื่อใส่แรงเพิ่มขึ้นอีกพบว่าการขยายตัวด้านข้างที่มากขึ้นทำให้ปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเริ่มที่จะขยายตัวในช่วงสุดท้าย การใส่แรงอัดเพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดโค้งมากขึ้นมีการขยายตัวด้านข้างเกิดมากขึ้น ทำให้รอยแตกร้าวยิ่งเกิดมากขึ้นและเชื่อมโยงกันนำไปสู่การวิบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในที่สุด



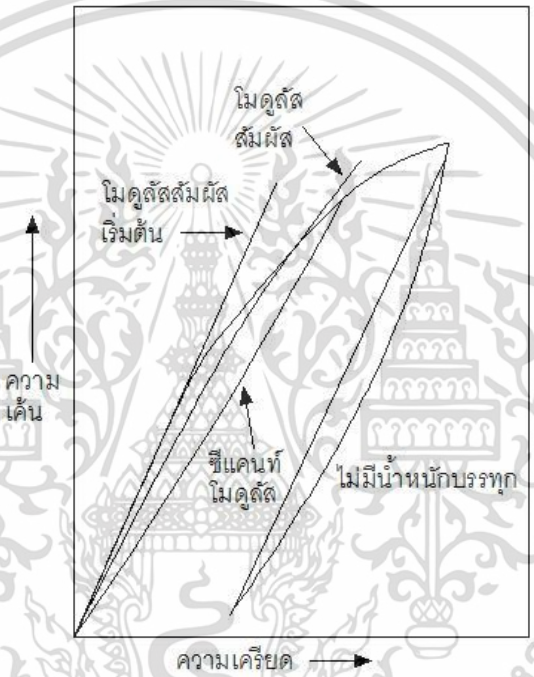
รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดภายใต้แรงอัดที่กระทำแบบสถิต

2.4.1.2 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงหรือเกือบเป็นเส้นตรง เรียกว่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าหรือโมดูลัสยืดหยุ่นของยัง (Young's modulus of elasticity of concrete) ส่วนของความสัมพันธ์ที่ยืดหยุ่นแท้จริงจะเป็นส่วนที่ค่อนข้างตรง ซึ่งเป็นเส้นสัมผัสของความเค้นและความเครียดที่จุดเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งไม่ค่อยมีประโยชน์ในการใช้งานคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ในบางครั้งอาจต้องใช้ค่าโมดูลัสของเส้นสัมผัส (Tangent modulus) ซึ่งบอกความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะจุดหรือเฉพาะช่วงแคบๆแต่ในการใช้งานคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่านิยมใช้ซีแคนท์หรือคอร์ดโมดูลัส (Secant or Chord modulus) ซึ่งเป็นค่าโมดูลัสที่วัดจากจุดเริ่มต้นถึงความเค้นที่ต้องการในทางปฏิบัติเมื่อเริ่มให้แรงกระทำต่อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเพียงเล็กน้อย คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจะเกิดความเครียดจำนวนหนึ่งจากการบิดของรอยแตกเดิมที่มีอยู่ ดังนั้นมาตรฐานทั่วไปจึงเริ่มวัดค่าโมดูลัสที่จุดที่มีแรงกระทำหรือความเครียดต่ำจำนวนหนึ่ง เช่น มาตรฐาน BS 1881 ระบุให้วัดที่ความเค้น 0.5 เมปาสคาลถึงความเค้นเท่ากับร้อยละ 33 ของความเค้นประลัย ส่วนมาตรฐาน ASTM C469 ให้วัดที่ความเครียด 0.00005 ถึงความเค้นเท่ากับร้อยละ 40 ของความเค้นประลัย



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดเฉพาะจุดหรือเฉพาะช่วงแคบๆ

2.5 การหาราคาต้นทุนคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า

ณัฐวุฒิ (2558) ได้ศึกษาการหาค่าส่วนผสมที่เหมาะสมจำเป็นต้องทราบรูปแบบของสมการเป้าหมาย (Objective Function) ที่สอดคล้องกับรูปแบบของปัญหาหรืออสมการขอบเขตสำหรับงานวิจัยนี้สมการเป้าหมายได้จากการกำหนดราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าซึ่งคำนวณได้จากน้ำหนักส่วนผสมหรือปริมาตรสำหรับฟองโฟมคูณด้วยราคาต่อ 1 กิโลกรัมหรือต่อลิตรสำหรับฟองโฟมซึ่งเป็นราคาตามท้องตลาดในปัจจุบันดังแสดงในตารางที่ 2.1และราคารวมต่อส่วนผสม 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 ราคาต้นทุนส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

Mix Proportion of Lightweight Concrete	Unit Cost (Bath)
Portland Cement (kg)	3.00
Water Content (kg)	0.01
Sand (kg)	0.16
Foam (liter)	0.30

หมายเหตุ : ราคานี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน Foam คือโฟมละลายน้ำที่ผ่านกระบวนการอัดแรงดันเกิดเป็นฟองโฟมราคาขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาอัตราส่วนผสมกับน้ำและเครื่องผลิตฟองโฟม

Cost = 3.00 Cement + 0.01 water + 0.16 Sand + 0.30 Foaming (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือและวิธีดำเนินงานวิจัย เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนการผสมอย่างละเอียด และขั้นตอนการทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ออกแบบการทดลองและคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยใช้จำนวนข้อมูล 6 ตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ข้อมูล
2) ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ที่มีคุณสมบัติของส่วนผสมภายใต้เงื่อนไขตามเกณฑ์มาตรฐานของวิศวกรรมกำหนดสมการเป้าหมายโดยใช้ราคาส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา
3) ทดสอบคุณสมบัติกำลังอัดในแนวแกน

3.1 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมเหล็กกล่องชุบสีกันสนิมที่กรอกคอนกรีต (cellular lightweight concrete, CLC)กับพฤติกรรมเหล็กกล่องไม่ชุบสีกันสนิมที่กรอกคอนกรีต(cellular lightweight concrete, CLC) โดยใช้ 3 ปัจจัยหลัก อันได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1.50 และปริมาณโฟม 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรดังแสดงในตารางที่ 3.1 ทำการผสมจนครบทุกปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ 10 การทดลองแต่ละการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ตัวอย่างทดสอบที่ตัวอย่างมีอายุ 7 และ 28 วันตัวอย่างลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. มี 4 ตัวอย่างและตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม. มี 6 ตัวอย่างรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 10 ตัวอย่างจากนั้นจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

ตาราง 3.1 ขอบเขตของข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ควบคุม	1
น้ำต่อซีเมนต์ (W / C)	0.40
ทรายต่อซีเมนต์ (S / C)	1.50
ปริมาณโฟม (%)	30

3.2 การออกแบบส่วนผสม

ในการศึกษานี้ จะใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งจะกำหนดอัตราส่วนผสมก่อนแล้วจึงไปหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตหลังจากได้อายุตามที่ต้องการต่าง จากการออกแบบส่วนผสมโดยวิธีของสถาบันคอนกรีตอเมริกา (ACI) ที่เป็นการหาอัตราส่วนผสมจากค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับสัดส่วนที่ใช้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.5 ปริมาณฟองโฟมเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรการคำนวณส่วนผสมมีวิธีการดังนี้

ตัวอย่าง อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.5 และปริมาณพองโฟมเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์เท่ากับ 3.15 ความถ่วงจำเพาะของทรายเท่ากับ 2.60

1) หาปริมาตรของแต่ละส่วนผสมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

$$V_s + V_w + V_c + V_f = 1.00$$

โดย V_s คือ ปริมาตรของทราย

V_w คือ ปริมาตรของน้ำ

V_c คือ ปริมาตรของซีเมนต์

V_f คือ ปริมาตรของฟองโฟม

เมื่อ $V_f = 0.30$

$V_s = 3.15 \times 1.50\ V_c / 2.60 = 1.8173\ V_c$

$V_w = 3.15 \times 0.40\ V_c / 1.00 = 1.2600\ V_c$

แทนค่าต่างๆในสมการข้างต้นจะได้

$$1.82\ V_c + 1.26\ V_c + V_c + 0.3 = 1.00$$

แก้สมการจะได้ $V_c = 0.1717$, $V_s = 0.3120$, $V_w = 0.2163$

หรือสรุปได้ว่า

ปริมาตรของโฟม = 0.3000 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรของซีเมนต์ = 0.1717 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรของทราย = 0.3120 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรของน้ำ = 0.2163 ลูกบาศก์เมตร

2) หาน้ำหนักของแต่ละส่วนผสมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักของซีเมนต์ = 0.1717 x 3,150 = 541 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักของทราย = 0.3120 x 2,600 = 811 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักของน้ำ = 0.2163 x 1,000 = 216 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อได้น้ำหนักส่วนผสมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรแล้วให้คำนวณหาปริมาตรของแบบหล่อที่ใช้แล้วจึงแปลงอัตราส่วนผสมต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรเป็นปริมาตรตามที่ต้องการคำนวณทุกตัวแปรจะได้อัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาดังแสดงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

Mix	Mix number	W/C ratio	S/C ratio	Foam (%)	Cement kg/m^3	Sand kg/m^3	Water kg/m^3	Foam Liter/m^3
มอร์ต้าร์ผสมโฟม	1	0.40	1.50	30	541	811	216	300

3.3 วิธีการผลิตและการทดสอบคอนกรีตมวลเบา

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1.1 วัสดุที่ใช้มีดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แสดงในรูปที่ 3.1
2) น้ำสะอาด ปราศจากสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรียวัตถุ หรือสารอื่นในปริมาณที่ทำให้คุณภาพส่วนผสมค่อยลงไปสามารถใช้น้ำประปาทำการทดลองได้แสดงในรูปที่ 3.2
3) วัสดุมวลรวมแสดงในรูปที่ 3.3 ต้องเป็นมวลรวมละเอียดได้แก่ทรายละเอียดที่แข็งคงทนสะอาดปราศจากสิ่งสกปรกหรือวัสดุอันไม่พึงประสงค์ใดๆปะปนอยู่ซึ่งอาจทำให้คุณภาพส่วนผสมด้อยลงไปโดยจะต้องร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ร้อยละ 100 และมีส่วนผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 50 โดยนำทรายวางพักในร่มเพื่อสัมผัสความชื้นในอากาศเป็นระยะเวลา 1 วันให้มวลรวมละเอียดอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-Surface-Dry, SSD)
4) น้ำยาผลิตฟองโฟมสำหรับผลิตอิฐมวลเบา, คอนกรีต CLC (foaming agent) แสดงในรูปที่ 3.4 เนื้อโฟมต้องมีความละเอียดความหนาแน่นสูงอัตราการขยายตัวสูงอัตราการยุบตัวต่ำ ลักษณะเนื้อโฟมที่ดีต้องไม่แยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีในการทดลองควรพักโฟมไว้ให้น้อยที่สุดเพื่อคุณภาพของโฟมที่ใช้ผสมกับมอร์ต้าร์และไม่ควรใช้เวลาในการผสมนานเพื่อป้องกันไม่ให้ฟองอากาศแตกตัวได้ซึ่งจะทำให้ปริมาณฟองอากาศในส่วนผสมลดลงได้

รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1

รูปที่ 3.2 น้ำสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 มวลรวมละเอียด

รูปที่ 3.4 น้ำยาผลิตฟองโฟม

3.3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ดำเนินการวิจัย

1) เครื่องผสมคอนกรีต (Mixer) แสดงในรูปที่ 3.5

2) ปั๊มลมสำหรับอัดอากาศเข้าไปยังตัวปืนฉีดโฟมแสดงในรูปที่ 3.6

3) ปั๊มน้ำสำหรับดูดน้ำยาผลิตฟองโฟมแสดงในรูปที่ 3.7

4) ปืนสำหรับฉีดฟองโฟมมีขนาดที่เหมาะสมในการใช้งานไม่มีการรั่วซึมสามารถเชื่อมต่อกับสายเครื่องปั๊มอัดอากาศและสายเครื่องปั๊มน้ำยาผลิตฟองโฟมได้แสดงในรูปที่ 3.8

5) หลอดแก้วสำหรับตวงน้ำสามารถวัดปริมาตรได้สูงสุด 500 มิลลิลิตรแสดงในรูปที่ 3.9

6) เครื่องชั่งความละเอียด 0.001 กรัมแสดงในรูปที่ 3.10

7) ตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) และตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) แสดงในรูปที่ 3. 11

8) แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐานขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตรแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.5 เครื่องผสมคอนกรีต (Mixer)

รูปที่ 3.6 ปั๊มลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

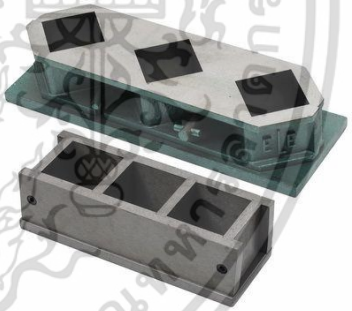
รูปที่ 3.7 ปั๊มน้ำ

รูปที่ 3.8 ปืนฉีดฟองโฟม

รูปที่ 3.9 หลอดแก้วสำหรับตวงน้ำ

รูปที่ 3.10 เครื่องชั่ง

รูปที่ 3.11 ตะแกรงร่อนทราย



รูปที่ 3.12 แบบหล่อทรงลูกบาศก์

3.3.2 ขั้นตอนการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

1) เตรียมส่วนผสมตามสัดส่วนที่ออกแบบไว้

2) เตรียมเครื่องผลิตโฟมเหลวเพื่อเป็นส่วนผสมกับมอร์ต้าร์โดยมีเครื่องปั้มลมและหัวฉีดโฟมเหลว โดยผสมน้ำยาโฟมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1 ต่อ 30 ตามคำแนะนำของผู้ผลิตดังแสดงในรูป 3.13

3) ใส่น้ำยาสร้างโฟมกับน้ำสะอาดที่ผสมลงในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ใส่ปูนซีเมนต์ลงในโม่ผสมจนหมดจากนั้นเดินเครื่องผสมเพื่อกวนส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำให้เข้ากัน

5) เมื่อกวนปูนซีเมนต์และน้ำครบ 30 วินาทีจึงใส่ทรายลงในโม่ผสมภายในเวลา 30 วินาที

6) ตวงโฟม 10 ลิตร ตามสูตรที่คำนวณไว้ แล้วเทลงโม่ผสม แสดงในรูปที่ 3.14

7) นำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ผสมเสร็จเทลงแบบหล่อโดยใช้เวลาทั้งหมดในการหล่อลงแบบไม่เกิน 2 นาที 30 วินาทีภายหลังจากการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเสร็จสิ้นเพื่อลดปัญหาการระเหยของน้ำออกจากส่วนสมใช้เกรียงเหล็กตักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าใส่แบบหล่อชิ้นแรกโดยมีความหนาประมาณ 25 มิลลิเมตรซึ่งเป็นความหนาครึ่งหนึ่งของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าแสดงในรูปที่ 3.15

8) กระทุ้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าด้วยไม้กระทุ้งจำนวน 32 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่างโดยแบ่งการกระทุ้งเป็น 4 รอบๆ ละ 8 ครั้งแต่ละรอบการกระทุ้งจะตั้งฉากซึ่งกันและกันเมื่อกระทุ้งชั้นที่ 1 เสร็จสิ้นทุกตัวอย่างแล้วจึงใส่คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าชั้นที่ 2 ซึ่งมีความหนาประมาณ 25 มิลลิเมตรจากนั้นกระทุ้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเช่นเดียวกับกรณีของชั้นแรกเมื่อเสร็จสิ้นการกระทุ้งแล้วคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าควรมีความสูงกว่าขอบด้านบนของแบบเล็กน้อยให้ใช้มือดันคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ล้นแบบเข้าไอยู่ในแบบใช้เกรียงเหล็กปาดผิวหน้าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าให้เรียบและเสมอกับขอบแบบหล่อซึ่งจะได้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ค่อนข้างเรียบและสูงเสมอกับแบบหล่อแสดงในรูปที่ 3.16

9) เมื่อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีอายุ 24 ชั่วโมงจึงถอดแบบออกเพื่อนำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าไปบ่มในน้ำดังแสดงในรูป 3.17 เพื่อป้องกันไม่ให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าละลายออกมาซึ่งจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าลดลง ส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่กรอกลงในเหล็กกล่องจะใช้วิธีการบ่มแบบแล็บซีลหัวท้ายเหล็กกล่องดังแสดงในรูป 3.18

10) นำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ได้ไปบ่มในน้ำเพื่อทำการทดสอบกำลังอัด ที่อายุ 7 วันและ 28 วัน นำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่กรอกลงในเหล็กกล่องทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 ฟองโฟมที่ใช้ในการผสม

รูปที่ 3.14 ส่วนผสมที่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 3.15 กรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

รูปที่ 3.16 ปาดให้เรียบและเสมอขอบ

รูปที่ 3.17 การบ่มในน้ำ

รูปที่ 3.18 การบ่มแบบแล็บซีลหัวท้ายเหล็ก

3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

3.3.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน

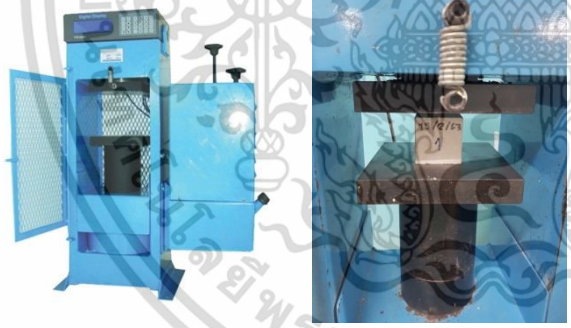
การศึกษานี้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน สำหรับการทดสอบนี้จะใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109 Standard Test Method for Compressive strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.3 อายุของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

อายุที่ทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้
24 ชั่วโมง	± 30 นาที
3 วัน	± 1 ชั่วโมง
7 วัน	± 3 ชั่วโมง
28 วัน	± 12 ชั่วโมง

ก่อนนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ ให้ทำการเช็ดตัวอย่างที่เปียกน้ำให้แห้ง(ชื้น) เพื่อขจัดน้ำและเม็ดทรายหรือสิ่งที่ติดผิวหน้าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าออก ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของตัวอย่างทดสอบ เลือกด้านที่เรียบที่สุด 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกันเพื่อรับแรงจากเครื่องทดสอบ หากด้านที่เลือกไม่เรียบพอจะส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าอย่างมาก จากนั้นวางตัวอย่างทดสอบบนเครื่องทดสอบ นำแผ่นแบริ่งวางบนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าให้อยู่ตรงศูนย์กลางเครื่อง และให้แน่ใจว่าส่วนของแผ่นให้แรงที่ติดอยู่กับเครื่องทดสอบสามารถเคลื่อนไหวได้ เพื่อปรับระดับให้เป็นระนาบขณะทำการแสดงในรูปที่ 3.19 ตั้งค่าเครื่องให้น้ำหนักกดแก่ตัวอย่างทดสอบด้วยอัตราคงที่จนตัวอย่างวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักประลัยของตัวอย่าง โดยลักษณะตัวอย่างการวิบัติของตัวอย่างทดสอบแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบ

รูปที่ 3.20 ลักษณะตัวอย่างการวิบัติ

การคำนวณกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าสามารถคำนวณดังสมการที่ (3.1)

$$S = \frac{P}{A} \qquad (3.1)$$

เมื่อ S คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

P คือ แรงอัดประลัยที่ทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าวิบัติ (กิโลกรัม)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุต่างๆ ว่ามีค่าเท่าใด หากมีผลการทดสอบตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่งจาก 3 ตัวอย่าง มีค่าแตกต่างเกินกว่าร้อยละ 8.7 ให้ตัดผลการทดสอบของตัวอย่างนั้นออก และใช้ 2 ตัวอย่างที่เหลือหาค่าเฉลี่ย หากผลการทดสอบจาก 2 ตัวอย่างยังเกินกว่าค่าที่ยอมให้ข้างต้น ให้ยกเลิกผลการทดสอบครั้งนี้ แล้วทำการหล่อตัวอย่างใหม่เพื่อทำการทดสอบอีกครั้ง

3.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตแบบเซลลูล่า (CLC)

3.3.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตแบบเซลลูล่า

การศึกษานี้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน สำหรับการทดสอบนี้จะใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109 Standard Test Method for Compressive strength เพื่อให้ทราบคุณสมบัติในการรับแรงอัดของคอนกรีตแบบเซลลูล่า Modulus of Elasticity เพื่อนำค่าไปคำนวณในการออกแบบความยาวของเหล็กกล่องรูปพรรณ ก่อนนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ ให้ทำการเช็ดตัวอย่างที่เปียกน้ำให้แห้ง(ชื้น) เพื่อขจัดน้ำและเม็ดทรายหรือสิ่งที่ติดผิวหน้าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าออก ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ แคปหัวท้ายลูกปูนด้วยกำมะถันทั้ง 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกันเพื่อรับแรงจากเครื่องทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.21 ทำการติดตั้ง Compressometer และ Extensometer เข้ากับก้อนตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.22 จากนั้นวางตัวอย่างทดสอบบนเครื่องทดสอบ นำแผ่นแบริ่งวางบนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าให้อยู่ตรงศูนย์กลางเครื่อง และให้แน่ใจว่าส่วนของแผ่นให้แรงที่ติดอยู่กับเครื่องทดสอบสามารถเคลื่อนไหวได้ เพื่อปรับระดับให้เป็นระนาบขณะทำการแสดงในรูปที่ 3.23 ตั้งค่าเครื่องให้น้ำหนักกดแก่ตัวอย่างทดสอบด้วยอัตราคงที่จนตัวอย่างวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักประลัยของตัวอย่าง โดยลักษณะตัวอย่างการวิบัติของตัวอย่างทดสอบแสดงในรูปที่ 3.24

รูปที่ 3.21 แคปหัวด้วยกำมะถัน

รูปที่ 3.22 ทำการติดตั้งอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.23 เครื่องทดสอบ

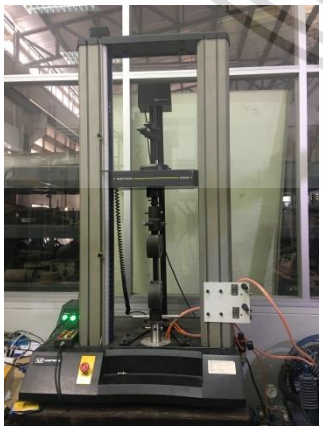
รูปที่ 3.24 ลักษณะตัวอย่างการวิบัติ

3.3.5 การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กกล่อง

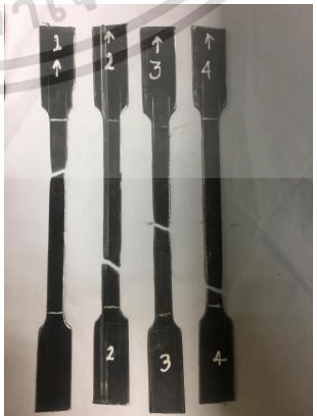
3.3.5.1 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ

การศึกษานี้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile strength) ของเหล็กรูปพรรณเพื่อให้ทราบคุณสมบัติในการแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ Ultimate Tensile strength, Yield strength, Modulus of Elasticity, Stress – Strain Diagram สำหรับการทดสอบนี้จะใช้ตัวอย่างความหนา 1.2 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด (Gauge length) 100 มิลลิเมตร ระยะหัวจับ 55 มิลลิเมตร เพื่อนำค่าไปคำนวณในการออกแบบความยาวของเหล็ก จาก สูตร L = cc × r ให้เป็นความยาวกลาง และ x เพิ่ม , ลด 0.25 เท่า ให้ได้ 5 ขนาด

ก่อนนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ ให้ทำการวัดระยะความยาวของตัวอย่างและระยะซัพพอร์ตให้เรียบร้อย จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบให้อยู่ตรงศูนย์กลางของของซัพพอร์ต และให้แน่ใจว่าตัวอย่างอยู่ติดกับซัพพอร์ตอย่างแน่นหนาเพื่อไม่ให้เกิดค่าผิดพลาดขณะทำการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.25 ตั้งค่าเครื่องทดสอบให้แรงดึงแก่ตัวอย่างทดสอบด้วยอัตราคงที่ จนตัวอย่างวิบัติบันทึกค่ากำลังดึงประลัยของตัวอย่างโดยลักษณะตัวอย่างการวิบัติของตัวอย่างทดสอบแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 เครื่องทดสอบ



รูปที่ 3.26 ลักษณะตัวอย่างการวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กรูปพรรณสามารถคำนวณดังสมการที่ (3.2)

$$E = \sigma/\varepsilon \qquad (3.2)$$

เมื่อ E คือโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กรูปพรรณ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

σ คือแรงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อเหล็กรูปพรรณ $= \frac{P}{A}$ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

ε คือความเครียดในทิศทางดึงตามแนวแรง $= \frac{L}{L_0}$ (เซนติเมตร/เซนติเมตร)

P คือแรงดึงที่กระทำต่อเหล็กรูปพรรณ (กิโลกรัม)

A คือพื้นที่หน้าตัดของเหล็กรูปพรรณที่รับแรงดึง (ตารางเซนติเมตร)

L คือความเดิมของเหล็กรูปพรรณ (เซนติเมตร)

L_0 คือความยาวที่เปลี่ยนแปลงของเหล็กรูปพรรณ (เซนติเมตร)

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi \times E}{F_y}}$$

เมื่อ Cc คือ ค่าอัตราส่วนความชะลูด

E คือ ค่ายังโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กรูปพรรณ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

F_y คือ หน่วยแรงดึงที่จุดคราก (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

เมื่อ r คือ รัศมีไจเรชั่น (เซนติเมตร)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (เซนติเมตร^4)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)

รายงานผลการทดสอบกำลังรับแรงของเหล็กรูปพรรณว่ามีค่าเทาใด หากมีผลการทดสอบตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่งจาก 5 ตัวอย่าง มีค่าแตกต่างเกินกว่าร้อยละ 8.7 ให้ตัดผลการทดสอบของ

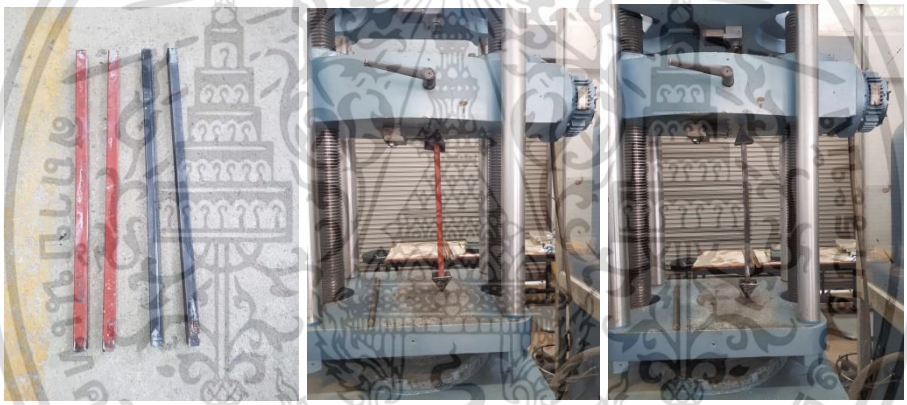
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างนั้นออก และใช้ตัวอย่างที่เหลือหาค่าเฉลี่ย หากผลการทดสอบจากตัวอย่างที่เหลือยังเกินกว่าค่าที่ยอมให้ข้างต้นให้ยกเลิกผลการทดสอบครั้งนี้ และทำการเตรียมอย่างใหม่เพื่อทำการทดสอบใหม่

3.3.6 การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กกล่องกรอกCLC

3.3.6.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของเหล็กกล่องกรอกCLC

การศึกษานี้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของเหล็กกล่องกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ที่อายุ 21 วัน สำหรับการทดสอบนี้จะใช้ตัวอย่าง เหล็กกล่องขนาด 2.50 x 2.50 cm ความยาวมีทั้งหมด 5 ระดับ 196 cm , 163 cm , 131 cm , 98 cm และ 65 cm แต่ละความสูงจะตัดจำนวน 4 ท่อน ชุบสีกันสนิม 2 ท่อน ไม่ชุบสีกันสนิม 2 ท่อน จากนั้นเตรียมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ผสมเสร็จกรอกตามขั้นตอน เพื่อให้ทราบคุณสมบัติในการรับแรงอัด Ultimate Compressive strength ของเหล็กกล่องกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และเพื่อเปรียบเทียบระหว่างชุบสีกันสนิมกับไม่ชุบสีกันสนิม ว่าชิ้นไหนจะมีการเกาะผิวมากกว่ากัน อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109 Standard Test Method for Compressive strength แสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 เพื่อเปรียบเทียบ ระหว่างชุบสีกันสนิมกับไม่ชุบสีกันสนิม

3.3.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของเหล็กกล่องไม่กรอก CLC

การศึกษานี้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของเหล็กกล่องไม่กรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า สำหรับการทดสอบนี้จะใช้ตัวอย่าง เหล็กกล่องขนาด 2.50 x 2.50 cm ความยาวมีทั้งหมด 5 ระดับ 196 cm , 163 cm , 131 cm , 98 cm และ 65 cm แต่ละความสูงจะตัดจำนวน 6 ท่อน ชุบสีกันสนิม 2 ท่อน ไม่ชุบสีกันสนิม 4 ท่อน เพื่อให้ทราบคุณสมบัติในการรับแรงอัด Ultimate Compressive strength ของเหล็กกล่องไม่กรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และเพื่อเปรียบเทียบ ระหว่างกรอกกับไม่กรอก ว่าชิ้นไหนจะมีการรับแรงอัดได้มากกว่ากัน อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109 Standard Test Method for Compressive strength แสดงในรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.28 เพื่อเปรียบเทียบ ระหว่างกรอก CLC กับไม่กรอก CLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทที่ 3 ได้เสนอขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยและขั้นตอนวิธีการวิจัยสำหรับคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าและรูปพรรณ เพื่อการหาคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้ออกแบบความยาวของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ซึ่งในบทนี้จึงขอเสนอผลจากการทดลองและการวิเคราะห์ผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 และ 28 วัน
2) ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 และ 28 วัน
3) ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ
4) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 21 วัน แบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน

4.1.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน (Compressive Strength)

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรที่อายุ 7 วัน โดยปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.40 , อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (S/C) 1.50 และเปอร์เซ็นต์โฟม (F) 30% โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เพื่อใช้ทดแทนมอร์ต้าร์ที่ใช้ในมาตรฐานอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อายุ 7 วัน

Mix No.	Mix Name	คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า (kg/cm^2)
1	W/C 0.40/(S/C)1.50/Form35%	48.05
2	W/C 0.40/(S/C)1.75/Form35%	26.62
3	W/C 0.45/(S/C)1.50/Form35%	21.97
4	W/C 0.45/(S/C)1.75/Form35%	17.68
5	W/C 0.40/(S/C)1.50/Form30%	123.49
6	W/C 0.40/(S/C)1.75/Form30%	77.88
7	W/C 0.45/(S/C)1.50/Form30%	69.30
8	W/C 0.45/(S/C)1.75/Form30%	48.91

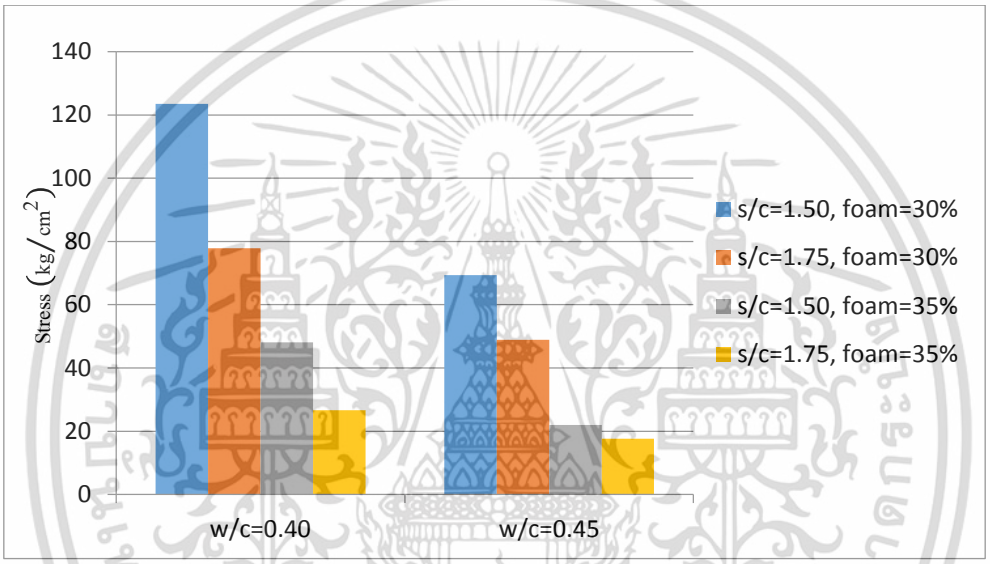
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ W/C คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

S/C คือ อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์

Form คือ เปอร์เซ็นต์โฟม

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรที่อายุ 7 วัน มาพล็อตกราฟแท่งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เพื่อใช้ทดแทนมอร์ต้าร์ที่ใช้ในมาตรฐานอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง ที่อายุ 7 วัน เพื่อให้ทราบแนวโน้มการพัฒนากำลังรับแรงอัด เมื่อมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีต่อคุณสมบัติ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอัตราส่วนผสมต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุครบ 7 วัน

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงอัดทรงลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรที่อายุครบ 7 วัน ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่เปอร์เซ็นต์โฟม 30% จะมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีเปอร์เซ็นต์โฟม 35% และที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(W/C) ที่ 0.40 จะมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(W/C) ที่ 0.45 อีกแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์(S/C) ลดลง โดยเนื้อภายในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเมื่อวิบัติจะเผยให้เห็นว่ามีฟองอากาศแทรกอยู่ ดังแสดงในรูป 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 เนื้อภายในคอนกรีตมวลเบาจะมีฟองอากาศแทรกอยู่

4.1.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน (Compressive Strength)

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรที่อายุ 28 วัน โดยปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.40 , อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (S/C) 1.50 และเปอร์เซ็นต์โฟม (F) 30% โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เพื่อใช้ทดแทนมอร์ต้าร์ที่ใช้ในมาตรฐานอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง 4.2

ตาราง 4.2 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อายุ 28 วัน

Mix No.	Mix Name	คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า (kg/cm^2)
1	W/C 0.40/(S/C)1.50/Form35%	61.26
2	W/C 0.40/(S/C)1.75/Form35%	38.08
3	W/C 0.45/(S/C)1.50/Form35%	31.58
4	W/C 0.45/(S/C)1.75/Form35%	21.89
5	W/C 0.40/(S/C)1.50/Form30%	160.20
6	W/C 0.40/(S/C)1.75/Form30%	107.60
7	W/C 0.45/(S/C)1.50/Form30%	76.06
8	W/C 0.45/(S/C)1.75/Form30%	61.55

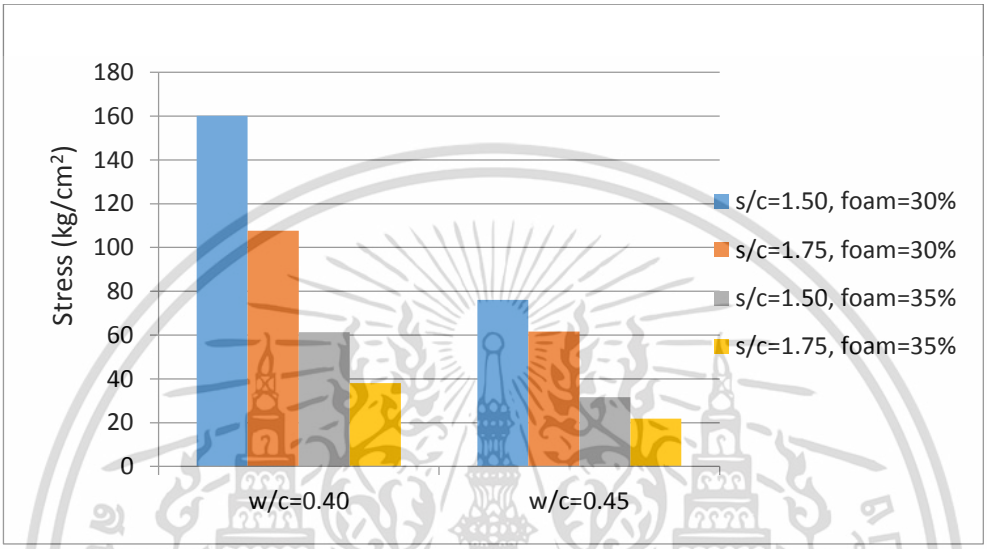
เมื่อ W/C คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

S/C คือ อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์

Form คือ เปอร์เซ็นต์โฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรที่อายุ 28 วัน มาพล็อตกราฟแท่งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เพื่อใช้ทดแทนมอร์ต้าร์ที่ใช้ในมาตรฐานอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง ที่อายุ 28 วัน เพื่อให้ทราบแนวโน้มการพัฒนากำลังรับแรงอัด เมื่อมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีต่อคุณสมบัติ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอัตราส่วนผสมต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุครบ 28 วัน

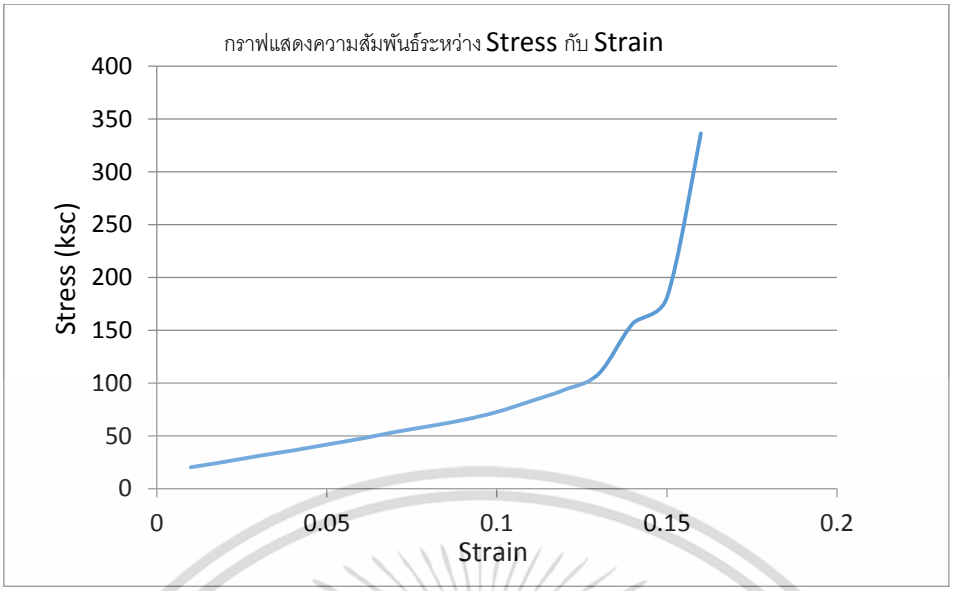
ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงอัดทรงลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรที่อายุครบ 28 วัน ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่เปอร์เซ็นต์โฟม 30% จะมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีเปอร์เซ็นต์โฟม 35% และที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(W/C) ที่ 0.40 จะมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์(W/C) ที่ 0.45 อีกแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์(S/C) ลดลง

4.2 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 และ 28 วัน

4.2.1 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 วัน

ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 190 มิลลิเมตร ที่อายุ 7 วัน ได้ข้อมูลจากการทดสอบตามรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างอายุ 7 วัน

เมื่อนำผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 190 มิลลิเมตร ที่อายุ 28 วัน มาคำนวณเพื่อให้ทราบค่าอิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น(E) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ได้ตามตารางที่ 4.3

เมื่อ E คือ อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น Stress/Strain (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
Stress คือ ความเค้นแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
Strain คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (เซนติเมตร/เซนติเมตร)

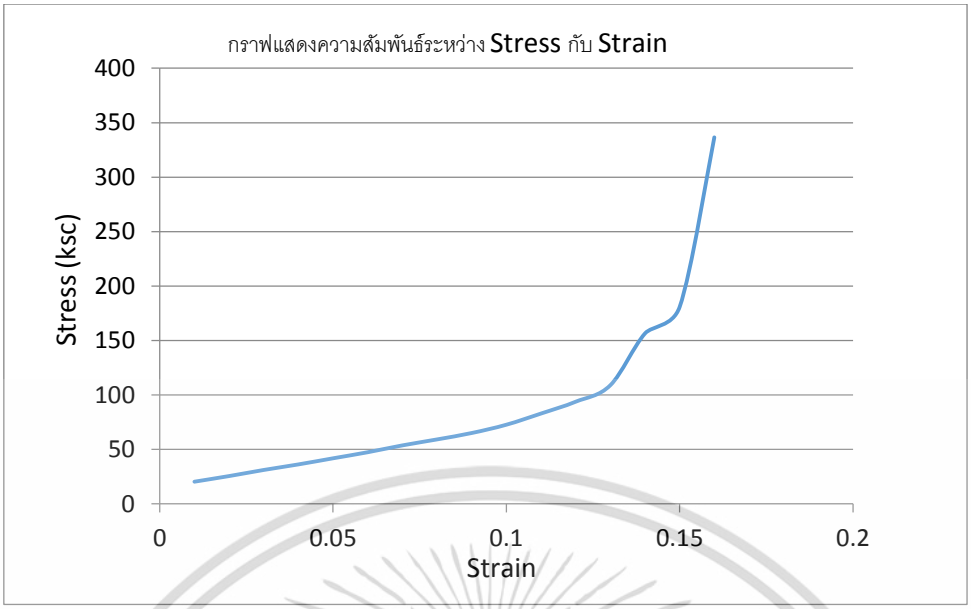
ตารางที่ 4.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 วัน

No	อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น(E) (kg/cm^2)
1	80704.23
2	Error

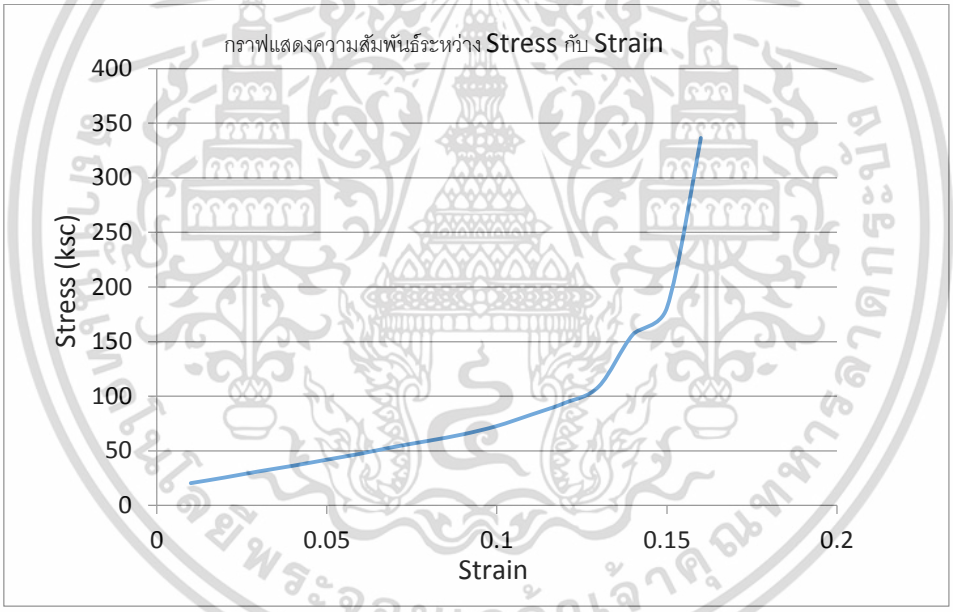
4.2.2 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 190 มิลลิเมตร ที่อายุ 28 วัน ได้ข้อมูลจากการทดสอบตามรูปที่ 4.5 และ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 1 อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 2 อายุ 28 วัน

เมื่อนำผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 190 มิลลิเมตร ที่อายุ 28 วัน มาคำนวณเพื่อให้ทราบค่าอิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น(E) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ได้ตามตารางที่ 4.4

เมื่อ	E	คือ	อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น Stress/Strain	(กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
	Stress	คือ	ความเค้นแรงอัด	(กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
	Strain	คือ	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ	(เซนติเมตร/เซนติเมตร)

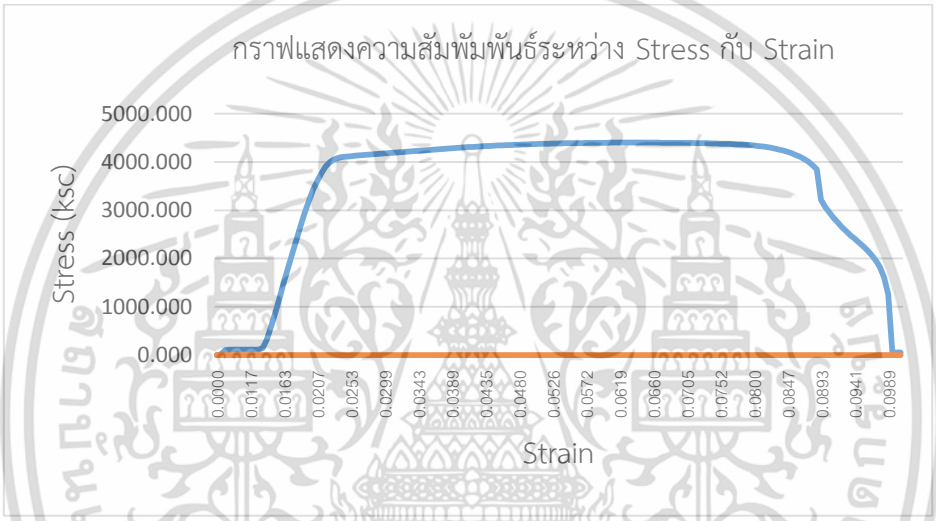
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 28 วัน

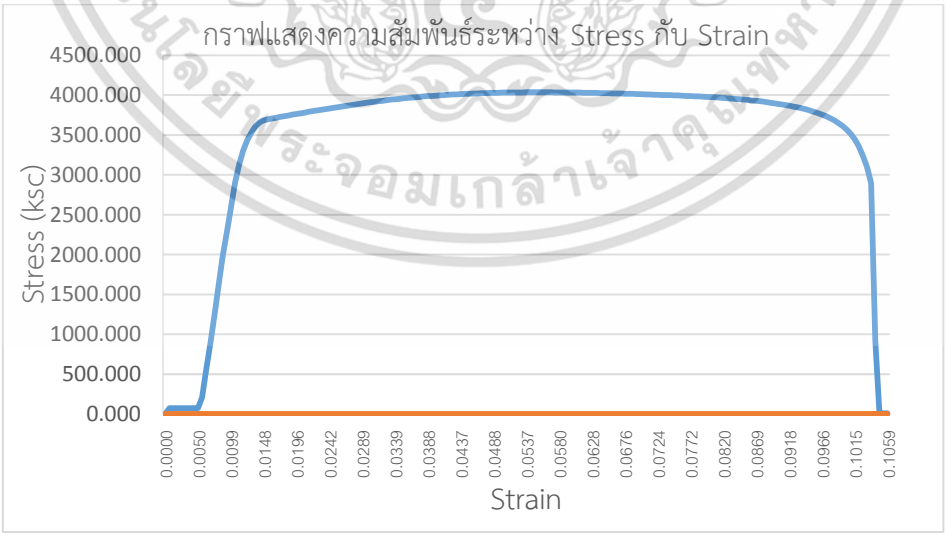
No.	อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น (E) (kg/cm^2)
1	118184.33
2	128854.65

4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณความหนา 1.2 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 100 มิลลิเมตร ระยะหัวจับ 55 มิลลิเมตร ได้ข้อมูลจากการทดสอบตามรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9

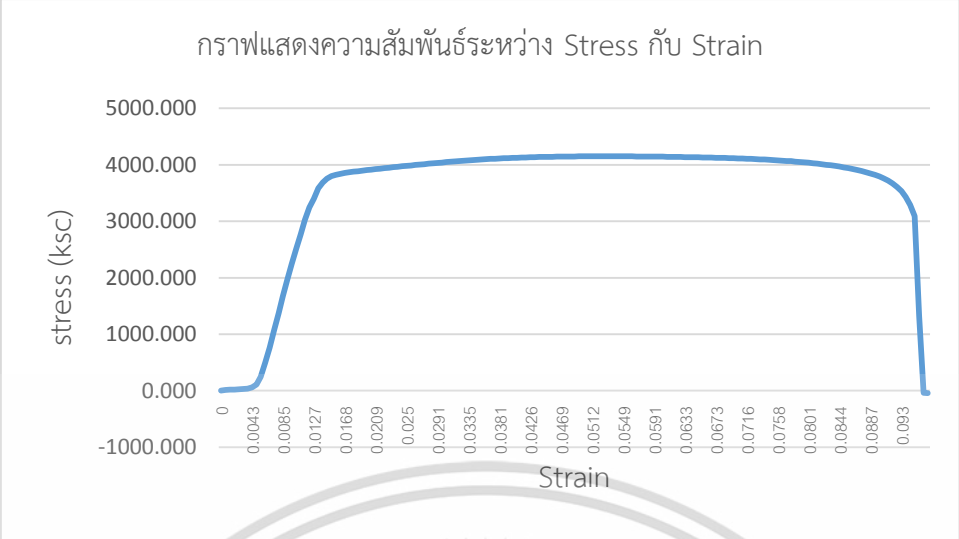


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 3

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของตัวอย่างเหล็กรูปพรรณความหนา 1.2 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 100 มิลลิเมตร ระยะหัวจับ 55 มิลลิเมตร มาคำนวณเพื่อให้ทราบค่าอิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น(E) ของเหล็กรูปพรรณ ได้ตามตารางที่ 4.5

เมื่อ E คือ อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น Stress/Strain (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
Stress คือ ความเค้นแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
Strain คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (เซนติเมตร/เซนติเมตร)

ตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงดึงของตัวอย่างทดสอบเหล็กรูปพรรณ

No.	อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น (E) (kg/cm^2)
1	541,550.00
2	524,861.67
3	529,500.00

4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 21 วัน แบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม

4.4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 21 วัน แบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม

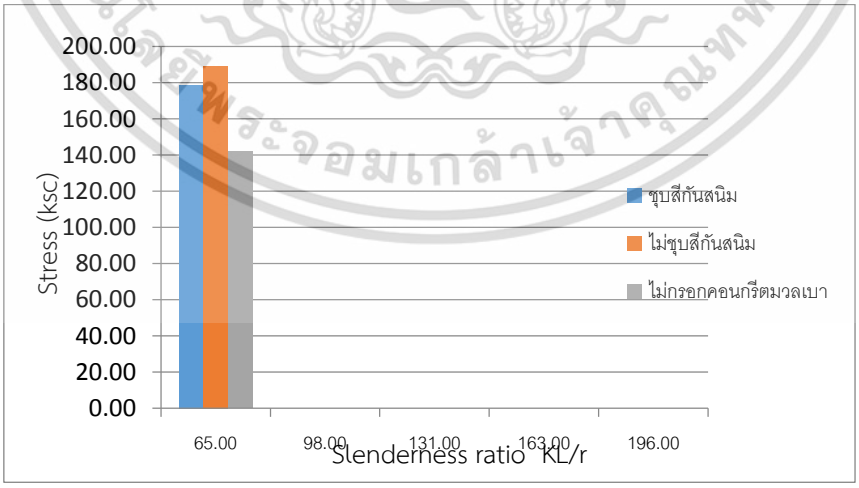
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตรที่อายุ 21 วัน แบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิมเพื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและไม่กรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด ได้แก่ อัตราส่วนความชะลูดของเสา (KL/r) ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม

No.	Slenderness ratio KL/r (m.)	ชุบสีกันสนิม (kg/cm^2)	ไม่ชุบสีกันสนิม (kg/cm^2)	ไม่กรอกคอนกรีตมวลเบา (kg/cm^2)
1	65.00	178.56	189.20	141.92
2	98.00			
3	131.00			
4	163.00			
5	196.00			

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร ไม่กรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและกรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม เพื่อให้ทราบความแตกต่างของกำลังรับแรงอัด เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความชะลูดที่มีต่อคุณสมบัติ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอัตราส่วนความชะลูดต่อกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร ไม่กรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและกรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิมที่อายุครบ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป

การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยมีตัวแปร คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (S/C) และปริมาณโฟม (F) ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ ทดสอบกำลังรับแรงอัดรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ที่อายุ 7 วัน และ 28 วันและทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน จากนั้นนำข้อมูลการทดสอบที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ออกแบบความสูงของเหล็กกล่องและอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่จะกรอกลงในเหล็กกล่องแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิมแล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด นำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบว่าเหล็กกล่องที่ชุบสีกันสนิมกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและเหล็กกล่องที่ไม่ชุบสีกันสนิมกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าว่าแบบไหนสามารถรับแรงกดอัดตามแนวแกนได้ดีกว่า สามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

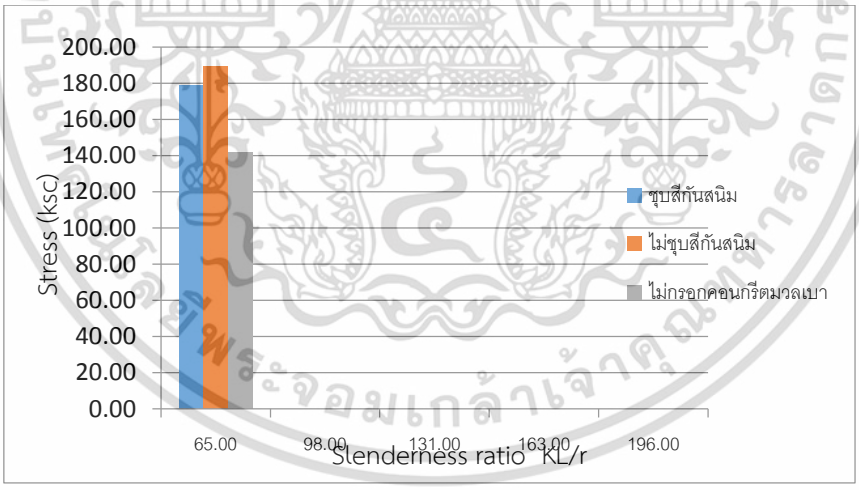
จากผลการศึกษาผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ การทดสอบกำลังรับแรงอัดรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร และทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จากนั้นนำข้อมูลการทดสอบที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ออกแบบความสูงของเหล็กกล่องมีความสูง 5 ระดับ 196 cm , 163 cm , 131 cm , 98 cm และ 65 cm แต่ละความสูงจะตัดจำนวน 4 ท่อน โดยจะแบ่ง 2 ท่อนนำไปชุบสีกันสนิมและอีก 2 ท่อนไม่ชุบสีกันสนิม รวมจำนวน 20 ท่อนและหาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าโดยการหาสัดส่วนที่เหมาะสมจากปัจจัยหลัก 3 อย่าง ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.40 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (S/C) 1.50 และปริมาณโฟม (F) 30 เปอร์เซ็นต์ นำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบว่าเหล็กกล่องที่ชุบสีกันสนิมกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าและเหล็กกล่องที่ไม่ชุบสีกันสนิมกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าว่าแบบไหนสามารถรับแรงกดอัดตามแนวแกนได้ดีกว่า สรุปได้ดังแสดงในตาราง 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร ไม่กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าและกรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม

No.	Slenderness ratio KL/r (m.)	ชุบสีกันสนิม (kg/cm^2)	ไม่ชุบสีกันสนิม (kg/cm^2)	ไม่กรอกคอนกรีตมวลเบา (kg/cm^2)
1	65.00	178.56	189.20	141.92
2	98.00			
3	131.00			
4	163.00			
5	196.00			

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร ไม่กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าและกรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม เพื่อให้ทราบความแตกต่างของกำลังรับแรงอัด เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความชะลูดที่มีต่อคุณสมบัติ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงอัตราส่วนความชะลูดต่อกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร ไม่กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าและกรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิมที่อายุครบ 21 วัน

การทดลองมีปัจจัยที่ทำให้การทดลองอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลผลการทดลองได้ อย่างเช่นความชื้นในลูกปูนก่อนจะกด ซึ่งลูกปูนแต่ละลูกมีค่าความชื้นต่างกันซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองได้ อีกปัจจัยคือ เหล็กที่นำมาดึงไม่มี มอก. ตอนดึงอาจมีการเคลื่อนตัว ซึ่งปัจจัยทั้งสองอาจส่งผลกระทบต่อการทดลองได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) วิธีการคำนวณนี้เป็นเพียงวิธีการเบื้องต้น อาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่ไม่มากก็น้อย เพื่อสามารถนำไปใช้ประมาณได้อย่างแม่นยำ ควรทำการศึกษาการวิจัยที่มีขนาดการวิจัยใหญ่ขึ้นมากกว่านี้

(2) ควรเลือกใช้เหล็กที่มี มอก.ในการทดลอง

(3) ควรมีเครื่องทดสอบที่มีความเหมาะสมต่อการทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุด

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

(1) เนื่องจากปัญหา Covid – 19 ทำให้ไม่สามารถทดสอบชิ้นงานได้ทั้งหมด

(2) เนื่องจากสภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ลูกปูนมีความชื้น

(4) เนื่องจากตอนดึงเหล็กอาจมีการเคลื่อนตัวของหัวจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษณ์ กิ่งโก้ 2553 “คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าผสมสารซุปเปอร์พลาสติกไซเซอร์” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ณัฐวุฒิ เต่งศิริธรรม 2558 “การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดคะเนหาสัดส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC” วิทยานิพนธ์ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัญเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธนภร ทวีวุฒิ และ นท แสงเทียน 2558 “กำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า” **วารสารวิชาการ ม.อบ.**, ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 หน้า 91 - 102

ฐาปกรณ์ ตันวานิช 2561 “การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เพื่อใช้ทดแทนมอร์ต้าร์ที่ใช้ในมาตรฐานอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีต (Subsealing) ของกรมทางหลวง” วิทยานิพนธ์ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัญเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

American Society for Testing and Materials, ASTM C109/C 109M-99 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens.), Annual Book of ASTM Standards, 2001, Vol. 04.01, Philadelphia, 83-88.

American Society for Testing and Materials, ASTM C157/C 157M-08 Standard Test Method for Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortars and Concrete, 2008, Vol. 04.02, Philadelphia, 202-207.

Panesar, D.K. (2013). **Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents. Construction and Building Materials**, 44, pp.575-584

S. Nandi, Arnab Chatterjee, Prantik Samanta and Tanushree Hansda 2016. Cellular Concrete & its facets of application in Civil Engineer. International Journal of Engineer Research(NCICE@2016), ISSN:2319-6890, Volume No.5, Issue Special 1,8-9 Jan 2016, pp.37-43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

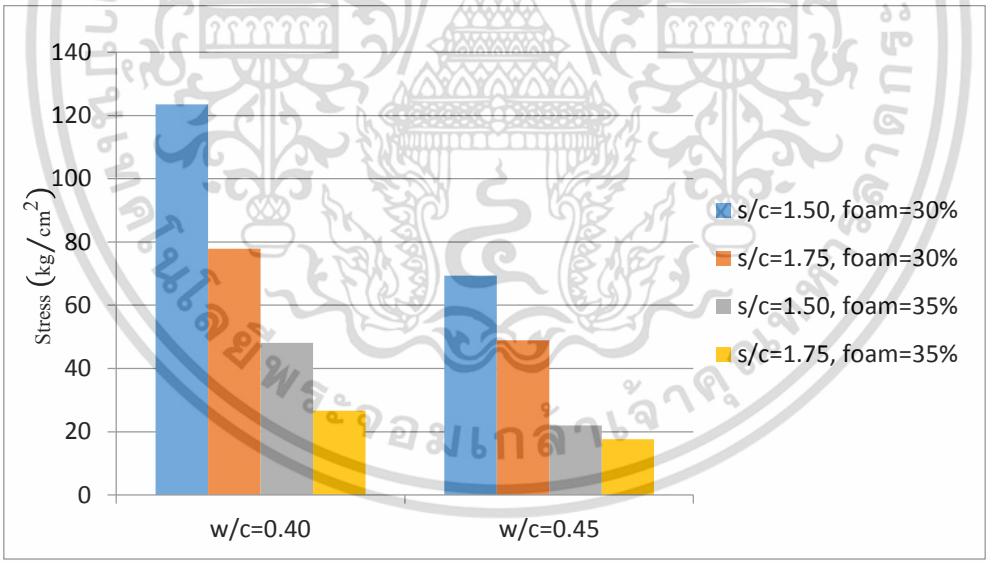
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 cm. ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ที่อายุ 7 วัน

Mix No.	Mix Name	คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า (kg/cm^2)
1	W/C 0.40/(S/C)1.50/Form35%	48.05
2	W/C 0.40/(S/C)1.75/Form35%	26.62
3	W/C 0.45/(S/C)1.50/Form35%	21.97
4	W/C 0.45/(S/C)1.75/Form35%	17.68
5	W/C 0.40/(S/C)1.50/Form30%	123.49
6	W/C 0.40/(S/C)1.75/Form30%	77.88
7	W/C 0.45/(S/C)1.50/Form30%	69.30
8	W/C 0.45/(S/C)1.75/Form30%	48.91

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรที่อายุ 7 วัน มาพล็อตกราฟแท่งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 วัน เพื่อให้ทราบแนวโน้มการพัฒนากำลังรับแรงอัด เมื่อมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีต่อคุณสมบัติ



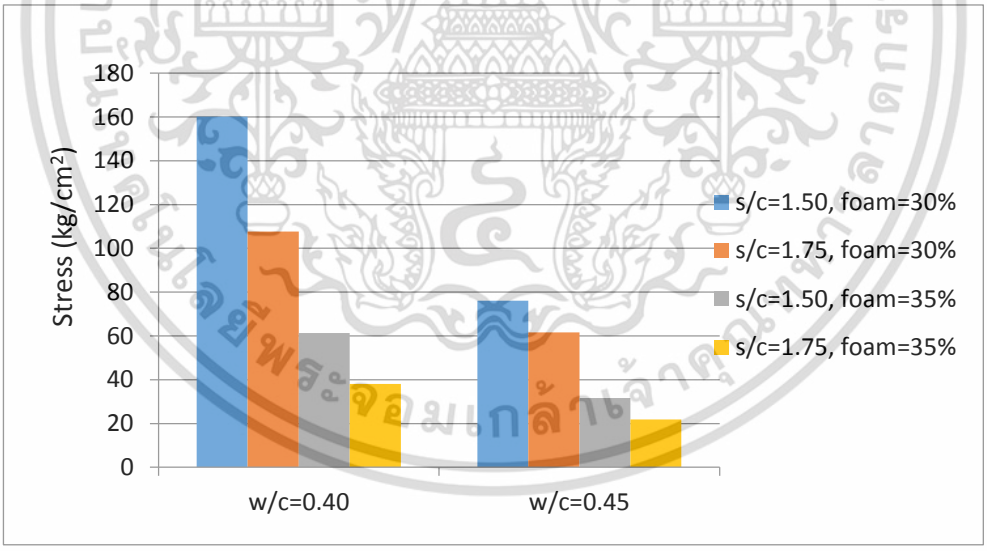
กราฟแสดงอัตราส่วนผสมต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุครบ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน

Mix No.	Mix Name	คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า (kg/cm^2)
1	W/C 0.40/(S/C)1.50/Form35%	61.26
2	W/C 0.40/(S/C)1.75/Form35%	38.08
3	W/C 0.45/(S/C)1.50/Form35%	31.58
4	W/C 0.45/(S/C)1.75/Form35%	21.89
5	W/C 0.40/(S/C)1.50/Form30%	160.20
6	W/C 0.40/(S/C)1.75/Form30%	107.60
7	W/C 0.45/(S/C)1.50/Form30%	76.06
8	W/C 0.45/(S/C)1.75/Form30%	61.55

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตรที่อายุ 28 วัน มาพล็อตกราฟแท่งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 28 วัน เพื่อให้ทราบแนวโน้มการพัฒนากำลังรับแรงอัด เมื่อมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีต่อคุณสมบัติ



กราฟแสดงอัตราส่วนผสมต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุครบ 28 วัน

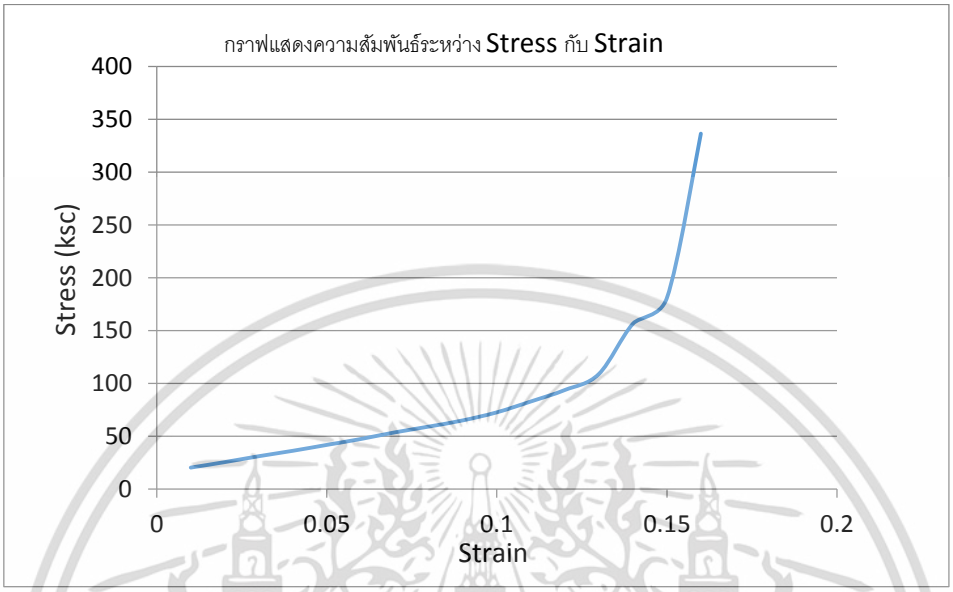
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ารูปทรงกระบอกที่อายุ 7 และ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 190 มิลลิเมตร ที่อายุ 7 วัน ได้ข้อมูลจากการทดสอบตามรูป



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างอายุ 7 วัน

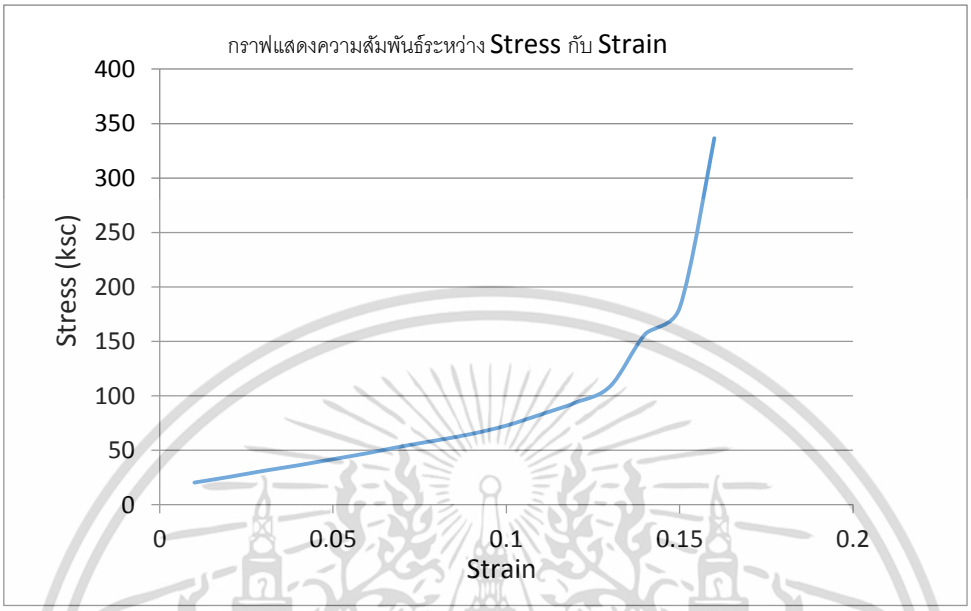
เมื่อนำผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 190 มิลลิเมตร ที่อายุ 28 วัน มาคำนวณเพื่อให้ทราบค่าอิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น(E) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ได้ตามตาราง

ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 7 วัน

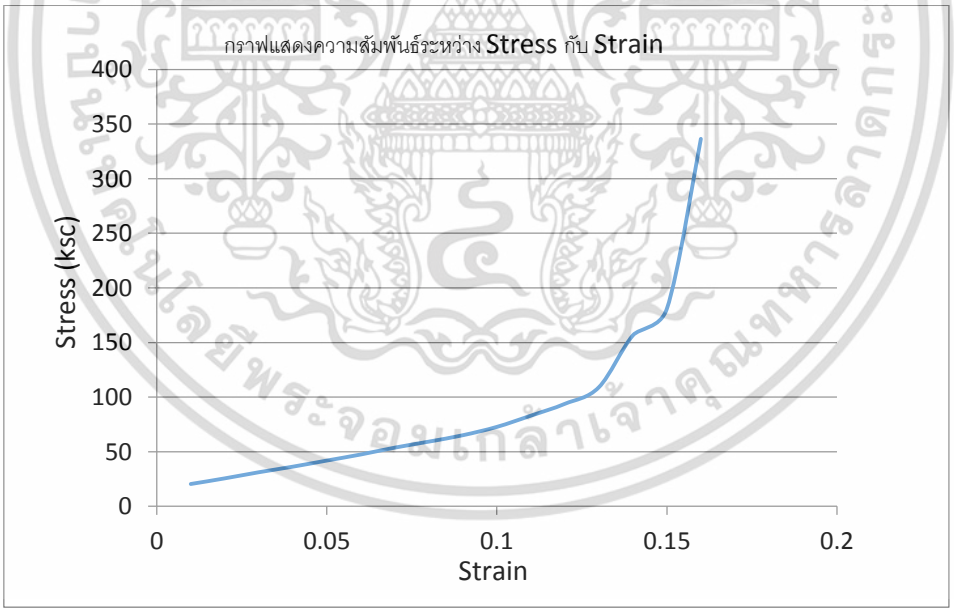
No	อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น(E) (kg/cm^2)
1	80704.23
2	Error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 190 มิลลิเมตร ที่อายุ 28 วัน ได้ข้อมูลจากการทดสอบตามรูป



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 1 อายุ 28 วัน



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 2 อายุ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 190 มิลลิเมตร ที่อายุ 28 วัน มาคำนวณเพื่อให้ทราบค่าอิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น(E) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ได้ตามตาราง

ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 28 วัน

No.	อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น (E) (kg/cm^2)
1	118184.33
2	128854.65

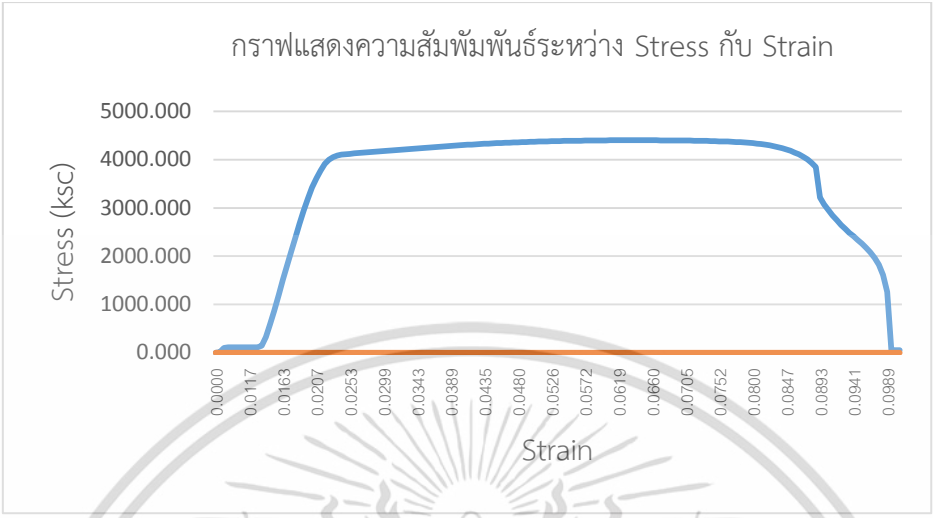
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

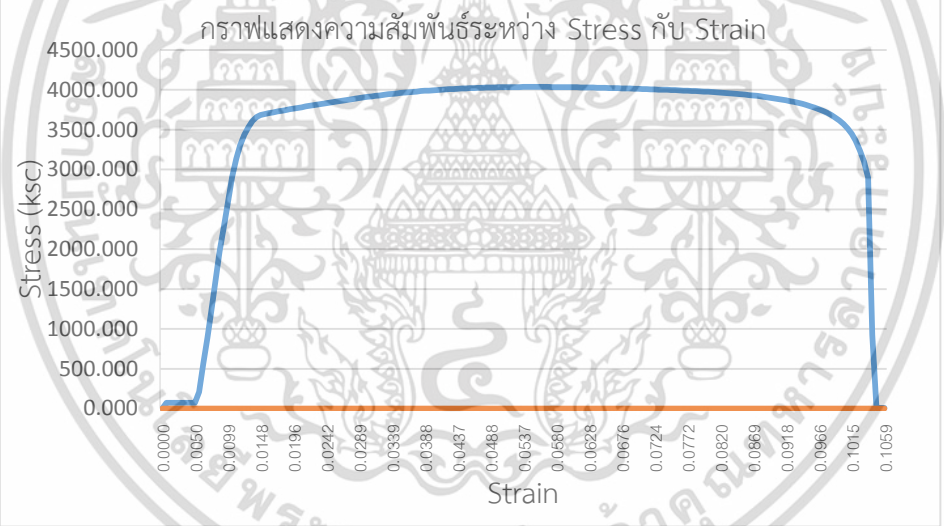
ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กรูปพรรณความหนา 1.2 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 100 มิลลิเมตร ระยะหัวจับ 55 มิลลิเมตร ได้ข้อมูลจากการทดสอบตามรูป

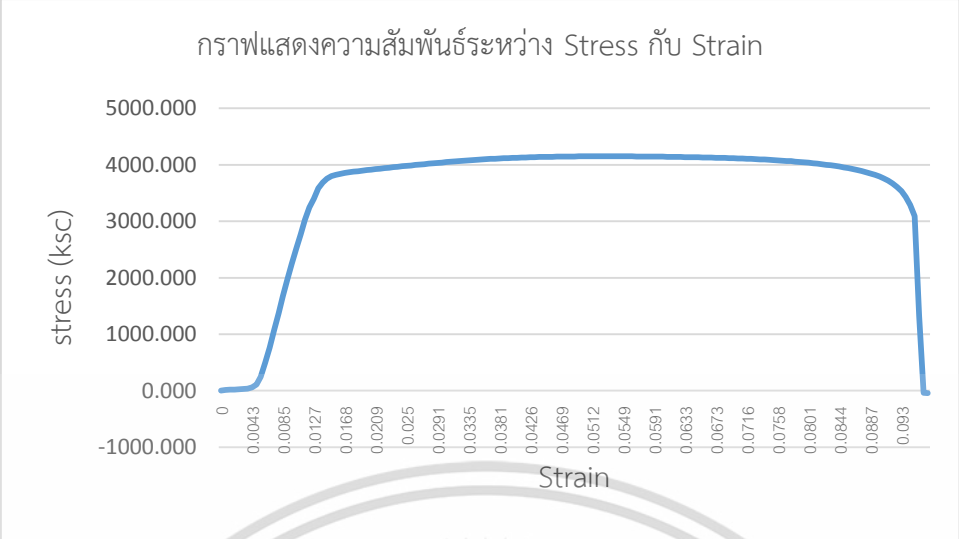


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 1



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของตัวอย่างที่ 3

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของตัวอย่างเหล็กรูปพรรณความหนา 1.2 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด(Gauge length) 100 มิลลิเมตร ระยะหัวจับ 55 มิลลิเมตร มาคำนวณเพื่อให้ทราบค่าอิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น(E) ของเหล็กรูปพรรณ ได้ตามตาราง

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของตัวอย่างทดสอบเหล็กรูปพรรณ

No.	อิลาสติกโมดูลัสยืดหยุ่น (E) (kg/cm^2)
1	541,550.00
2	524,861.67
3	529,500.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

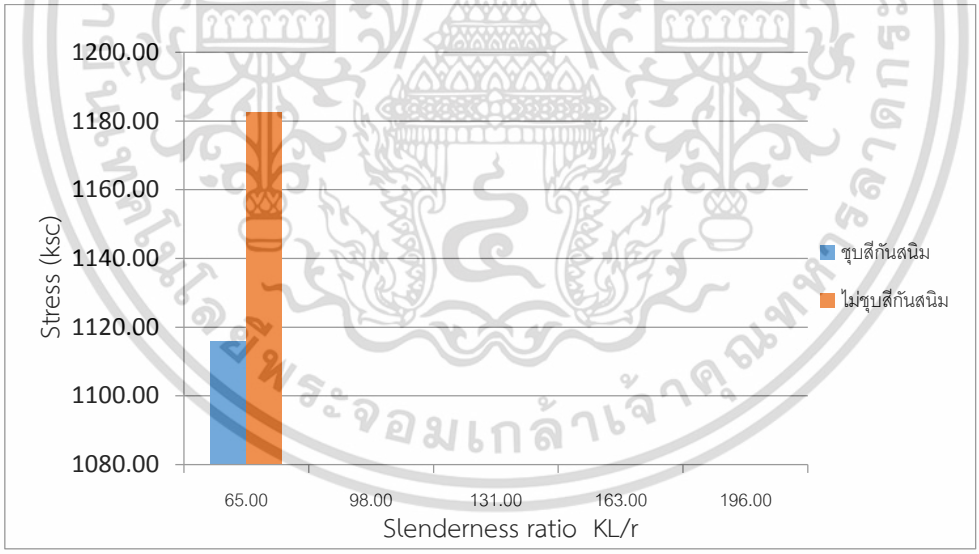
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กกรอกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 21 วัน แบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม

No.	Slenderness ratio KL/r (m.)	ชุบสีกันสนิม (kg/cm^2)	ไม่ชุบสีกันสนิม (kg/cm^2)
1	65.00	1116.00	1182.50
2	98.00		
3	131.00		
4	163.00		
5	196.00		

เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิม เพื่อให้ทราบความแตกต่างของกำลังรับแรงอัด เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความชะลูดที่มีต่อคุณสมบัติ สามารถแสดงได้ดังรูป



กราฟแสดงอัตราส่วนความชะลูดต่อกำลังรับแรงอัดของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 มิลลิเมตรหนา 1.2 มิลลิเมตร กรอกคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบชุบสีกันสนิมและไม่ชุบสีกันสนิมที่อายุครบ 21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้