การพัฒนาคอนกรีตบล็อกระบบเซลลูลาร์ด้วยส่วนผสมจากวัสดุธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติฉนวนกันความร้อน

DEVELOPMENT OF CLC BLOCK WITH NATURAL MATERIAL ADMIXTURE FOR HEAT INSULATION ATTRIBUTE IMPROVEMENT

จิระภา มาพงษ์

ธรรมศร เชียงทองสุข

ธารารัตน์ แก้วสกุลณี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DEVELOPMENT OF CLC BLOCK WITH NATURAL MATERIAL ADMIXTURE FOR HEAT INSULATION ATTRIBUTE IMPROVEMENT

JIRAPHA MAPONG

THAMMASORN CHAINGTHONGSUK

THARARAT KAEWSAKULNEE

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 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกลาเจาคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนาคอนกรีตบล็อกระบบเซลลูลาร์ด้วยส่วนผสมจากวัสดุธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติฉนวนกันความร้อน

DEVELOPMENT OF CLC BLOCK WITH NATURAL MATERIAL ADMIXTURE FOR HEAT INSULATION ATTRIBUTE IMPROVEMENT

นักศึกษา

นางสาวจิระภา	มาพงษ์	รหัสประจำตัว 60010146
นายธรรมศร	เชียงทองสุข	รหัสประจำตัว 60010445
นางสาวธารารัตน์	แก้วสกุลณี	รหัสประจำตัว 60010467

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อำพน	จรัสจรุงเกียรติ	
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ผศ.ดร.อัฏฐวิทย์	สุจริตพงศ์	
ดร.ณัฏฐ์ดนัย	สินสมุทรผดุง	
รศ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
อาจารย์ทรงกลด	แซ่อึ้ง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 พฤษภาคม 2564 เวลา 10.00 – 12.30 น.

สถานที่สอบ ออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกระบบเซลลูลาร์ด้วยส่วนผสมจากวัสดุธรรมชาติ

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติฉนวนกันความร้อน

นางสาวจิระภา มาพงษ์ รหัสประจำตัว 60010146

นายธรรมศร เชียงทองสุข รหัสประจำตัว 60010445

นางสาวธารารัตน์ แก้วสกุลณี รหัสประจำตัว 60010467

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการประยุกต์เทคโนโลยีคอนกรีตมวลเบา โดยใช้คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน โดยใช้ส่วนผสมมวลรวมพิเศษจากวัสดุเหลือใช้โดยในที่นี้เป็นการใช้วัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ คือขุยมะพร้าว ที่มีคุณสมบัติพื้นฐานคือเป็นฉนวนความร้อนที่ดี เพื่อนำไปใช้สำหรับงานก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย ทั้งนี้ การผลิตคอนกรีตมวลเบา ในอุตสาหกรรมมีต้นทุนที่สูง ทำให้ประชาชนมักจะเลือกใช้คอนกรีตบล็อคหรืออิฐมอญที่มีราคาถูกกว่าในการก่อสร้างผนัง ซึ่งการใช้วัสดุเหลือใช้ คือ ขุยมะพร้าว จะสามารถลดปริมาณวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีราคาสูง เช่น ซีเมนต์และทราย โดย ขุยมะพร้าว ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนนั้น จะสามารถลดปริมาณความร้อนที่แผ่เข้าอาคารได้มากกว่าวัสดุก่อสร้างทั่วไป โดยการทดสอบใช้มาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 เพื่อควบคุมการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า และ ทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, K, ASTM C518)

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า,ฉนวนป้องกันความร้อน, ขุยมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DEVELOPMENT OF CLC BLOCK WITH NATURAL MATERIAL ADMIXTURE FOR HEAT INSULATION ATTRIBUTE IMPROVEMENT

Ms.Jirapha	Mapong	Student ID. 60010146
Mr.Thammasorn	Chaingthongsuk	Student ID. 60010445
Ms.Thararat	Kaewsakulnee	Student ID. 60010467

Advisor Asist.Prof. Dr.-Ing.Amphon Jarasjarungkiat

Academic Year 2020

ABSTRACT

This research, the application of aerated concrete technology using autoclaved aerated concrete has special characteristics, which is to prevent heat by using special aggregates from waste materials, with natural waste materials, namely coir pith. Coconut, which has basic properties, is a good insulation for construction of residential buildings. Mass production in light industry has a high cost, therefore people tend to use cheaper concrete or brick bricks. In the construction of waste materials, coconut coir pith can reduce the amount of materials in the production of light weight, such as the processing and use of coconut coir pith with heat insulation properties. Can enter the building more than other building materials by testing using the TISI standard 2601 - 2013 Production Control for Light Weight Cellular System and Calorific Value Testing (Thermal conductivity, K, ASTM C518).

Keywords: Cellular Lightweight Concrete, Insulation, Coconut Coir Pith

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อำพน จรัสจรุงเกียรติ ที่ให้ความอนุเคราะห์รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำปรึกษา แนะนำ และให้การช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงสอนวิธีการทำงานที่ดีทำให้ผู้วิจัยรู้จักพัฒนาตนเองในด้านการทำงานให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ขอขอบคุณคณะอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่สั่งสอนวิชาความรู้ ถ่ายทอดประสบการณ์ต่าง ๆ และนำความรู้เหล่านั้นมาใช้ในการทำวิจัยนี้

สำหรับคุณประโยชน์และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้มารดาผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ครูอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้ามาตลอดจนถึงทุกวันนี้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

จิระภา มาพงษ์

ธรรมศร เชียงทองสุข

ธารารัตน์ แก้วสกุลณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูปภาพ X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete) 4

2.1.1 การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามประเภทของวัสดุที่ใช้ 4

2.1.2 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าร์ (Cellular Lightweight Concrete) 7

2.1.3 มาตรฐานคอนกรีตมวลเบาระบบ Cellular Lightweight Concrete 8

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน 10

2.2.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) 11

2.2.2 การพาความร้อน (Convention) 11

2.2.3 การแผ่รังสี (Radiation) 11

2.3 คุณสมบัติทางกายถ่ายเทความร้อนของวัสดุก่อสร้าง 12

2.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 12

2.3.2 ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance) 12

2.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value) 13

2.3.4 ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity) 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

2.3.5 คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี 14
2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของมวลสาร 14
2.4.1 การจัดวางตำแหน่งผนังมวลสารภายนอกอาคาร 14
2.4.2 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ 15
2.4.3 อิทธิผลของวัสดุประกอบมวลสารผนัง 16
2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านมวลสาร 17
2.6 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) 18
2.7 ข้อมูลของวัสดุเหลือใช้ 19
2.7.1 ลักษณะทั่วไป 19
2.7.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ 20
2.7.3 ขุยมะพร้าว 21
2.8 ทำไมถึงเลือกขุยมะพร้าว 22
2.9 ข้อดีของขุย 23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 26
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ 26
3.2 ทดสอบหาคุณสมบัติของทรายและขุยมะพร้าว 29
3.2.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) 29
3.2.2 ความชื้นในขุยมะพร้าวแต่ละขนาด 30
3.3 การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 31
3.3.1 การออกแบบส่วนผสมหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 31
3.3.2 การออกแบบส่วนผสมหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม 32
3.3.3. หา % ที่เหมาะสมของขุยมะพร้าว 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

3.4 การผลิตรูปทรงจริงตามมาตรฐานและทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 35
3.4.1 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบา 35
3.4.2 การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา 36
3.4.3 การทดสอบหาค่าความต้านการอัดของคอนกรีตมวลเบา 36
3.5 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ค่าการนำความร้อน และอัตราการหดตัว 38
3.5.1 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน 38
3.5.2 ค่านำความร้อน (Thermal Conductivity) 45
3.5.3 อัตราการหดตัว (Autogeneous Shrinkage) 46
3.6 การเปรียบเทียบราคาวัสดุ 47
บทที่ 4 ผลการทดสอบวิเคราะห์และอภิปราย 48
4.1 ผลการเตรียมวัตถุดิบ 48
4.2 การทดลองหาคุณสมบัติของทรายและขุยมะพร้าว 49
4.2.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง 49
4.2.2 ความชื้นในขุยมะพร้าวแต่ละขนาด 49
4.3 การทดลองหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสมและหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 50
4.3.1 การออกแบบส่วนผสมหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 50
4.3.2 ผลจากการหาขนาดที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวที่ทำการค้าง Sieve เบอร์ต่างๆ 52
4.3.2 ผลจากการหา % ที่เหมาะสมของขุยมะพร้าว 55
4.4 การผลิตรูปทรงจริงตามมาตรฐานและทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 57
4.5 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ค่าการนำความร้อน และอัตราการหดตัว 58
4.5.1 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน 58
4.5.2 อัตราการหดตัว (Autogenous Shrinkage) 78
4.5.3 ค่านำความร้อน (Thermal Conductivity) 80
4.5 การเปรียบเทียบราคาวัสดุ 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

บทที่5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 84

5.1 กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ จากขุยมะพร้าว 84

5.2. คุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว 84

5.2.1 น้ำหนักและความหนาแน่น 84

5.2.2 ความต้านแรงอัด 85

5.2.3 อัตราการดูดซึมน้ำ 85

5.2.4 อัตราการหดตัว 85

5.3 คุณสมบัติด้านการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว 85

5.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 85

5.3.2 ความสามารถในการลดความร้อน 85

5.4 สรุปผลการวิจัย 86

5.5 ข้อเสนอแนะ 86

บรรณานุกรม 87

ภาคผนวก ก สัญลักษณ์ 89

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ 90

ข.1.1 การทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม 91

ข.1.2 การทดสอบหาอัตราส่วนผสม 94

ข.2 การทดสอบหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ชนิดของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 9
ตารางที่ 2.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 9
ตารางที่ 2.3 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556 10
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ (ตรึงใจบูรณสมภพ, 2539: 39) 16
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 31
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมเพื่อหาขนาดของขุยมะพร้าวที่เหมาะสม 32
ตารางที่ 4.1 การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทรายละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง 49
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการหาความชื้นในขุยมะพร้าวแต่ละขนาด 49
ตารางที่ 4.3 ผลจากการทดลองเฉลี่ยใช้มาตรฐานมอก. 2601 - 2556 C12 50
ตารางที่ 4.4 ผลจากการทดลองหาอัตราการดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และกำลังของขนาดขุยมะพร้าวต่างๆ 53
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบเฉลี่ยที่ได้จากสูตรที่ 2 นำมาใส่ขุยมะพร้าว 55
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบคอนกรีตมวลเบาขนาด 20 × 60 × 7.5 ซม. 57
ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาทดสอบ 79
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบ การหดตัวแบบออโตจีเนียส 79
ตารางที่ 4.9 ผลที่ได้จากการทดสอบค่านำความร้อน 81
ตารางที่ 4.10 ราคาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า โดยการใช้ขุยมะพร้าว 81
ตารางที่ 4.11 ราคาคอนกรีตมวลเบาในท้องตลาด 82
ตารางที่ ข.1.1 การทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม 91
ตารางที่ ข.1.2 ตารางอัตราการดูดซึมน้ำจากการทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม 93
ตารางที่ ข.1.3 การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 94
ตารางที่ ข.1.4 อัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 98
ตารางที่ ข.1.5 การทดสอบของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 แก้ไขสูตรที่ 1 และ 2 100
ตารางที่ ข.1.6 อัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#20 แก้ไขสูตรที่ 1 และ 2 101
ตารางที่ ข.1.7 การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#40 103
ตารางที่ ข.1.8 อัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#20 106
ตารางที่ ข.2.1 การทดสอบจากการ Vary Foam 0% 25% 50% 75% และ 100% 109
ตารางที่ ข.2.2 อัตราการดูดซึมน้ำ การทดสอบ Vary Foam 0% 25% 50% 75% และ 100% 112
ตารางที่ ข.2.3 ค่าความหนาแน่น กำลังรับแรงอัดของ และอัตราการดูดซึม ที่เกิดจาก Vary Foam 114
ตารางที่ ข.2.4 ผลจากการ Vary ขุยมะพร้าว ,W/C=0.4,0.6 และทำการ Fixed Foam 100% ,S/C=1 116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ ข.2.5 อัตราการดูดซึมน้ำ Vary ขุยมะพร้าว W/C=0.4,0.6 และ Fixed Foam 100%,S/C=1.....118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 แสดงอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 18
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด 18
รูปที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนัง 18
รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 27
รูปที่ 3.2 น้ำ 27
รูปที่ 3.3 ทรายละเอียด 27
รูปที่ 3.4 โฟม 28
รูปที่ 3.5 ขุยมะพร้าว 28
รูปที่ 3.6 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง 30
รูปที่ 3.7 ความชื้นในขุยมะพร้าวแต่ละขนาด 31
รูปที่ 3.8 ผสมซีเมนต์กับทราย 33
รูปที่ 3.9 ปั่นโฟมโดยใช้สว่าน 34
รูปที่ 3.10 ผสมมอร์ต้ากับโฟม 34
รูปที่ 3.11 ก้อนคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. 34
รูปที่ 3.12 ทดสอบก้อนคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. 35
รูปที่ 3.13 การผสมมอร์ต้า (ซีเมนต์, ทราย, ขุยมะพร้าว) 37
รูปที่ 3.14 แสดงการใส่มอร์ต้าลงในแบบหล่อ 37
รูปที่ 3.15 การตกแต่งหน้าแบบหล่อคอนกรีตมวลเบา 37
รูปที่ 3.16 คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าวรูปทรงจริงก่อนแกะแม่พิมพ์ 38
รูปที่ 3.17 คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าวรูปทรงจริงที่ทำการอบเพื่อหาอัตราการดูดซึม ... 38
รูปที่ 3.18 รูปขยายกล่องทดสอบความสามารถในการลดความร้อน 39
รูปที่ 3.19 ตำแหน่งวางกล่องทดลอง บริเวณดาดฟ้าตึก CCA คณะวิศวกรรมโยธา 40
รูปที่ 3.20 สร้างกล่องเพื่อทดลองความสามารถในการกระจายความร้อน 40
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการก่อคอนกรีตมวลเบาขนาด 20×60×7.5 ซม. 41
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการก่อคอนกรีตบล็อกโดยการต่อให้ได้ขนาด 20×60×7.5 ซม 41
รูปที่ 3.23 คอนกรีตมวลเบาเมื่อก่อสำเร็จ 41
รูปที่ 3.24 คอนกรีตบล็อกเมื่อก่อสำเร็จ 42
รูปที่ 3.25 ทิศทางการจัดวางตัวอย่างทดสอบ 42
รูปที่ 3.26 คอนกรีตมวลเบาผสมขุยมะพร้าวเมื่อติดตั้งสาย Thermocouple type t 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.27 คอนกรีตมวลเบาเมื่อติดตั้งสาย Thermocouple type t 43
รูปที่ 3.28 คอนกรีตบล็อกเมื่อติดตั้งสาย Thermocouple type 43
รูปที่ 3.29 อุณหภูมิที่ถูกบันทึกโดยเครื่อง Data Logger ยี่ห้อ TDS 44
รูปที่ 3.30 ทดสอบตัวอย่างในเวลากลางคืน 44
รูปที่ 3.31 ป้องกันความคลาดเคลื่อนของอุณภูมิที่วัดจาก Data Logger ทำการระบายความร้อน 44
รูปที่ 3.32 การทดสอบค่านำความร้อน 45
รูปที่ 3.33 แสดงผลอุณหภูมิของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ กับ Hot plate 45
รูปที่ 3.34 น้ำหนักของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ 46
รูปที่ 3.35 แสดงการห่อด้วยพลาสติกของคอนกรีตตัวอย่าง 46
รูปที่ 3.36 แสดงการทดสอบการหดตัวแบบออโตจีเนียส 47
รูปที่ 3.37 แสดงค่าเริ่มต้นของ Gauge plug 47
รูปที่ 4.1 รูปแสดงการเตรียมขุยมะพร้าวเพื่อนำมาใช้งาน 48
รูปที่ 4.2 กำลังต้านทานแรงอัดกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556 51
รูปที่ 4.3 ความหนาแน่นกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556 51
รูปที่ 4.4 อัตราการดูดซึมน้ำกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556 52
รูปที่ 4. 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด 54
รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของสูตรต่างๆ 54
รูปที่ 4.7 ความหนาแน่นกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556 55
รูปที่ 4.8 กำลังต้านทานแรงอัดกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556 56
รูปที่ 4.9 อัตราการดูดซึมน้ำกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556 56
รูปที่ 4.10 อัตราการดูดซึมน้ำกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556 57
รูปที่ 4. 11 ความหนาแน่นกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556 58
รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยที่เวลา 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ 59
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่เวลา 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ 60
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิผิวภายนอกของกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน 61
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิผิวภายนอกทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 5/04/64 08.00 – 16.59 น. 62
รูปที่ 4.16 อุณหภูมิผิวภายนอกทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 6/04/64 08.00 – 16.59 น. 62
รูปที่ 4.17 อุณหภูมิผิวภายนอกทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 7/04/64 08.00 – 16.48 น. 63
รูปที่ 4.18 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่อง 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.19 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 5/04/64 08.00 – 16.59 น. 64
รูปที่ 4.20 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 6/04/64 08.00 – 16.59 น. 65
รูปที่ 4.21 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 7/04/64 08.00 – 16.48 น. 65
รูปที่ 4.22 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่อง 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ 66
รูปที่ 4.23 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 6/04/64 08.00 – 16.59น. 67
รูปที่ 4.24 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 5/04/64 08.00 – 16.59 น. 67
รูปที่ 4.25 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 7/04/64 08.00 – 16.48 น. 68
รูปที่ 4.26 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยที่เวลา 17.00 – 07.59 น.ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ 68
รูปที่ 4.27 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่เวลา 17.00 – 07.59 น.ของทั้ง 3 วัน 69
รูปที่ 4.28 อุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 กล่อง 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น. ของทั้ง 3 วัน 70
รูปที่ 4.29 อุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 4/04/64 18.00 – 23.59 น. 71
รูปที่ 4.30 อุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 กับอุณหภูมิอากาศ 5/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น. 71
รูปที่ 4.31 อุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 กับอุณหภูมิอากาศ 6/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น. 72
รูปที่ 4.32 อุณหภูมิอากาศภายนอก 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 7/04/64 00.00 – 07.59 น. 72
รูปที่ 4.33 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่อง 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น. ของทั้ง 3 วัน 73
รูปที่ 4.34 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 4/04/64 18.00 – 23.59 น. 74
รูปที่ 4.35 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 5/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น.. 74
รูปที่ 4.36 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 6/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น.. 75
รูปที่ 4.37 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 7/04/64 00.00 – 07.59 น. 75
รูปที่ 4.38 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่อง ที่เวลา 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น. ของทั้ง 4 วัน 76
รูปที่ 4.39 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 4/04/64 18.00 – 23.59 น. 77
รูปที่ 4.40 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กับอุณหภูมิอากาศ 5/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น. 77
รูปที่ 4.41 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กับอุณหภูมิอากาศ 6/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น. 78
รูปที่ 4.42 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 7/04/64 00.00 – 07.59 น. 78
รูปที่ 4.43 แสดงการหดตัวแบบออโตจีเนียส 80
รูปที่ ข.1.1 กราฟระหว่างความหนาแน่น-กำลังรับแรงอัด 3 วัน ที่หาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม 92
รูปที่ ข.1.2 อัตราการดูดซึมจากการทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม 93
รูปที่ ข.1.3 กราฟระหว่างความหนาแน่น – กำลังรับแรงอัด 3 วัน ของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 97
รูปที่ ข.1.4 กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ ข.1. 5 กราฟระหว่างความหนาแน่นของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 แก้ไขสูตรที่ 1 และ 2 101
รูปที่ ข.1.6 กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 แก้ไขสูตรที่ 1 และ 2..... 102
รูปที่ ข.1.7 กราฟระหว่างความหนาแน่น – กำลังรับแรงอัด 3 วัน ของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#20..... 105
รูปที่ ข.1.8 อัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#20 108
รูปที่ ข.2.1 อัตราการดูดซึมน้ำ จากการทดสอบ Vary Foam 0% 25% 50% 75% และ 100%..... 113
รูปที่ ข.2.2 กราฟแสดงความหนาแน่น (Kg /m^3) 114
รูปที่ ข.2.3 กราฟกำลังรับแรงอัด (ksc)..... 115
รูปที่ ข.2.4 กราฟแสดงอัตราการดูดซึม (%)..... 115
รูปที่ ข.2.5 อัตราการดูดซึมน้ำที่ Vary ขุยมะพร้าว W/C=0.4,0.6 และ Fixed Foam 100% ,S/C=1..... 119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีการพัฒนานวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในยุคที่เศรษฐกิจของประเทศไทยปัจจุบันนั้น การประหยัดค่าใช้จ่ายมีความสำคัญอย่างมาก คอนกรีตมวลเบาจึงถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว เนื่องจากคอนกรีตมวลเบานั้นมีส่วนผสมพิเศษที่ทำให้น้ำหนักเบา เป็นการลดปริมาณการใช้วัสดุเช่น ซีเมนต์ ได้น้อยลงอีกทั้ง ยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนมากกว่าอิฐชนิดอื่น คอนกรีตมวลเบาทั่วไปมีคุณสมบัติทนความร้อนได้ประมาณ 2-4 ชั่วโมงก่อนเกิดการเผาไหม้ รวมถึงปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าในครัวเรือนนั้นมีแนวโน้ม ว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นข้อได้เปรียบของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า และวัสดุเหลือใช้ก็ คือ ขุยมะพร้าว ที่มีความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ทั้งยังสามารถนำวัสดุเหลือใช้ กลับมาใช้ใหม่ให้ได้มากที่สุด เพื่อลดปัญหามลพิษทางขยะให้น้อยลง ด้วยข้อได้เปรียบสองประการ คือสามารถลดอุณหภูมิภายในอาคาร ยังสามารถลดปริมาณการใช้วัสดุก่อสร้างได้ด้วย

คอนกรีตนิยมใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารหรือสิ่งก่อสร้างโดยนำไปออกแบบ ความหนาแน่นหรือน้ำหนักของคอนกรีตส่งผลให้อาคารหรือสิ่งก่อสร้างมีขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกของอาคารมีค่ามากโครงสร้างที่หนักส่งผลให้ฐานรากอาคารรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นและต้องใช้พื้นที่ก่อสร้างมากหากสามารถลดขนาดหรือน้ำหนักบรรทุกของอาคารลงได้จะสามารถลดต้นทุนการก่อสร้างและลดพื้นที่ก่อสร้างอาคารนั้นได้ ดังนั้นการลดน้ำหนักบรรทุกของอาคารจึงสามารถทำด้วยการลดค่าหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นของคอนกรีตให้มีค่าน้อยลงกล่าวคือควรมีการศึกษาในการผลิตคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาสำหรับใช้เป็นชิ้นส่วนอาคารเช่นพื้นเสาคานฐานรากแผ่นพื้นสำเร็จรูปและผนังต่างๆนอกจากนั้นเป็นการลดต้นทุนในโครงการก่อสร้างได้เป็นอย่างดีซึ่งคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปมีความหนาแน่นประมาณ 400-1, 850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและมีกำลังอัดอยู่ในช่วงประมาณ 10-450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กฤษณ์กิ่งโก้, 2552)

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร และหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดของคอนกรีตมวลเบาจากปัจจัย หลัก 4 อย่าง ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ เส้นใยมะพร้าว และปริมาณโฟม โดยมีค่า กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นในสภาพแห้งและอัตราการดูดซึมน้ำ ตามเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อคมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (มอก.2601-2556) และได้ราคาที่ ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความเป็นฉนวนความร้อนมากขึ้น
2. เพื่อลดปริมาณวัสดุในการก่อสร้างและเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือใช้
3. ลดอุณหภูมิผนังภายในอาคาร

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

1. คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าที่ผสมมวลรวมจากเศษวัสดุเหลือใช้ มีค่าการนำความร้อนน้อยกว่าวัสดุก่อสร้างเดิม
2. ปริมาณวัสดุเหลือให้สามารถใช้เป็นส่วนผสมในการก่อสร้างได้อย่างเหมาะสม และคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาและทดสอบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า ที่จะใช้ในการทดลอง โดยมีตัวแปรคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water Cement ratio, w/c), อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (Sand Cement ratio, s/c), และเปอร์เซ็นฟองโฟมโดยปริมาตร (Percentage of Foam, %) เพื่อเป็นตัวแปรควบคุมเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ มีวัสดุเหลือใช้ผสมอยู่ด้วย
2. คุณสมบัติที่ทำการศึกษา

   ตามมาตรฐาน มาตรฐาน มอก. 2601 – 2556

   - กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) อายุการบ่ม 28 วัน
   - ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)
   - อัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

   คุณสมบัติอื่นๆ

   - การทดสอบความสามารถในการลดความร้อน
   - ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, K) เทียบกับการทดสอบที่ได้จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- อัตราการหดตัว (Autogeneous Shrinkage) ตามมาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน (มยผ. 1332-50)

- การเปรียบเทียบราคาวัสดุ

1.5 วิธีการศึกษา

1. ขั้นตอนการศึกษารวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบา มาตรฐานการทดสอบการออกแบบการ ทดลองหาคุณสมบัติของแต่ละส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาและตัวอย่างที่ผสมวัสดุเหลือใช้
2. คำนวณส่วนผสมและทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่เหมาะสม
3. ทำการผลิตรูปทรงจริงตามมาตรฐานและทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
4. ทำการทดสอบความสามารถในการลดความร้อน,ค่าการนำความร้อน,อัตราการหดตัวการและเปรียบเทียบราคาวัสดุ
5. วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อธิบายเกี่ยวกับ คอนกรีตมวลเบา การศึกษาปริมาณมวลอุณหภาพของผนังภายนอกอาคารในทิศทางต่างๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารในเขตร้อนขึ้นซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของวัสดุทฤษฎีและงานวิจัยการใช้วัสดุผนังทึบประกอบอาคารทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบประหยัดพลังงานและทฤษฎีกับกฎหมายที่เกี่ยวเนื่องกับตัวแปรของผนังทึบว่าด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (overall thermal transfer value, OTTV)รวมถึงการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุเหลือใช้ที่นำมาทดสอบคือ ขุยมะพร้าวสับ

2.1 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete)

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าร์ (Cellular Lightweight Concrete (CLC)) เป็นระบบการผลิตคอนกรีตมวลเบา ภายใต้สภาวะปกติเหมือนกับคอนกรีตปกติที่อาศัยหลักการ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเหมาะสมและมีเสถียรภาพ สูงขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตด้วยการเติมสารก่อฟองอากาศ (Pre-formed Stable Foam) วิธีนี้เป็นเทคโนโลยีที่ได้ รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยที่คุณภาพ ของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับวัสดุองค์ประกอบ สัดส่วนผสม ชนิดของสารก่อฟองอากาศและเทคนิคการผสมที่ถูกต้อง เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีน้ำ หนักเบาซึ่งเป็นการลดน้ำ หนักของ โครงสร้างลง รับกำลังได้อย่างเพียงพอ การดูดซึมน้ำต่ำ การติดตั้งด้วยการตอกตะปูและการฝังพุกสามารถทำ ได้ ง่าย เป็นต้น จากข้อดีดังกล่าวทำ ให้คอนกรีตมวลเบาได้รับความนิยมสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ภายใต้ข้อกำจัดทางด้าน วัสดุดั้งเดิมที่ใช้อยู่ซึ่งโดยปกติจะเลือกใช้จากปูนซีเมนต์ และทราย ทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนาวิจัยวัสดุทดแทน ที่สามารถจัดหาได้ง่ายที่มีศักยภาพในการนำ มาใช้เป็นส่วนประกอบของคอนกรีตมวลเบา โดยในที่นี้ใช้วัสดุเหลือใช้เป็น ขุยมะพร้าวสับ

2.1.1 การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามประเภทของวัสดุที่ใช้

คอนกรีตมวลเบา (lightweight concrete) โดยนิยามหมายถึง คอนกรีตที่มีความหนาแน่น น้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยทั่วไปคอนกรีตธรรมดามีความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ 2,240 - 2,480 กก./ม^3 ในขณะที่คอนกรีตมวลเบามีความหนาแน่นระหว่าง 300 - 1,680 กก./ม^3 คอนกรีตมวลเบาสามารถทำได้โดยการแทนที่วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงด้วยวัสดุที่มี ความหนาแน่นต่ำ (ความพรุนสูง) หรือการแทนที่เนื้อคอน กรีตบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ด้วยฟองอากาศ ถ้าหากแบ่ง คอนกรีตมวลเบาตามประเภทของวัสดุที่ใช้ในการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ๆ ดังนี้

1) คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด (No - Fine Aggregate) เป็นคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนประกอบหลัก คือ ซีเมนต์ น้ำ และมวลรวมหยาบโดยไม่มีมวลรวมละเอียดทำให้เกิดช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบส่งผลให้มีน้ำหนักเบาขึ้น วัสดุมวลรวมหยาบที่ใช้ได้แก่ กรวดโม่หรือหินโม่ ตะกรันเม็ดหยาบ ขี้เถ้าเชื้อเพลิงเผาดิน เหนียวพองตัวและตะกรันเผา คอนกรีตไร้มวลละเอียด เป็นลักษณะที่อนุภาคของมวลหยาบยึดเกาะเข้าด้วยกันโดยที่ขอบอนุภาคจะถูกเคลือบด้วยซีเมนต์เพสต์มีความหนาประมาณ 1 - 3 มม. ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมหยาบขนาดใหญ่ในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้กำลังอัดค่อนข้างต่ำ

น้ำหนักหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีตไว้มวลรวมละเอียดจะขึ้นอยู่กับชนิดมวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสม ขนาดที่ใช้ควรมีขนาดเท่าๆ กัน ขนาดที่ใช้จะอยู่ช่วง 9.50 - 19 มม. และยอมให้มวลรวมหยาบที่ขนาดใหญ่กว่านี้ประมาณร้อยละ 15 และมวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กแต่ไม่เล็กกว่า 4.76 มม. ประมาณร้อยละ 10

โดยทั่วไปคอนกรีตชนิดนี้จะมีจะมีหนาแน่นประมาณ 1,600 - 2,000 กก./ลบ.ม. กำลังอัดจะอยู่ระหว่าง 18 - 180 กก. / ตร.ซม. ทั้งนี้กำลังอัดของคอนกรีตชนิดนี้ขึ้นอยู่กับมวลรวมที่แปรผันโดยตรงกับปริมาณปูนซีเมนต์ (ปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นกำลังจะเพิ่มขึ้น) ส่วนค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.38 - 0.52 เนื่องจากคอนกรีตชนิดนี้การยึดเกาะกันเพียงเล็กน้อยจึงควรทิ้งไม้แบบไว้นานพอสมควรเพื่อให้คอนกรีตพัฒนากำลัง

คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดมักไม่ใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็กแต่ถ้าต้องใช้ควรจะเคลือบเหล็กเสริมด้วยด้วยน้ำปูนให้หนาประมาณ 3 มม. เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะและป้องกันการกัดกร่อนวิธีง่ายที่สุดในการเคลือบเหล็กเสริม

2) คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา (Light weight Aggregate concrete) เป็นคอนกรีตมวลเบาชนิดหนึ่งใช้วัสดุมวลรวมที่มีน้ำหนักเบามาแทนที่หินซึ่งมีลักษณะที่สำคัญคือมีความพรุนทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบามีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 60 - 1,000 กก./ลบ.ซม. ชนิดของมวลรวมน้ำหนักเบาสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

1.มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หิน vermiculite, Perlite, Pumice และScoria ซึ่งเป็นลาวาที่พองตัวตามธรรมชาติเกิดขึ้นเวลาภูเขาไฟระเบิดมวลรวมชนิดนี้ใช้ผสมคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมากนัก

2.มวลรวมเบาที่ได้จากกระบวนการการผลิตเป็นมวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีตมากที่สุดสามารถจำแนกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1 Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศและนำไปเผาในหม้อ (Rotary Kin) ที่ 1,200 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้จะมีการขยายตัวเนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์เกิดเป็นฟองกาศอยู่ในเนื้อหินลักษณะของหินพวกนี้จะมีรูปร่างกลมแข็งผิวเรียบแน่นแต่เนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ

2.2 Expanded Shale Aggregate ได้จากการนำดินดาน (Shale) มาผสมกับถ่านที่บดละเอียดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส วัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกันและจะมีฟองอากาศ ถูกกักไว้ภายในเนื้อหินลักษณะเป็นหิน ที่ที่มีความแข็งมากหลังจากที่เผามวลรวมทั้งสองได้ที่ แล้วจะนำมวลรวมที่ได้ไปย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการมวลรวมชนิดนี้จะมีความแข็งแรงค่อยข้างดีจึงเป็นที่นิยมใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบา

2.3 Sintered Fly Ash ได้จากการเอาขี้เถ้า (Fly Ash) ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินไปทำเป็นเม็ดก่อนแล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้อนุภาคนี้อนุภาคของขี้เถ้าจะเกาะกันผิวของมวลรวมเบาชนิดนี้ค่อนข้างเรียบ

3. มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกบางชนิดใส่ผสมเข้าไปในคอนกรีต มวลรวมที่ได้จากของเหลือจากกระบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าที่หนัก (Furnace Bottom Ash) ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหรือจากการพ่นน้ำไปบนขี้ตะกรัน (Slag) ที่หลอมเหลนอันจะก่อให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อขตะกรันที่แข็งตัวหลังจากนั้นจะนำไปย่อยเพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ

3) คอนกรีตฟองอากาศ (Foam and Aerated Concrete) เป็นคอนกรีตซึ่งทำให้มีน้ำหนักเบาโดยทำให้เปิดการกระจายฟองอากาศในส่วนผสมของซีเมนต์และทรายละเอียดที่ยังอยู่ในสภาพพลาสติกจากนั้นปล่อยให้แข็งตัวเนื่องจากคอนกรีตฟองอากาศจะมีรูพรุนจากฟองอากาศและไม่ใช้มวลรวมหยาบในการผลิต ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่า Aerated Mortar เรียกตามลักษณะของเนื้อคอนกรีตใช้เรียกในประเทศอังกฤษและอเมริกาแต่ในทวีปยุโรปจะเรียกตามกรรมวิธีการผลิตเรียกว่า Foam Concrete ลักษณะการผลิตคอนกรีตพรุนแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือแบบหล่อในที่ (In Situ Concrete) และแบบหล่อสำเร็จซึ่งรวมทั้งบล็อกสำหรับก่อสร้าง (Building Block) โดยทั่วไปแล้วมักจะบ่มด้วยไอน้ำความดันสูงแต่แบบหล่อในที่นั้นใช้บ่มด้วยอากาศความแตกต่างเพียงวิธีการปมก็เป็นเครื่องบ่งชี้ว่าจะได้ค่ากำลังอัด (Strength) และค่า Drying Shrinkage ในค่าที่ต้องการหรือไม่โดยที่คอนกรีตพรุนที่บ่มด้วยอากาศมักจะมีค่ากำลังน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของแบบที่บ่มด้วยไอน้ำความดันสูงเมื่อมีความหนาแน่นเท่ากันและจะมีค่า Dying Shrinkage เป็น 4 หรือ 5 เท่ายิ่งไปกว่านั้นคอนกรีตพรุนที่บ่มด้วยอากาศไม่สามารถใช้ปูนขาวเป็นตัวเชื่อมได้ คอนกรีตพรุนสำเร็จรูปโดยทั่วไปมักจะทำบล็อก (Block) สำหรับก่อสร้างจากการที่คอนกรีตพรุนมีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนที่ดีจึงสามารถนำคอนกรีตพรุนไปใช้ในที่หนาวจัดเช่นแถบขั้วโลกจนถึงเขตร้อนจัดในแถบศูนย์สูตรอีกประการหนึ่งคอนกรีตยังมีคุณสมบัติหลายอย่างคล้ายไม้เช่นสามารถเลื่อยทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็นแผ่นเจาะตอกตะปูและสามารถต่อกันได้โดยเชื่อมด้วยกาวแต่ไม่ติดไฟจึงสามารถนำไปใช้แทนไม้ในส่วนประกอบโครงสร้างที่รับแรงอัดเพราะจะไม่มีความสามารถในการรับแรงดึงได้

2.1.2 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าร์ (Cellular Lightweight Concrete)

คอนกรีตมวลเบาต่างจากคอนกรีตทั่วไป ทั้งเรื่องส่วนผสมและคุณสมบัติทางกายภาพ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับผู้ที่ทำการศึกษาว่าจะกำหนดและออกแบบอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย น้ำและ ปริมาณโฟมมากน้อยเพียงใด โดยคุณสมบัติที่ทำการศึกษาประกอบด้วย

2.1.2.1 กำลังรับแรงอัด (*Compressive Strength)*

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบานั้น จะมีค่าค่อนข้างต่ำ อยู่ที่ประมาณ 10 ถึง 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ยกเว้นคอนกรีตมวลเบาสำหรับโครงสร้าง จำเป็นต้องมีกำลังรับแรงอัด มากกว่า 170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C330 จากการศึกษาที่ผ่านมา ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา มีดังนี้

ได้มีศึกษาการทำนายคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC จากค่าความหนาแน่น พบว่ากำลังอัดจะลดลง เมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าลดลง เนื่องจาก ตัวอย่างของคอนกรีตมวลเบามีโครงสร้างภายในประกอบด้วยช่องอากาศเล็กๆ ซึ่งช่องอากาศเหล่านี้ ทำให้ตัวอย่างมีน้ำหนักเบาแต่ไม่สามารถช่วยรับแรงกดทับได้ นอกจากนี้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ยัง มีผลต่อกำลังรับน้ำหนัก ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อย กำลังรับน้ำหนักจะมากขึ้น เนื่องจาก มีการเรียงตัวของอนุภาคแน่นหนากว่า และตัวอย่างที่มีอายุการบ่มนานขึ้น กำลังรับแรงอัดก็จะ เพิ่มขึ้นและการผสมสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ทำให้ส่วนผสมมีความสามารถทำงานได้ดีและส่งผลให้ คุณสมบัติต่างๆดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์ช่วยกระจายอนุภาคของปูนซีเมนต์ทำ ให้มีน้ำอิสระเหลือมากขึ้น เป็นผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดได้ดีขึ้น ทำให้คุณสมบัติโดยรวมของ คอนกรีตรวมทั้งกำลังรับแรงอัดดีขึ้นด้วย

2.1.2.2 ความหนาแน่น (Density)

ลักษณะเด่นของคอนกรีตมวลเบา คือมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยทั่วไปมีค่าน้อยกว่า 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่หากนำไปใช้เป็นคอนกรีต เสริมเหล็กสำหรับโครงสร้างหลักควรมีค่าไม่น้อยกว่า 1,680 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามมาตรฐาน ASTM330 โดยความหนาแน่นจะมีค่าลดลง เมื่อเติมปริมาณโฟมเพิ่มขึ้น เนื่องจากช่องว่างในเนื้อคอนกรีตมีมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2.3 อัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

คอนกรีตมวลเบามีการดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากมีรูพรุนในเนื้อคอนกรีต มากกว่าในงานฉาบผิวผนังก่อ ควรควบคุมให้อัตราการดูดซึมน้ำไม่มากเกินไปเพราะจะทำให้ผิว คอนกรีตแตกร้าวได้ โดยได้มีการศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC พบว่า อัตราการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นมีค่าลดลงจากการเติมโฟม เนื่องจากเนื้อคอนกรีตมี ฟองอากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการดูดซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน น้ำต่อน้ำยาโฟม โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อน้ำยาโฟมมากขึ้น การหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำ จะคำนวณตามสมการที่ (2.1)

$$A=\frac{(m_2-m_1)}{m_1}\times 100 \qquad (2.1)$$

เมื่อ A คืออัตราการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)

m_1 คือมวลของชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง (กรัม)

m_2 คือมวลของชิ้นทดสอบเมื่อเปียก (กรัม)

2.1.3 มาตรฐานคอนกรีตมวลเบาระบบ Cellular Lightweight Concrete

สำหรับประเทศไทย ได้มีการประกาศกฎกระทรวงอุตสาหกรรมเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบา แบบเติมฟองอากาศ มอก.2601 - 2556 ในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มี คุณลักษณะผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601 - 2556 ด้วยคุณสมบัติที่สำคัญ 3 ประการคือ

1) ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง ตามตารางที่ 2.1

2) ความต้านทานแรงอัด ตามตารางที่ 2.2

3) อัตราการดูดซึมน้ำ ตามตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 ชนิดของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556

ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ย (kg/m^3)
C6	501 ถึง 600
C7	601 ถึง 700
C8	701 ถึง 800
C9	801 ถึง 900
C10	901 ถึง 1000
C12	1001 ถึง 1200
C14	1201 ถึง 1400
C16	1401 ถึง 1600

ตารางที่ 2.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556

ชนิด	ความต้านทานแรงอัด ไม่น้อยกว่า Mpa (kg/cm^2)
C6	2.0 (20.4)
C7	
C8	
C9	2.5 (25.5)
C10	
C12	
C14	5.0 (51.0)
C16	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.3 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.2601-2556

ชนิด	อัตราการดูดซึมน้ำ ไม่มากกว่า % (เศษส่วนโดยมวล)
C6	25
C7	
C8	
C9	23
C10	
C12	
C14	20
C16	

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่าง ของอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่าง ตัวกลาง การถ่ายเทความร้อน มักจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน คือ “ความแตกต่างของอุณหภูมิ” (Temperature Different) ถ้าตัวกลางสองตัวมีอุณหภูมิเท่ากันจะไม่เกิดการ ถ่ายเทความร้อน ดังนั้นความแตกต่าง ของอุณหภูมิจึงเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving Force) เพื่อให้เกิด การถ่ายเทนั่นเอง อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ความลาดชันของอุณหภูมิ หมายถึง ความแตกต่างของอุณหภูมิต่อหน่วยความยาว หรือ อัตราการลดลงของอุณหภูมินั่นเอง สมการพื้นฐานสำหรับกระบวนการถ่ายโอน

$$\text{Rate of a Transfer Process} = \frac{\text{Driving force}}{\text{Resistance}} \qquad (2.2)$$

โดยทั่วไปความร้อนจากภายนอกที่มาจากแหล่งกำเนิดจากดวงอาทิตย์จะมาในรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ (Extraterrestrial Solar Radiation) สู่พื้นผิวโลกส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับไปและส่วนที่เรื่อยจะเคลื่อนเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศ โดยบางส่วนจะถูกกระเจิง (Scatter) และดูดกลืน (Absorption) โดยโมเลกุลของอากาศไอน้ำและฝุ่นละอองส่วนความร้อนที่เหลือจะลงสู่พื้นผิวโลก ซึ่งจะมีทั้งสะท้อนกลับไปสู่ชั้นบรรยากาศ และถูกดูดกลืนไว้ซึ่งความร้อนที่สะสมไว้ จากการดูดกลืนจะทำให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะพยายามถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เข้าสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงการถ่ายเทสู่ตัวอาคารด้วยเช่นกันโดยมีการถ่ายเทความร้อน 3 แบบ คือการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี

2.2.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นใน วัตถุที่เป็น ตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่เนื่องจากมี การไหลหมุนเวียนเกิดขึ้นในของเหลวและแก๊ส แต่สำหรับในของแข็งทึบ แสงจะไม่มีการเคลื่อนไหวภายในวัสดุจะมี แต่การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำเพียงอย่างเดียว อัตราการถ่ายเทความร้อนโดย การนำความร้อนจะเป็นสัดส่วน กับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) คูนกับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหลผ่าน ดัง สมการ

$$\text{Rate of Conduction} \propto \frac{(\text{Area})(\text{Temperature Difference})}{\text{Thickness}} \qquad (2.3)$$

การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพงซึ่งปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนขึ้นกับสภาพน้ำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุซึ่งปัจจัยที่มีผลในการนำความร้อนยังขึ้นกับ (1) ความหนาแน่นของวัสดุ (2) ความชื้นของวัสดุ (3) ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวทั้ง 2 ด้าน (4) ความหนาของวัสดุ (5) ระยะเวลาในการสัมผัสกับความร้อน

2.2.2 การพาความร้อน (Convention)

การถ่ายเทความร้อนโดยมีอากาศเป็นตัวกลางในการพาความร้อนซึ่งจะเกิดได้ในกรณีทั้งการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุออกมาจากผนังทำให้อากาศโดยรอบร้อนขึ้นส่งผลให้อากาศร้อนซึ่งมีความหนาแน่นต่ำมีมวลเบาก็จะลอยตัวสูงขึ้นอากาศที่เย็นก็จะหมุนเวียนเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ-การพาความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นได้เป็น

1.การพาความร้อนแบบอิสระโดยธรรมชาติซึ่งอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของไหลจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2.การพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้แรงภายนอกมาบังคับการเคลื่อนที่ของของไหลที่เคลื่อนผ่านพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิต่างกันสำหรับกรณีที่มีลมมีความเร็วมากกว่า 4-5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2.2.3 การแผ่รังสี (Radiation)

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีในลักษณะของรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศและสุญญากาศ (Electromagnetic Waves) เช่นความร้อนจากดวงอาทิตย์แผ่รังสีมายังผิวโลกและตัวอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยตรงร่วมถึงจากรังสีความร้อนคลื่นยาวที่แผ่มาจากวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมโดยรอบการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีของวัสดุจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 4 ประการ

1. ความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน (Absorptivity)

2. ความสามรถในการสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity)

3. ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)

4. ความสามารถในการส่งผ่านรังสีความร้อน (Transitivity) (สวิชญาดาวประกาย มงคล, 2552. 16)

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะมีผลต่อวัสดุประกอบอาคารโดยมากน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวสีที่สามารถดูดซับและสะท้อนรังสีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสี (Absorptivity) มีค่า 0.0-1.0 โดยวัสดุที่ดูดกลืนรังสีได้ทั้งหมดจะมีสภาพดูดกลืนทั้งหมดเท่ากับ 1.0 และจะลดลงเรื่อยๆจนถึง 0.0 เมื่อวัสดุนั้นมีประสิทธิภาพการสะท้อนรังสีที่กระทบทั้งหมดเรียกว่าสภาพสะท้อน (Reflectivity) ดังนั้นเปลือกอาคารทั้งหมดจึงเป็นสื่อกลางในการนำความร้อนสู่อาคารหากทำการก่อสร้างอาคารอนุรักษ์พลังงานการดูปัจจัยของค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน (U-value) จึงมีความสำคัญดังนั้นการเลือกวัสดุที่มีค่าการส่งผ่านความร้อนต่ำจะช่วยการลดปริมาณการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร

2.3 คุณสมบัติทางกายถ่ายเทความร้อนของวัสดุก่อสร้าง

2.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าการนำความร้อนเป็นค่าที่บอกความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุแต่ละชิ้นซึ่งวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านหน้าตัดของพื้นที่ผิวหน่วยจากอุณหภูมิที่แตกต่างจากฝั่งหนึ่งไปอีกฝั่งหนึ่งของวัสดุเรียกว่าค่า K (K-value) มีหน่วยคือ $W/m^2 . ℃$

2.3.2 ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance)

ค่าความต้านทานความร้อนเป็นค่าที่บอกอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวของปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ (K-value) โดยอัตราส่วนนี้คือค่าที่แสดงประสิทธิภาพของวัสดุในการเป็นฉนวนกันความร้อนเรียกว่าค่า R value) มีหน่วยเป็น $m^2℃/W$ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าหากมีค่า R มากเท่าใดวัสดุชิ้นนั้นจะมีลดปริมาณการส่งถ่ายความร้อนก็ได้มากเท่านั้นซึ่งค่าการต้านทานความร้อนหรือค่า R สามารถคำนวณได้จาก

$$R = \frac{\Delta X}{K} \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อ R = ค่าการต้านทานความร้อน (m^2℃/W)

ΔX = ความหนาของวัสดุที่นำมาพิจารณา

k = ค่าการนำความร้อน (W/m^2. ℃)

2.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value)

คือผลรวมของอัตราส่วนกลับของของค่าความต้านความร้อน (R-value) ซึ่งค่านี้รวมวัสดุที่ประกอบผนังในชิ้นนั้นทั้งหมดในกรณีของผนังทึบจะรวมตั้งแต่ความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกวัสดุฉาบภายนอกค่าวัสดุประกอบผนัง (อิฐ, คอนกรีต, ไม้) วัสดุฉนวนกันความร้อนวัสดุฉาบภายในและความร้อนของฟิล์มอากาศภายในกล่าวได้ว่าการศึกษาการนำความร้อนของวัสดุหากเป็นกรณีของกระจกจะรวมตั้งแต่ค่าความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกวัสดุกระจกและค่าความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน

$$U=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+...+\frac{1}{R_n} \quad (2.5)$$

โดยที่ R = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (W/m^2. ℃)

R_n= ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ ลำดับที่ n

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (m^2℃/W)

2.3.4 ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity)

ความจุความร้อนจำเพาะคือเป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและอุณหภูมิโดยปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตรที่ทำให้มวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาโดยมีหน่วยเป็น Cal/g℃ หรือ J/kg. ℃

$$\Delta Q=mc\Delta T \quad (2.6)$$

โดยที่ C คือความจุความร้อนจำเพาะ (J / kg-℃)

M คือจำนวนมวล (kg)

ΔQ คือความร้อนที่ให้แก่วัตถุ (J)

ΔT คืออุณหภูมิของวัตถุที่เปลี่ยนไป (℃)

ค่าความจุความร้อนของแต่ละวัสดุ จะสามารถเก็บสะสมความร้อนไว้ในวัสดุหรือกล่าวได้ว่าเป็นตัวการที่ชะลอการถ่ายเทความร้อนตามระยะเวลาที่วัสดุนั้น จะสามารถทำได้ดังนั้นการเลือกค่าความจุความร้อนไปใช้นั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆว่า ต้องการหน่วงเหนี่ยวการพาความร้อนไว้นานเท่าใด (Time lag) หากต้องการลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การถ่ายเทความร้อนมาก ในช่วงกลางวันการใช้ความจุความร้อนมาก จะช่วยหน่วงเหนี่ยวให้ความร้อนอยู่สะสมนานจนไปถึงกลางคืน ในกรณีที่ใช้งานอาคารตอนกลางวันซึ่งเหมาะกับสภาพอากาศที่แตกต่างกันมากๆ และในทางกลับกันหากต้องการให้ต้องการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็ว ก็ใช้วัสดุที่มีความจุความร้อนต่ำเหมาะกับในสภาพอากาศที่มีความใกล้เคียงกันตลอดทั้งวันและใช้งานตลอดทั้งวัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์หลังงาน, 2555)

2.3.5 คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี

พฤติกรรมการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุทับตันประกอบด้วย 3 แบบ (สรญาประวิตะรางกูร, 2543: 8) ได้แก่ การดูดกลืนรังสีของพื้นผิววัสดุ (Surface absorptivity), การสะท้อนรังสีของพื้นผิววัสดุ (Surface reflectivity) และการคายรังสีของพื้นผิววัสดุ (Surface emissivity) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นลักษณะของพื้นผิววัสดุสีลักษณะตำแหน่งของวัสดุรวมถึงความยาวคลื่นที่ตกกระทบ

การดูดกลืนรังสีของวัสดุขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นผิววัสดุอันได้แก่ สีหรือวัสดุเคลือบผิวซึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสี (Absorptivity) มีค่า 0.0 - 1.0 โดยวัสดุที่ดูดกลืนรังสีได้ทั้งหมดจะมีสภาพดูดกลืนทั้งหมดเท่ากับ 1.0 และจะลดลงเรื่อยๆจนถึง 0.0 เมื่อวัสดุนั้นมีประสิทธิภาพการสะท้อนรังสีที่กระทบทั้งหมดเรียกว่าสภาพสะท้อน (Reflectivity) โดยผลรวมของค่าสัมประสิทธิของทั้งการดูดกลืนรังสีและสะท้อนรังสีจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของมวลสาร

2.4.1 การจัดวางตำแหน่งผนังมวลสารภายนอกอาคาร

ลักษณะการวางทิศทางผนังมวลสารจะขึ้นอยู่กับการวางตัวอาคารที่มีทิศทางสอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับสภาพแวดล้อมที่ตั้งและอาคารโดยแยกเป็น 2 ปัจจัยคือพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) ที่ถูกแผ่ลงมายังโลกและวงโคจรของดวงอาทิตย์ (Solar Geometry) (ธนิต จินดาวณิค, 2540: 26)

พลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar Radiation)

เป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบขอบบรรยากาศเรียกว่า รังสีที่นอกโลก (Extraterrestrial Solar Radiation) ซึ่ง ประกอบด้วย ช่วงคลื่นสั้น ตั้งแต่ 290-300 นาโนเมตร ถึง 97เปอร์เซ็นต์ ส่วนของรังสีนอกโลกที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงผิวโลกจะถูกกระจายและดูดกลืนโดยโมเลกุลของก๊าซต่างๆ อนุภาคฝุ่น และเมฆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ การแบ่งรังสีดวงอาทิตย์ตามคุณสมบัติและช่วงคลื่นได้แก่

1.รังสีแสงสว่าง (Visible Radiation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แสงสว่างเป็นรังสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ช่วงสเปกตรัมของแสงสว่างต่ำสุด เริ่มตั้งแต่ 360 ถึง 400 นาโนเมตร และสูงสุดอยู่ระหว่าง 360-830 นาโนเมตร(ICI 1987a) ทั้งนี้ 99 เปอร์เซ็นต์ของรังสีแสงสว่างจะอยู่ในช่วง 400-730 รังสีที่ช่วงคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร เรียกว่ารังสีอัลตราไวโอเลต และยาวกว่า 800 นาโนเมตรเรียกว่า รังสีอินฟราเรด

2.รังสีอัลตราไวโอเลต

มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แบ่งออกเป็น 3 ช่วง (IEC 1987) คือ

UV-A: 315-400 ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมากนัก ความเข้มที่ผิวพื้นไม่ขึ้นกับปริมาณโอโซนในบรรยากาศ

UV-B: 280-315 มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมาก ความเข้มที่ผิวพื้นขึ้นกับปริมาณโอโซนในบรรยากาศ ความเข้มขึ้นกับความยาวคลื่น

UV-C: 100-280 ถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศทั้งหมดไม่พบที่ผิวพื้นโลก

วงโคจรของดวงอาทิตย์ (Solar Geometry)

ทิศทางการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ตลอดปีมีอิทธิผลต่อการออกแบบอาคารตั้งแต่การวางตำแหน่งอาคารสัดส่วนของพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดโดยลักษณะภูมิประเทศของไทยตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรที่ละติจูด 14 การโคจรของดวงอาทิตย์จะมีลักษณะอ้อมใต้ดังนั้นทั้งแสงธรรมชาติ (Daylight) และการแผ่รังสีโดยของดวงอาทิตย์ (Direct Radiation) จะมีมากในทางทิศใต้มากกว่าทางทิศเหนือเพราะเนื่องจากช่วงเวลาตลอดทั้งปีที่ดวงอาทิตย์โคจรจะทำมุมกับโลกและที่ตั้งอาคาร

2.4.2 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

วัสดุที่สามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้มากจะมีคุณสมบัติดังนี้คือมีค่าความหนาแน่นมาก (ρ), มีค่าความจุความร้อนจำเพาะมาก (C), มีค่าการนำความร้อนสูง (γ) ส่วนค่าของ Thermal diffusivity ซึ่งมีค่าเท่ากับ γ/c (หรือ $\gamma/\rho S$ เมื่อ S คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ) จะเป็นตัวแปรหนึ่งที่ควบคุมการถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัสดุโดยวัสดุที่มีค่า Thermal diffusivity สูงจะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนตามวัฏจักรของช่วงเวลา (cycle) ได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่า Thermal diversity น้อย

$$m=\rho V \qquad (2.7)$$

โดยที่ ρ คือความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)

m คือมวลรวมของวัตถุ (kg)

V คือปริมาตรรวมของวัตถุ (m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.3 อิทธิผลของวัสดุประกอบมวลสารผนัง

การเลือกใช้มวลสารของผนังมีส่วนสำคัญต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนของผนังสู่ภายในอาคารการเลือกใช้มวลสารที่เหมาะสม จะช่วยลดการใช้พลังงานความเย็นลงได้ในอาคารที่ใช้การทำความเย็นเป็นส่วนหลัก เนื่องมาจากวัสดุสามารถจุความร้อนลงในตัวมันได้ หรือมีคุณสมบัติในการหน่วงความร้อน (Thermal Mass) โดยยอมให้ความร้อนผ่านแต่ทิ้งช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะส่งผ่านไปซึ่งเรียกว่าเวลาที่หน่วงความร้อน (Time lag) และช่วงเวลาหน่วงความร้อนจะมากขึ้นตามความหนาของผนังตัวอย่าง ที่ชัดเจนคืออาคารก่ออิฐในสมัยโบราณเพราะวัสดุอิฐมีความหนาและมีความหนาแน่นสูงดังนั้น จึงเป็นวัสดุที่ช่วยในการหน่วงความร้อนในตอนกลางวันที่ร้อนจัด และจะถ่ายออกในเวลากลางคืนซึ่งช่วยในการสร้างความเย็นให้กับอาคาร ในช่วงกลางวันที่มีแดดร้อนจัดและช่วยให้อาคารอบอุ่นขึ้นในช่วงเวลากลางคืนในสภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ (ตรึงใจบูรณสมภพ, 2539: 39)

วัสดุ	ความหนา(นิ้ว)	U-Value (W/m^2- ℃)	Time-lag (hours)
อิฐ	4	0.61	$2^1/_2$
	8	0.41	$5^1/_2$
	12	0.31	$8^1/_2$
คอนกรีต(ผสมแล้ว)	4	0.85	$2^1/_2$
	8	0.67	5
	12	0.55	8
แผ่นฉนวนกันความร้อน	2	0.16	40 mins.
	4	0.09	3
ไม้	1/2	0.68	10 mins.
	1	0.47	25 mins.
	2	0.3	1

นอกจากนี้ลักษณะการพาความร้อนจากผนังมวลสารมีผลกระทบอย่างยิ่งต่อสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) ว่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพันธ์อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบายก็ตามแต่ถ้าหากอุณหภูมิบนพื้นผิวโดยรอบห้องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ผิวโดยรอบ MRT (Mean Radiant Temperature) ผู้ใช้อาคารก็จะรู้สึกร้อนได้ซึ่งค่า MRT นี้มีผลต่อความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิได้มากถึง 40% ซึ่งในกรณี MRT สูงเพิ่มขึ้น 1 °C จะต้องลดอุณหภูมิอากาศลง 1.4 °C หรือ MRT ลดลง 1 °Cจะต้องเพิ่มอุณหภูมิอากาศลง 1.4 °C เพื่อให้ได้ความรู้สึกร้อนหนาว (Thermal Sensation) เหมือนเดิม (ธนิตจินดาวณิค, 2540, 41)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านมวลสาร

ปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1.คลื่นความร้อนจะจางลงปริมาณความร้อนผ่านเข้ามาได้บางส่วนเกิดจากคุณสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุที่ได้จากค่าของสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนซึ่งยิ่งต่ำก็ยิ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

2.เกิดช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้จากคุณสมบัติของความร้อนจำเพาะของวัตถุกับมวลของวัตถุซึ่งค่าการกักเก็บความร้อนยิ่งมากก็ยิ่งมีเวลาที่ได้จากการหน่วงเหนียวความร้อนมากอากาศจึงเป็นฉนวนความร้อนที่ดีโพรงอากาศอยู่ภายในจึงมีน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนความร้อนในทางตรงกันข้ามวัสดุที่น้ำหนักมากมีมวลแน่นเป็นวัสดุที่มีช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ดี

สำหรับในโครงสร้างการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนผ่านส่วนของผนังระหว่างภายนอกกับภายในอาคารจะพบว่าผนังภายนอกในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิเปลือกอาคารจะสูงขึ้นจนถึงช่วงบ่ายจนอุณหภูมิลด จนถึงเวลาช่วงกลางคืน เนื่องจากความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมาสู่ตัวอาคารซึ่งในแต่ละช่วงเวลาการถ่ายเทความร้อนจะผ่านผนังเข้าไปอย่างต่อเนื่อง โดยผนังภายในในช่วงเที่ยงคืนจะมีอุณหภูมิต่ำจนเมื่อเริ่มมีการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์ในช่วงเช้า ความร้อนจะเข้าสู่ตัวผนังมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น โดยอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมื่อเข้าสู่ช่วงบ่าย-เย็นอุณหภูมิระหว่างผนังภายนอกและภายในจะเท่ากันเกิดดุลยภาพทางความร้อน (Thermal balance) แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงกลางคืน ความร้อนที่ถูกสะสมในผนังและภายในอาคารจะถ่ายเทกลับสู่ภายนอกอาคาร เมื่อความร้อนจะดวงอาทิตย์หมดลงดังนั้นวัสดุที่จะถูกนำมาใช้ผนังเปลือกอาคารย่อมจะต้องมีการสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้ซึ่งเป็นปรากฏการที่เป็นวงจรตลอดทั้งวัน และโดยสภาพอากาศภายในอาคารประเภทเขตร้อนชื้นย่อมมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงทั้งภายใน และภายนอกการปรับอากาศภายในอาคารจึงมีความจำเป็นฉะนั้นความสอดคล้องในการเลือกใช้วัสดุประกอบผนังอาคารที่ช่วยลดการเหนี่ยวนำความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารในแต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสมทั้งกลางวัน และกลางคืนที่จะส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศจึงย่อมเป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยลดการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV)

ระบบกรอบอาคารประกอบด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร(Overall thermal transfer value,OTTV)และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof thermal transfer value, RTTV) มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบดังนี้

1.สมบัติความร้อนของวัสดุ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น(p) ความจุความร้อนจำาเพาะ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC) เป็นต้น

2.อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio, WWR)

รูปที่ 2.1 แสดงอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

3.ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient,SC) มีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยที่ค่า SC=1หมายถึงผนังไม่มีการบังของอุปกรณ์บังแดด

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

4.ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนังอาคารอ้างอิงตามสีอ่อน-สีเข้ม โดยมีค่าตั้งแต่ 0.3-0.9 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนัง

สำหรับประเทศไทยได้มีการออกกฎกระทรวงว่าด้วยกำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารเพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันสำหรับอาคารในประเทศไทยซึ่งใช้การเทียบเคียงค่าที่ได้ให้เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารแต่ละประเภทอันได้แก่

สำนักงาน, สถานศึกษามีค่า OTV เฉลี่ยไม่เกิน 50 W/m^3

ห้างสรรพสินค้า, ร้านค้าย่อยมีค่า OTTV เฉลี่ยไม่เกิน 40 W/m^3

โรงแรมโรงพยาบาลสถานพักฟื้นมีค่า OTTV เฉลี่ยไม่เกิน 30 W/m^3

(กระทรวงพลังงาน, 2552)

ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารแต่ละด้านคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$OTTV_1 = (U_W)(1\text{-}WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (2.8)$$

โดยที่

U_W คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบมีหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส วัตต์/ตรม.

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงมีหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรองศาเซลเซียส วัตต์/ตรม.

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

ESR คือ ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ผ่านผนังโปร่งแสงและหรือผนังทึบมีนหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร วัตต์/ตรม

2.7 ข้อมูลของวัสดุเหลือใช้

2.7.1 ลักษณะทั่วไป

มะพร้าว เป็นพืชยืนต้น ใบมีลักษณะเป็นใบประกอบแบบขนนก ผลประกอบด้วยเอพิคาร์ป (epicarp) คือเปลือกนอก ถัดไปข้างในจะเป็นมีโซคาร์ป (mesocarp) หรือใยมะพร้าว ถัดไปข้างในเป็นส่วนเอนโดคาร์ป (endocarp) หรือกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีคล้ำอยู่ 3 รู สำหรับงอก ถัดจากส่วนเอนโดคาร์ปเข้าไปจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็นส่วนเอนโดสเปิร์ม หรือที่เรียกว่าเนื้อมะพร้าว ภายในมะพร้าวจะมีน้ำมะพร้าวซึ่งน้ำมะพร้าวเกิดจากเอนโดสเปิร์มของมะพร้าวซึ่งจะมีเอนโดสเปิร์มทั้งของแข็งและของเหลว คือ เอนโดสเปิร์มของแข็งจะเป็นเนื้อมะพร้าว และเอนโดสเปิร์มทั้งของเหลวจะเป็นน้ำมะพร้าว ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่ เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมด ขณะที่มะพร้าวยังอ่อน ชั้นเอนโดสเปิร์ม (เนื้อมะพร้าว) ภายในผลมีลักษณะบางและอ่อนนุ่ม ภายในมีน้ำมะพร้าว ซึ่งในระยะนี้เรามักสอยเอามะพร้าวลงมารับประทานน้ำและเนื้อ เมื่อมะพร้าวแก่ ซึ่งสังเกตได้จากการที่เปลือกนอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ชั้นเอนโดสเปิร์มก็จะหนาและแข็งขึ้น จนในที่สุดมะพร้าวก็หล่นลงจากต้น

2.7.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะพร้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Cocos nucifera L. อยู่ในตระกูล Palmae มีระบบรากเป็นรากฝอยมีขนาดเท่าๆ กัน แผ่กระจายออกรอบต้น

ลำต้น มีลำต้นเดียว ไม่แตกแขนง มีรอยแผลจากการหลุดร่วงของใบตลอดลำต้น สามารถคำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้จากรอยแผลนี้ คือ ในปีหนึ่งมะพร้าวจะสร้างใบประมาณ 12- 14 ใบ ดังนั้นใน 1 ปี จะมีรอยแผลที่ลำต้น 12 – 14 รอยแผล

ใบ เป็นใบประกอบ ออกอยู่ตามส่วนของลำต้น ประกอบด้วยก้านทาง (rachis) มีขนาดใหญ่และยาว และมีใบย่อย (leaflet) บนก้านทางประมาณ 200 – 250 ใบ

ดอก ออกเป็นช่อชนิดพานิเคิล มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย อยู่ในช่อเดียวกัน ดอกมีกลีบดอก 6 กลีบ สีครีมหรือสีเหลืองนวล ไม่มีก้านดอกย่อยดอกตัวเมียจะมีกลีบดอกหนาและแข็งกว่ากลีบดอกตัวผู้

ผล มะพร้าวเป็นชนิดไฟบรัสดรุป (fibrous drupe) เรียกว่า นัท (nut) มีเปลือก 3 ชั้นคือ

1. เปลือกชั้นนอก (exocarp) เป็นเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อแก่อาจมีสีเขียว แดง เหลือง หรือน้ำตาล

2. เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความหนาพอประมาณ

3. เปลือกชั้นใน (endocarp) มีลักษณะแข็งหรือที่เรียกกันว่า กะลา (shell)

เมล็ด (seed of kernel) คือ เนื้อมะพร้าว ภายในเมล็ดเป็นช่อกลวงขณะผลอ่อนจะมีน้ำอยู่เต็ม ผลแก่น้ำมะพร้าวจะแห้งไปบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7.3 ขุยมะพร้าว

คือเปลือกมะพร้าวที่ปั่นเอาใยออก หรือ ปั่นให้ใยละเอียด เป็นขุยๆละเอียดประมาณเม็ดทราย แห้งสนิท (ไม่ใช่เปลือกสับ) เป็นเศษเหลือของโรงงานทำเส้นใยมะพร้าวซึ่งได้ทุบกาบมะพร้าวเพื่อนำเส้นใยไปทำเบาะนั่ง เศษเหลือเหล่านี้เป็นผง ๆ มีคุณสมบัติเบา อุ้มน้ำได้ดี และเก็บความชื้นไว้ได้นาน เมื่อจะใช้ต้องพรมน้ำให้ขุยมะพร้าวมีความชื้นพอเหมาะ ไม่แฉะ และไม่แห้งเกินไป เหมาะสำหรับการควั่นตอนกิ่งไม้ เพื่อเพาะชำต้นไม้ขุยมะพร้าวเป็นเศษเหลือของโรงงานทำเส้นใยมะพร้าวซึ่งได้ทุบกาบมะพร้าวเพื่อนำเส้นใยไปทำเบาะนั่ง เศษเหลือเหล่านี้เป็นผง ๆ

คุณสมบัติของขุยมะพร้าวได้มีการนำอ้างอิงจาก โปรเจคปัญหาพิเศษปริญญาตรี การพัฒนาเปลือกมะพร้าวอ่อนเพื่อเป็นวัสดุเพาะกล้า จากมหาลัยเกษตรศาสตร์ โดยได้ผลทดลองดังนี้

1.การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

1.1 ช่องว่างของอากาศ (%v/v) จากการวิเคราะห์ช่องว่างของอากาศของขุยมะพร้าวละเอียดก่อน พบว่า ช่องว่างอากาศของวัสดุดังกล่าวมีค่า 32 –41%v/v

1.2 ช่องว่างของน้ำา (%v/v) จากการวิเคราะห์ช่องว่างของน้ำของขุยมะพร้าวอนุภาคละเอียด พบว่า มีช่องว่างของน้ำน้อยที่สุดที่ 35%v/v

1.3 ช่องว่างทั้งหมด (%v/v) จากการวิเคราะห์ช่องว่างของทั้งหมดของขุยมะพร้าวละเอียด พบว่า ช่องว่างมีค่าอยู่ในช่วง 71 –78%v/v

1.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (%w/w) จากการทดลอง พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของขุยมะพร้าวอ่อนอนุภาคละเอียดก่อนหมัก มีค่าอยู่ระหว่าง 85.75 –89.35 %w/w

1.5 ความหนาแน่นรวม (g/cm^3) จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของขุยมะพร้าวอนุภาคละเอียด พบว่า มีค่าอยู่ที่ 0.15 g/cm3

2. คุณสมบัติทางเคมี

2.1 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) จากการวิเคราะห์ค่า EC ของขุยมะพร้าวอ่อนอนุภาคละเอียดก่อนหมัก มีค่าอยู่ที่ 4.21 mS/cm

2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จากการวิเคราะห์ค่า pH ของขุยมะพร้าวอนุภาคละเอียดมีค่าอยู่ที่ 5.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส (P) จากการวิเคราะห์ค่า P ของขุยมะพร้าวอ่อนอนุภาคละเอียดมีนัยสำคัญทางสถิติเหลือเท่ากับ 3.11% w/w

2.4 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (N) จากการวิเคราะห์ N ของขุยมะพร้าวอนุภาคละเอียด พบว่า มี N อนุภาคละเอียดที่มีค่าอยู่ที่ 0.09% w/w

2.8 ทำไมถึงเลือกขุยมะพร้าว

จากงานวิจัย Effect of coconut coir pith as partial substitute for river sand in eco-friendly concrete วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้คือเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของ การใช้ขุยมะพร้าวทดแทนบางส่วนของมวลรวมละเอียดในคอนกรีต

ข้อสรุปคือ ขุยมะพร้าวอนุภาคที่มีเนื้อละเอียดสามารถใช้แทนทรายในคอนกรีตได้บางส่วน ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตที่ผสมขุยมะพร้าว 5% มีความสามารถในการทำงานได้เทียบเท่ากับคอนกรีตทั่วไป นอกเหนือจากที่มีความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีน้ำส่วนเกินที่เก็บไว้ในอนุภาคของขุยมะพร้าว มวลรวมละเอียดบางส่วนมีความแข็งแรงน้อยกว่าเล็กน้อย แต่สามารถเทียบได้กับคอนกรีตอ้างอิงทั้งในสภาพการบ่มด้วยน้ำและการบ่มอากาศ การลดลงของความแข็งแกร่งเกิดจากการก่อตัวของช่องว่างในอนุภาคที่น้ำที่กักเก็บไว้จะระเหยไป หลังจากเวลาที่กำหนด การรวมตัวของอนุภาคขุยมะพร้าวทำให้การขยายตัวของรอยแตกล่าช้าและทำงานได้ดีในการดัดงอ

จากงานวิจัยDevelopment of coir pith/nylon fabric/epoxy hybrid composites: Mechanical and ageing studies ได้นำส่วนนึงของผลการทดลองมาทำการศึกษาพบว่า ตัวอย่างคอมโพสิตมีความต้านทานแรงดึงได้ดีกว่าอีพอกซีเรซินบริสุทธิ์ การผสมของวัตถุดิบขุยมะพร้าวช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงของอีพอกซีเรซินขึ้น 19.34% ในขณะเดียวกันก็แสดงให้เห็นว่ามีวัสดุผสมไนลอน / อีพ็อกซี่สองและสามชั้น 25.74% และ 30.49% ความต้านทานแรงดึงสูงกว่าดิบ ขุยมะพร้าว หรือสรุปง่ายๆว่า ระบบคอมโพสิตไฮบริดที่มีขุยมะพร้าว / ผ้าไนลอน / วัสดุผสมอีพ็อกซี่มีช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงสูงสุดได้

จากงานวิจัย Use of coir pith particles in composites with Portland cement ข้อสรุปพบว่า

อนุภาคของ ขุยมะพร้าวสามารถจำแนกได้ว่าเป็นมวลรวมที่ดีตามการกระจายของขนาดอนุภาค

• วัสดุผสมปูนซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าวโดยเฉพาะมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงหรือมากกว่าวัสดุผสมที่มีการทดแทนทรายบางส่วนด้วยขุยมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

• คอมโพสิตที่มีการเพิ่มอนุภาคของ ขุยมะพร้าวนั้นมีความเหนียว รองรับน้ำหนักได้นานขึ้นก่อนที่จะแตกโดยไม่มีการแตกตัวทั้งหมด อนุภาคของ ขุยมะพร้าวมีความสามารถในการดูดซับพลังงานระหว่างการแตกหักซึ่งทำหน้าที่เป็นสารให้ความเหนียว

• เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ จึงอาจใช้วัสดุผสมที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าวเฉพาะในงานที่ต้องการวัสดุน้ำหนักเบา ควบคู่ไปกับการลดลงของความหนาแน่นจำนวนมากทำให้มีความพรุนเพิ่มขึ้นซึ่งนิยมใช้เป็นวัสดุสำหรับฉนวนกันความร้อนและอะคูสติก

• ค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุผสมที่มี ขุยมะพร้าวอยู่ในช่วงที่อนุญาตสำหรับวัสดุก่อสร้างน้ำหนักเบา

• ผลกำลังอัดแสดงให้เห็นโดยเฉพาะถึงผลกระทบของความหนาแน่นต่ำของตัวอย่าง CCC ซึ่งบ่งชี้ว่าสามารถผลิตชิ้นส่วนที่หนาขึ้นได้ด้วยวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำกว่านี้

• การลดลงของคุณสมบัติเชิงกลที่ยืนยันโดยผล FTIR ยังแสดงให้เห็นถึงการชะลอตัวของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเนื่องจากการสร้างแคลเซียมไฮดรอกไซด์น้อยลงซึ่งได้รับอิทธิพลจากการมีอยู่ของสารสกัดและเฮมิเซลลูโลส

• เนื่องจากการดูดซึมน้ำของคอมโพสิตที่มีส่วนผสมของ Coir pith-Cement มากขึ้นจึงสามารถแนะนำให้ใช้กับวัสดุตกแต่งภายในที่มีน้ำหนักเบาเช่นแผ่นหรือบล็อกก่ออิฐที่ไม่ใช่โครงสร้าง

2.9 ข้อดีของขุย

1. ทนต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา
2. อุ้มน้ำได้ 8-9 เท่า
3. มีค่า pH 5.2-6.8 ซึ่งเป็นกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อย
4. ขุยมะพร้าวจะสลายตัวช้ามาก จะเริ่มสลายเมื่ออายุ 10 ปีเท่า
5. ราคาไม่แพงสำหรับผลิตภัณฑ์คุณภาพพร้อมอนาคตที่ยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม

อ้างอิงจากเว็บไซต์ https://royal-group.no/en/product/fresh-coconut-coir-pith/ โดย royal-group มีความน่าเชื่อถือโดยมีการรวมกลุ่มทางธุรกิจทั้งหมด 50+ และมีการติดต่อทั่วโลก 100 +

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhang, MH. และ Malhotra VM. ได้ทำการศึกษาคอนกรีตที่ทำการผสมเถ้าแกลบเป็นวัสดุเสริมเข้าไปพบว่าคอนกรีตผสมเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 15 มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ควบคุมโดยที่กำลังของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสม

YounouSsa Milogo และคณะทำการวิจัยการวิเคราะห์อิฐบล็อกโดยการเสริมเส้นใยจากปอแก้ว (Hibiscus cannabinus) โดยทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD), hermal gravimetric analyses (TGA), Scanning electronic microscopy (SEM) และ video microscopy

วีระศักดิ์ละอองจันทร์และคณะ ได้ทำการศึกษาการพัฒนากล็อกแก้วคอนกรีตมวลเบาโดยการผสมฝุ่นจากเตาเผาปูนขาว ผลพลอยได้จากกากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษซึ่งในส่วนการออกแบบส่วนผสมจะใช้ปูนขาวแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และ 0.6 ใช้ปริมาณผงอะลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 1 ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อผสมกากปูนขาวร้อนละ 10 จะมีกำลังรับแรงอัด และกำลังแรงตัดสูงที่สุดส่วนค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของกากปูนขาวการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากปูนขาวที่ใส่เพิ่มขึ้น จากการทดสอบต่างๆจะมีค่าเทียบเท่ากับมาตรฐานตามมอก. 1505-2541 ชั้นคุณภาพที่ 4 ในส่วนของการนำบล็อกแก้วแทนที่เนื้อบล็อกคอนกรีตมวลเบา ที่ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยพื้นที่คอนกรีตตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่การนำความร้อน (k) IS R 2618 และค่าการทนไฟเมื่อผสมกากปูนขาวร้อยละ 10 จะมีกำลังรับแรงอัดที่สูงสุด ความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณกากปูนขาว และการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มการลดลตามปริมาณกาปูนขาวที่เพิ่มขึ้นจากการทดสอบมีค่าเทียบเท่ากับค่ามาตรฐานมอก. มอก. 1505-2541 ชั้นคุณภาพที่ 2 รวมทั้งการเสริมบล็อกแก้วในร้อยละ 75 เป็นการเสริมที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีความเป็นฉนวนของเนื้อคอนกรีตมวลเบารวมอยู่ด้วย และตรงตามมาตรฐานแสงส่องผ่านบล็อกแก้ว

ประชุมคำพุฒและกิตติพงษ์สุวีโร ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ ที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและเสริมแผ่นยางพาราโดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนขั้นที่ 1 ทดสอบคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ H/C = 0.63, H/C = 1.23, H/C = 1.83, H/C = 2.43 และ H/C = 3.03 ผลจากการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของคอนกรีตคืออัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ H/C = 1.83 ในขั้นที่ 2 นำอัตราส่วนที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 (H/C = 1.83) มาทำการเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบปกติ กับคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา โดยทำการทดสอบความหนาแน่นการดูดซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

น้ำการเปลี่ยนแปลงความยาวและความต้านมานแรงอัดตามมาตรฐานมอก. 58-2530 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารามีความหนาแน่นการดูดซึมน้ำ และความต้านทานแรงอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา

การเปลี่ยนแปลงความยาวคอนกรีตที่มีการเสริมแผ่นยางพารา มีค่าน้อยกว่า และสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดลองได้ต่ำว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา มีค่าอยู่ที่ประมาณ 1 องศาเซลเซียส

ภานุคะนอง ได้ศึกษานำแกลบสดมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยเตรียมโดยการขัดผิวแกลบ พบว่าขนบริเวณผิวแกลบจะลดลง หรือหมดไปเมื่อนำแกลบไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แกลบจะมีความอ่อนนุ่มจากนั้นศึกษาอิทธิพลของชนิดวัสดุผสม และปริมาณแกลบพบว่าอิฐบบล็อกที่ไม่ใส่แกลบจะมีค่ามวลเฉลี่ยและค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคืออิฐบล็อกที่ใส่แกลบร้อยละ 50 และ 70 ตามลำดับ ศึกษาอิทธิพลของชนิดแกลบพบว่าอิฐบล็อกที่ใส่แกลบขัดผิวจะมีค่าต้านทานแรงอัดมากกว่าอิฐบล็อกที่ใส่แกลบไม่ขัดผิว อิทธิพลจากเวลาในการบ่มพบว่าอิฐบล็อกที่เวลา 28 วันมีค่าการต้านทานแรงอัดที่มากที่สุด เลือกอฐบล็อกที่ผสมเถ้าแกลบที่ร้อยละ75ซึ่งเป็นแกลบที่ผ่านการแช่สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 เป็นเวลา 6 ชั่วโมงพบว่าการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จากร้อยละ 15 เป็น 20 ทำให้ค่ามวลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 และค่าการต้านทานแรงอัดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของอิฐบล็อกที่ผสมแกลบกับอิฐบล็อกที่ไม่ผสมแกลบ พบว่าความหนาแน่นของอิฐที่ผสมแกลบจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 g/cm^3 ซึ่งลดลง 55.90% ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ 385. 53 kg/m^3 เพิ่มขึ้น 78.80 % ถึงแม้ว่าอิฐบล็อกที่ผสมแกลบขัดผิวที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต่ำกว่าอิฐบล็อกมวลเบาสำหรับงานก่อสร้างซึ่งมีค่าความต้านทานการอัดต่ำสุดเท่ากับ 100 kg/m^2 แต่ยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าความต้านทานการอัดต่ำสุด ของอิฐบล็อกมวลเบาสำหรับงานฉนวนความร้อนซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 10 kg/cm^2 และมีค่ามวลต่อปริมาตรที่น้อยกว่า 800 kg/m^3 ตามมาตรฐาน ACI. DESIGNATION: 213R-87 ดังนั้นอิฐบล็อกมวลเบาผสมแกลบจึงน่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ประโยชน์สำหรับงานฉนวนความร้อนที่ไม่ต้องรับน้ำหนักที่สูงได้

Maria Catalina Niho itamizar และคณะทำการศึกษาการทำอิฐบล็อกที่มีส่วนผสมจากเถ้าถ่านหินและเปลือกมันสำปะหลังโดยทำการทดสอบทางวิศวกรรมพบว่าสำหรับการทดสอบการบีบอัดอิฐบล็อกที่มีส่วนผสมจากเถ้าหินมีประสิทธิภาพการใช้งานดีที่สุด เมื่อมีส่วนผสมน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์แต่ถ้ามีมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์จะช่วยให้วัสดุมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ผสมขุยมะพร้าวเพื่อลดอุณหภูมิ โดยนำขุยมะพร้าวละเอียดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 10 20 และ 40 แล้วนำไปทำการทดสอบผสมคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์โดยการแทนที่ทรายโดยปริมาตรเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม. ซึ่งคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จะประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายละเอียด น้ำ และโฟม หลังจากนั้นจะเป็นการทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ค่าการนำความร้อน อัตราการหดตัวและการเปรียบเทียบราคาวัสดุ ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือและวิธีการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนในการทำการวิจัยซึ่งจะมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ
2. การทดลองหาคุณสมบัติของทรายและขุยมะพร้าว
3. การทดลองหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสมและหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม
4. การผลิตรูปทรงจริงตามมาตรฐานและทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
5. ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ค่าการนำความร้อน และอัตราการหดตัว
6. การเปรียบเทียบราคาวัสดุ
7. สรุปผลการทดลอง

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 - ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาและสำหรับใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรงหรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิษหรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิสูงจนทำให้คอนกรีตเกิดจากแตกร้าวเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

2. น้ำ - น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องปราศจากกรด ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติที่ไม่มีน้ำเสียผสมจากอาคารบ้านเรือนหรือจากโรงงานอุตสาหกรรมถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีต

รูปที่ 3.2 น้ำ

3. ทรายละเอียด – เลือกใช้ทรายละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า 0.25 มม. หรือสามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 60 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. ซึ่งวัสดุที่เล็กกว่านี้เรียกว่า ฝุ่น

รูปที่ 3.3 ทรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. โฟม - เลือกใช้ น้ำยาสร้างฟองโฟมสำหรับคอนกรีตมวลเบา PLP โฟม A80 มีคุณลักษณะดัดแปลงจากสารลดแรงตึงผิวจากธรรมชาติกับสารสังเคราะห์ประเภทอลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminum Sulfate) ซึ่ง PLP โฟม A80 ผลิตจากเครื่องตีโฟม สว่านไฟฟ้าพร้อมหัวปั่นปูนอเนกประสงค์ เพื่อได้ปริมาณที่เหมาะสมกับการทดลอง ที่อัตราส่วน 1:80 PLP โฟม A80 ต่อ น้ำ

รูปที่ 3.4 โฟม

5.ขุยมะพร้าวละเอียด - ขุยมะพร้าวคือเศษขุย เศษผง เศษใยชิ้นเล็ก ๆ ที่เหลือเศษมาจากโรงงานผลิตเส้นใยมะพร้าว ที่แยกเส้นใยออกจากกาบมะพร้าว เพื่อนำไปทำที่นอน ซึ่งเศษขุยเศษผงเหล่านี้ได้ถูกเก็บรวบรวมนำออกมาขาย เรียกว่า ขุยมะพร้าว ซึ่งขุยนั้นก็บอกถึงความละเอียดเล็ก เป็นผงคล้ายเม็ดทราย น้ำหนักเบา

ทำการแยกขนาดของขุยมะพร้าว โดยการนำขุยมะพร้าวละเอียดไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 10 20 และ 40 แล้วทำการจัดเก็บแยกภาชนะในแต่ละขนาด

รูปที่ 3.5 ขุยมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 ทดสอบหาคุณสมบัติของทรายและขุยมะพร้าว

3.2.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

เครื่องมืออุปกรณ์

1.ขวดแก้ววัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร

2.เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล (Digital scales)

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

4.ถาดใส่ชิ้นตัวอย่าง

5..เตาอบตัวอย่างคอนกรีต รักษาอุณหภูมิในช่วง 100 – 115 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนการทดลอง

1.นำตัวอย่างทรายแช่น้ำสะอาด 24 ชั่วโมงเพื่อให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวสมบูรณ์

2.ทำการตากตัวอย่างและนำมาทดสอบด้วยกรวยหล่อโลหะหัวตัดจนได้ลักษณะของทรายที่ถอดแบบคล้ายพีระมิดหัวแหลม จึงได้ทรายในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

3.นำตัวอย่างทรายที่มีอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จำนวน 500 กรัม แบ่งเป็นสี่ส่วนเลือกทรายแค่สองส่วน

4.เทลงใน ขวดแก้ววัดปริมาตร 500 มิลลิลิตร(ค่า B) โดยใช้กรวยตวงทรายใส่จนหมด แล้วนำน้ำสะอาดมาเทใส่จนท่วมทราย ให้ไม่เกินขีดบอกขนาด 500 มิลลิลิตร

5.ทำการไล่ฟองอากาศ โดยเอนขวดพอประมาณแล้วหมุนขวดไปมา หรือจะแกว่งทรายในขวด แล้วนำไปสูบเอาอากาศออก

6.เติมน้ำจนพอดีขีดบอกขนาด 500 มิลลิลิตร โดยสังเกตท้องน้ำแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก(ค่า C)

7.เทตัวอย่างทรายพร้อมน้ำออกจากขวดแก้ววัดปริมาตรไล่ลงในถาดที่ใหญ่พอโดยเมื่อเทอ ออกจนหมดแล้วน้ำไม่ล้นออกมานำไปอบที่อุณหภูมิ 100-115 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้จนมีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 24 ชั่วโมง) แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (ค่า A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.6 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

3.2.2 ความชื้นในขุยมะพร้าวแต่ละขนาด

ขุยมะพร้าวในแต่ละขนาดมีความชื้นไม่เท่ากัน คณะผู้จัดทำจึงทำการหาปริมาณความชื้นแต่ละขนาด

เครื่องมืออุปกรณ์

1.ภาชนะใส่ขุยมะพร้าว

2.เตาอบ รักษาอุณหภูมิในช่วง 100 – 115 องศาเซลเซียส

3.เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

ขั้นตอนการทดลอง

1.ชั่งน้ำหนักภาชนะ บันทึกค่า(ค่า A)

2.ใส่ขุยมะพร้าวแต่ละขนาดลงในภาชนะ ชั่งน้ำหนักภาชนะ + ขุยมะพร้าว แล้วบันทึกค่า(ค่า B)

3.นำภาชนะ+ขุยมะพร้าว เข้าเตาอบที่รักษาอุณหภูมิในช่วง 100 – 115 องศาเซลเซียส

4.หลังจากครบเวลา24 ชั่วโมง นำภาชนะ+ขุยมะพร้าวออกจากเตาอบแล้วชั่งน้ำหนักบันทึกค่า(ค่า C)

การคำนวณ

วิธีหาความชื้นในพืชเกษตรมักใช้วิธีง่ายๆ โดยการนำพืชมาอบให้แห้ง แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไป คำนวณเป็นร้อยละ ดังสูตร

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) = (น้ำหนักเริ่มต้น – น้ำหนักหลังการอบ) x 100/น้ำหนักเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.7 ความชื้นในขุยมะพร้าวแต่ละขนาด

3.3 การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

3.3.1 การออกแบบส่วนผสมหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

จากการศึกษาวิทยานิพนธ์ การพัฒนาแผ่นวัสดุมุงหลังคามวลเบาที่มีประสิทธิภาพสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าอาคารอย่างยั่งยืน โดย เศรษวัฒณ์ ช่วยศรีนวล และจากการศึกษาวิทยานิพนธ์ ต่างๆ จึงสามารถสรุปได้ว่า ถ้าต้องการให้กันความร้อนได้สูง คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบานั้นต้องไม่หนัก จึงจะสามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่ผนังได้ ดังนั้นถ้าต้องการให้คอนกรีตมวลเบาไม่หนัก W/C ต้องสูง และ % Foam ต้องมาก S/C ต้องมาก จึงสรุปสูตรที่จะนำมาทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

อัตราส่วนผสมเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม			
no	W/C ratio	S/C ratio	โฟม (%)
1	0.65	1	80
2	0.65	1	120
3	0.65	1	160
4	0.65	2	120
5	0.7	1	80
6	0.7	1	120
7	0.7	1	160
8	0.75	1	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 การออกแบบส่วนผสมหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

จากการศึกษาพบว่าขุยมะพร้าวละเอียดที่ได้จากโรงงานผลิตเส้นใยมะพร้าวมีหลายขนาด ถ้าคณะผู้จัดทำจึงทำการแยกขนาดโดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 10 20 และ 40 เนื่องขนาดของวัสดุมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ถ้าผู้จัดทำจึงทำการทดลอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม โดยทำการผสมคอนกรีตขนาด 5x5x5 เซนติเมตร และมีปัจจัยในการทดลองดังนี้

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C ratio) : 0.65
2. อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (S/C ratio) : 1
3. น้ำยาสำหรับผลิตฟองโฟมสำหรับอิฐมวลเบา PLP โฟม A80 ที่อัตราส่วน : 120 % โดยปริมาตรทั้งหมด
4. ขุยมะพร้าว : 0 % โดยปริมาตรทั้งหมด , ค้างตะแกรงเบอร์ 10 24 % โดยปริมาตรทั้งหมด , ค้างตะแกรงเบอร์ 20 24 % โดยปริมาตรทั้งหมด, ค้างตะแกรงเบอร์ 40 24 % โดยปริมาตรทั้งหมด และเส้นใยมะพร้าว 24 % โดยปริมาตรทั้งหมด

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมเพื่อหาขนาดของขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

อัตราส่วนผสมเพื่อหาขนาดของขุยมะพร้าวที่เหมาะสม	
W/C ratio	0.65
S/C ratio	1
โฟม (%)	120 %
ขุยมะพร้าวสับ - ค้างตะแกรงเบอร์ 10 - ค้างตะแกรงเบอร์ 20 - ค้างตะแกรงเบอร์ 40 - ฝุ่นมะพร้าวและใย	20 %

3.3.3. หา % ที่เหมาะสมของขุยมะพร้าว

จากการทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยการแทนที่ขุยมะพร้าว แทนที่ขุยมะพร้าวที่ 20, 30, 40, 50 และ 60% จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดเข้ารับการทดสอบตามมาตรฐานมอก. 2601 - 2556 เพื่อยืนยันว่าบล็อก CLC ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งต้องผ่าน มอก.2601-2556 และ มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ในการก่อสร้างและทำการทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตมวลเบา

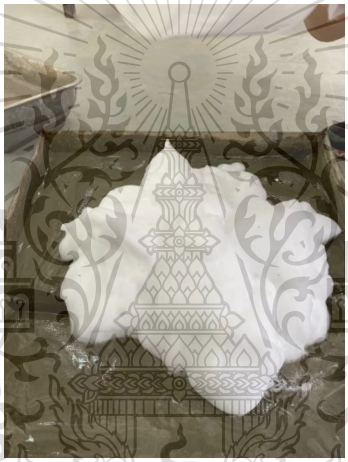
1. เตรียมแบบหล่อ (mold) ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. สำหรับหล่อก้อนคอนกรีตอัตราส่วนละ 3 ก้อน
2. จัดเตรียมชั่งน้ำหนักวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตมวลเบา : ปูน ทรายละเอียด น้ำ และขุยมะพร้าว ตามอัตราส่วนที่กำหนด
3. ผลิตฟองโฟมจากเครื่องตีโฟม สว่านไฟฟ้าพร้อมหัวปั่นปูนอเนกประสงค์ เพื่อได้ปริมาณที่เหมาะสมกับการทดลอง ที่อัตราส่วน 1:20 PLP โฟม A80 ต่อ น้ำ โดยฟองโฟมสามารถนำมาใช้ผสมมอร์ต้าจะต้องเป็นฟองโฟมลักษณะเนียนละเอียดและต้องใช้ทันทีที่ฟองโฟมอยู่ตัว เนื่องจากฟองโฟมถูกทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งจะมีลักษณะโฟมรวมตัวกันเป็นฟองโฟมเม็ดใหญ่และไม่ละเอียด ทำให้ไม่เหมาะสมกับการนำมาผสมกับมอร์ต้า
4. เทปูนซีเมนต์ ทราย และ ขุยมะพร้าวลงในโม่ผสมคอนกรีต โดยทำการกวนส่วนผสมให้เข้ากันก่อน จากนั้นจึงใส่น้ำเข้าไปผสมกวนจนกว่าส่วนผสมทั้งหมดจะรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน
5. ใส่ฟองโฟมลงในโม่ผสมคอนกรีต กวนส่วนผสมให้เข้ากันดีในเวลาที่เหมาะสม
6. เทส่วนผสมลงในแม่แบบที่เตรียมไว้ โดยต้องให้มอร์ต้าเข้ากับแบบได้อย่างดี แล้วปาดแต่งผิวหน้าด้วยเกรียงแล้วปิดผนึกผิวหน้าด้วยพลาสติกซีนเพื่อป้องกันน้ำระเหย
7. เมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมงแล้วจึงทำการแกะแบบออก จากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มน้ำ
8. เมื่อตัวอย่างมีอายุครบ 28 วันแล้ว นำชิ้นงานขึ้นจากผิวน้ำ เช็ดผิวให้แห้งเพื่อวัดน้ำหนักที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการวัดน้ำหนักที่สภาพแห้งสมบูรณ์ และทำการวัดขนาดทั้งด้าน กว้าง ยาว และสูง ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ แล้วจึงนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดต่อไป

ขั้นตอนการทดสอบคอนกรีตมวลเบาขนาด 15 × 15 × 15 ซม. แสดงดังรูปที่ 3.8 – 3.12

รูปที่ 3.8 ผสมซีเมนต์กับทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.9 ปั่นโฟมโดยใช้สว่าน



รูปที่ 3.10 ผสมมอร์ต้ากับโฟม

รูปที่ 3.11 ก้อนคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.12 ทดสอบก้อนคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.

3.4 การผลิตรูปทรงจริงตามมาตรฐานและทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

ใช้แบบหล่อขนาด 20 x 60 x 7.5 เซนติเมตร ซึ่งผสมโดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง โดยผลิตจำนวน 6 ก้อน พร้อมหล่อแบบหล่อขนาด 15 x 15 x15 เซนติเมตรสำหนับทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

3.4.1 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบา

หาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา ซึ่งคำนวณในสภาพแห้งตามมาตรฐานการผลิตใช้ มอก. 2601 – 2556 เพื่อควบคุมการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า ดังสมการที่ 3.1

$$\rho = m/v \qquad (3.1)$$

- ρ คือ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- m คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้ (กิโลกรัม)
- v คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร)

โดยทำการวัดขนาด กว้าง x ยาว x สูง โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์และทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นนำตัวอย่างการทดสอบเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักและ ทำการบันทึกข้อมูล แล้วจึงนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.2 การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

นำตัวอย่างทดสอบมาหาค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา ตามมาตรฐานการผลิตใช้ มอก. 2601 – 2556 โดยการอบตัวอย่างการทดสอบเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงไม่น้อยกว่า แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั้วโมง ทำการชั่งน้ำหนักและทำการบันทึกข้อมูล หลังจากนั้นทำการแช่ตัวอย่างทดสอบในน้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วยกตัวอย่างทดสอบออก แล้วใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ดที่ผิวตัวอย่างทดสอบและทำการชั่งตัวอย่างทดสอบใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาที ทำการคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ โดยสมการที่ 3.2 กรณีที่ตัวอย่างทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ให้ทำการทดสอบซ้ำ โดยใช้ตัวอย่างทดสอบเดิมกับน้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง

$$WA = \left(\frac{MW\text{-}MD}{MD}\right) \times 100 \qquad (3.2)$$

- WA คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ
- MW คือ มวลของวัสดุที่เปียก (kg)
- MD คือ มวลของวัสดุที่แห้ง (kg)

3.4.3 การทดสอบหาค่าความต้านการอัดของคอนกรีตมวลเบา

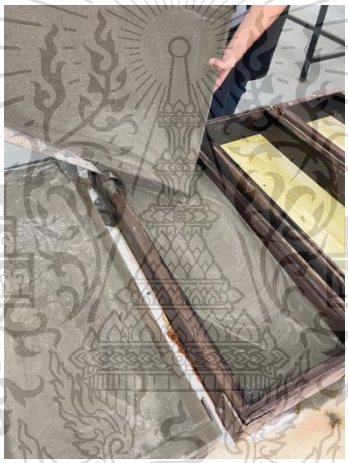
นำตัวอย่างทดสอบที่มีอายุการบ่มที่ 28 วัน มาทำการทดสอบหาค่าความต้านการอัดของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐานการผลิตใช้ มอก. 2601 – 2556 โดยนำตัวอย่างทดสอบมาวัดพื้นที่หน้าตัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์และติดตั้งที่แท่นเครื่องทดสอบความต้านแรงอัด หลังจากนั้นเริ่มเดินเครื่อง โดยควบคุมอัตราการเพิ่มแรงอัดระหว่าง 0.05 ถึง 0.20 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที จนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นตัวอย่างทดสอบแตก และทำการคำนวณหาค่าความต้านการอัด ดังสมการที่ 3.3

$$\text{ค่าความต้านการอัด} = \frac{\text{แรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตก}}{\text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบ}} \ (\text{kg/ cm}^3) \qquad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้นตอนการทำคอนกรีตมวลเบาตามมาตราฐานขนาด 20 × 60 × 7.5 ซม. จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 – 3.17

รูปที่ 3.13 การผสมมอร์ต้า (ซีเมนต์, ทราย, ขุยมะพร้าว)



รูปที่ 3.14 แสดงการใส่มอร์ต้าลงในแบบหล่อ

รูปที่ 3.15 การตกแต่งหน้าแบบหล่อคอนกรีตมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.16 คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าวรูปทรงจริงก่อนแกะแม่พิมพ์

รูปที่ 3.17 คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าวรูปทรงจริงที่ทำการอบเพื่อหาอัตราการดูดซึม

3.5 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ค่าการนำความร้อน และอัตราการหดตัว

3.5.1 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน

การทดสอบความสามารถในการลดความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ผสมขุยมะพร้าว เปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด ทดสอบผ่านกล่องทดลองรูปทรง สี่เหลี่ยม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมกล่องทดลองจำนวน 3 กล่อง ประกอบจากโพลียูรีเทนโฟม(Polyurethane) ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน 5 ด้าน ส่วนอีกด้านเว้นไว้สำหรับติดตั้งผนังคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ผสมขุยมะพร้าว คอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดพร้อมทำการก่อใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แต่ละกล่อง และเตรียมกล่องทดลองจำนวน 1 กล่อง ประกอบจากโพลียูรีเทนโฟม(Polyurethane) ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนทั้งหมด 6 ด้าน

2. ทำการวางกล่องทดลองทั้ง 3 กล่องบริเวณดาดฟ้าตึก CCA คณะวิศวกรรมโยธา หันผนังด้านที่ทำการก่อไปทางทิศใต้ (ตามการโคจรของดวงอาทิตย์ในเดือนที่ทดสอบ)
3. ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger ยี่ห้อ TDS) พร้อมติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ล (Themocuple Type - T) จำนวน 10 สาย เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ รวมจำนวน 10 จุด โดยแบ่งเป็นตำแหน่งหลักๆ ดังต่อไปนี้

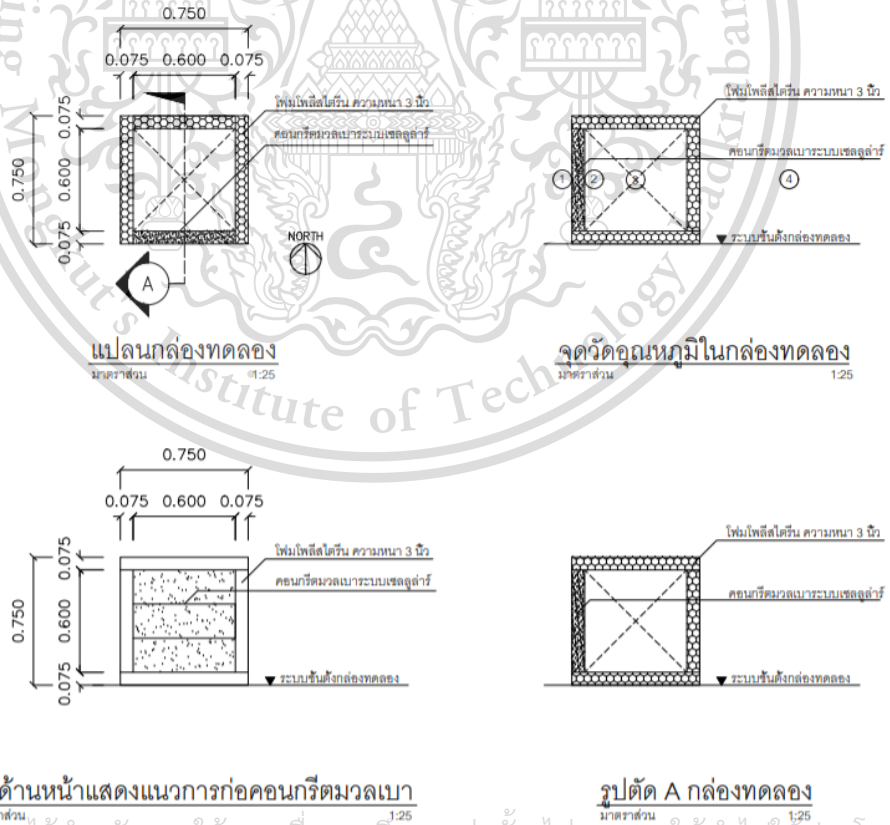
ตำแหน่งที่ 1 วัดอุณหภูมิผิวภายนอกกล่อง ด้านผนังที่ทำการก่อ จำนวนกล่องละ 1 จุด รวม 3 จุด

ตำแหน่งที่ 2 วัดอุณหภูมิผิวภายในกล่อง ด้านผนังที่ทำการก่อ จำนวนกล่องละ 1 จุด รวม 3 จุด

ตำแหน่งที่ 3 วัดอุณหภูมิอากาศในกล่อง บริเวณกลางกล่อง จำนวนกล่องละ 1 จุด รวม 3 จุด

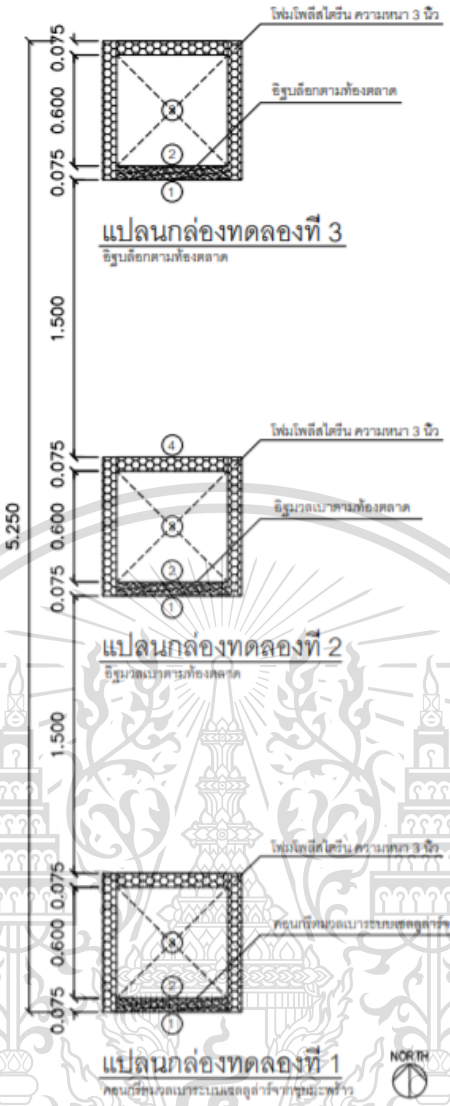
ตำแหน่งที่ 4 เป็นการวัดอุณหภูมิของอากาศในขณะที่ทำการทดสอบ 1 จุด

เก็บข้อมูลการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ทั้ง 10 จุด ด้วยการเชื่อมต่อสัญญาณคอมพิวเตอร์ทุก ๆ 1 นาที ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 กล่องทดลอง ด้วยโปรแกรม Static Measurement Software TDS-7130v2 Ver.2.2 และ Microsoft Excel



รูปที่ 3.18 รูปขยายกล่องทดสอบความสามารถในการลดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

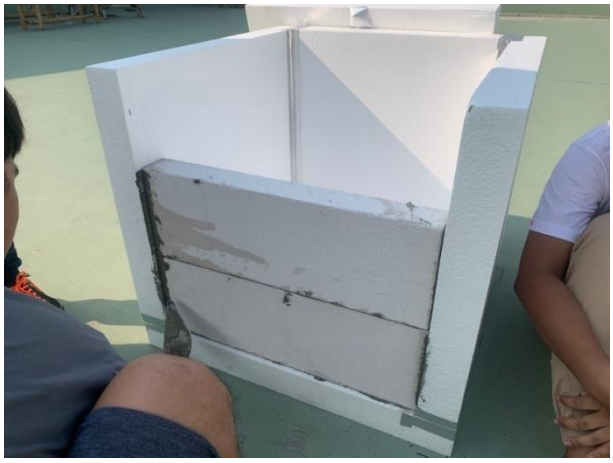


รูปที่ 3.19 ตำแหน่งวางกล่องทดลอง บริเวณดาดฟ้าตึก CCA คณะวิศวกรรมโยธา

รูปตัวอย่างการทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อนแสดงดังรูปที่ 3.20 – 3.31

รูปที่ 3.20 สร้างกล่องเพื่อทดลองความสามารถในการกระจายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



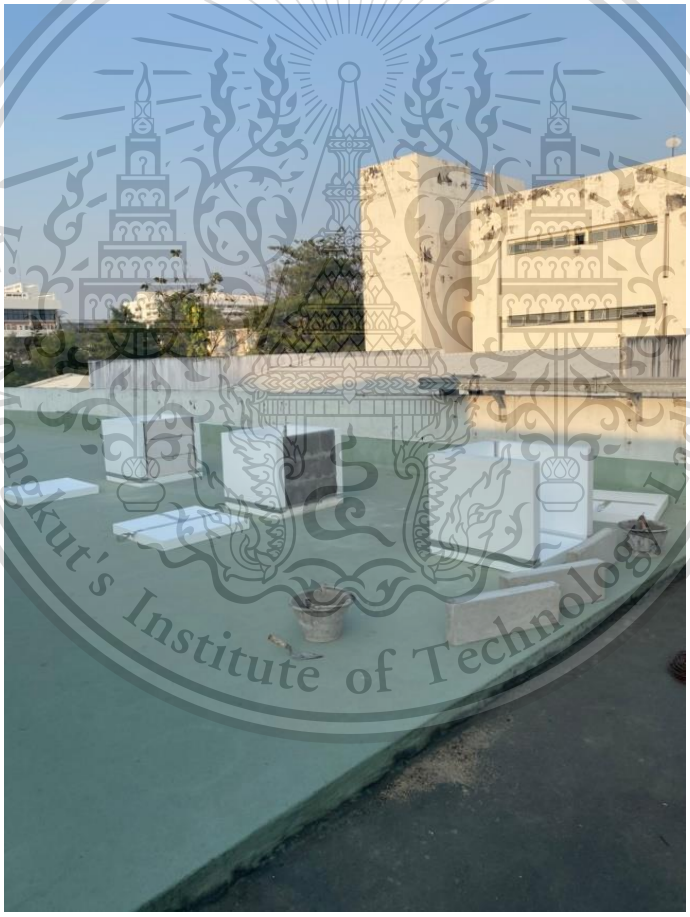
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการก่อคอนกรีตมวลเบาขนาด 20×60×7.5 ซม.

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการก่อคอนกรีตบล็อกโดยการต่อให้ได้ขนาด 20×60×7.5 ซม

รูปที่ 3.23 คอนกรีตมวลเบาเมื่อก่อสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.24 คอนกรีตบล็อกเมื่อก่อสำเร็จ



รูปที่ 3.25 ทิศทางการจัดวางตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

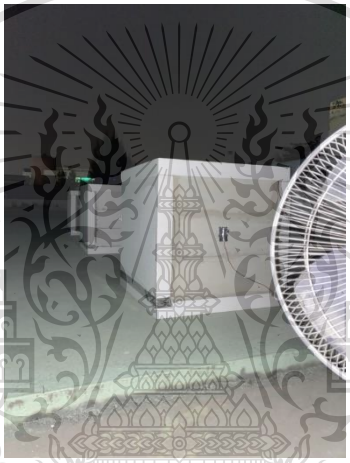
รูปที่ 3.26 คอนกรีตมวลเบาผสมขุยมะพร้าวเมื่อติดตั้งสาย Thermocouple type t

รูปที่ 3.27 คอนกรีตมวลเบาเมื่อติดตั้งสาย Thermocouple type t

รูปที่ 3.28 คอนกรีตบล็อกเมื่อติดตั้งสาย Thermocouple type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.29 อุณหภูมิที่ถูกบันทึกโดยเครื่อง Data Logger ยี่ห้อ TDS



รูปที่ 3.30 ทดสอบตัวอย่างในเวลากลางคืน

รูปที่ 3.31 ป้องกันความคลาดเคลื่อนของอุณภูมิที่วัดจาก Data Logger ทำการระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.2 ค่านำความร้อน (Thermal Conductivity)

ทำการวัดและชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง ตั้งค่าอุณหภูมิที่เครื่องเพื่อให้ความร้อนแก่คอนกรีตมวลเบา เมื่อเครื่องให้ความร้อนได้ตามอุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว นำชิ้นตัวอย่างวางบนเครื่องให้ความร้อนทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วชิ้นตัวอย่างและทำการวัดอุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนและตัวรับความร้อน

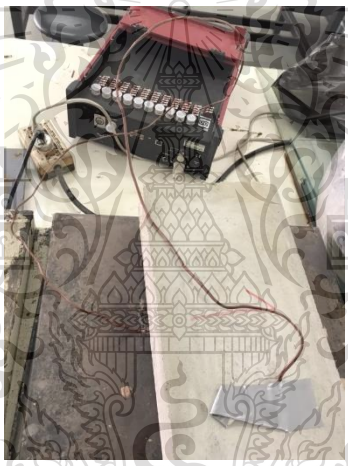
$$\text{จากสูตรการหาค่าการนำความร้อน} = \frac{Q_d}{2A} \times \frac{d}{\Delta T}$$

Q_d คือ กำลังเฉลี่ยของเครื่องทดสอบการนำความร้อน (วัตต์)

A คือ พื้นที่ของแผ่นให้ความร้อน (ตารางเมตร)

d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (เมตร)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นให้ความร้อนกับตัวรับความร้อน (เคลวิล)



รูปที่ 3.32 การทดสอบค่านำความร้อน

รูปที่ 3.33 แสดงผลอุณหภูมิของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ กับ Hot plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูป 3.33 ที่อุณหภูมิของ Hot plate ไม่ถึง 300 องศาเซลเซียส เนื่องจากสาย Thermocouple Type – T ไม่สามารถไปแนบสนิทกับ แผ่น Hot plate ได้เพราะมันจะทำให้ละลาย จึงทำได้แค่แตะไว้บนผิวบนของ Hot plate

3.5.3 อัตราการหดตัว (Autogeneous Shrinkage)

ติดตั้ง Gauge plug 2 ตัวที่ด้านหัวและด้านท้าย ของตัวอย่างเพื่อใช้เป็นจุดในการวัดความยืดหดตัว และใช้พลาสติกห่อหุ้มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ โดยทำการห่อหุ้มพลาสติกไปทั้งหมด 20 รอบ และทำการวัดการหดตัวที่เกิดขึ้นในวันที่ 12 ชั่วโมง 1 วัน 3 วัน 7 วัน 14 วันและ 28 วัน ตามลำดับ โดยทำการทดสอบตั้งแต่วันที่ 12 เมษายน 2564 ถึง วันที่ 10 พฤษภาคม 2564 โดยทำการเทียบกับ มยผ. 1332-50 ที่มีกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 60 เมกะปาสคาล

รูปที่ 3.34 น้ำหนักของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

รูปที่ 3.35 แสดงการห่อด้วยพลาสติกของคอนกรีตตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.36 แสดงการทดสอบการหดตัวแบบออโตจีเนียส

รูปที่ 3.37 แสดงค่าเริ่มต้นของ Gauge plug

3.6 การเปรียบเทียบราคาวัสดุ

ทำการคำนวณหาราคาต้นทุนของคอนกรีตมวลเบา 1 ก้อน ประกอบไปด้วย ราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 , ราคาทรายละเอียด (Sand) , ราคาน้ำสะอาด (Water) , ราคาสารทำฟอง (Foaming Agent) และ ราคาขุยมะพร้าวจากวัสดุเหลือใช้ ตามปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการทำคอนกรีตมวลเบา 1 ก้อน ซึ่งไม่รวมอุปกรณ์การผลิต ค่าขนส่ง และค่าแรงงานต่อวัน และนำมาเปรียบเทียบกับราคาของตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลการทดสอบวิเคราะห์และอภิปราย

งานวิจัยการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีขั้นตอนการดำเนินงาน 7 ขั้นตอนคือ 1.การเตรียมวัตถุดิบ 2. การทดลองหาคุณสมบัติของทรายและขุยมะพร้าว 3.การทดลองหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสมและหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม 4.การผลิตรูปทรงจริงตามมาตรฐานและทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 5.ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ค่าการนำความร้อนและอัตราการหดตัว 6.การเปรียบเทียบราคาวัสดุ 7. สรุปผลการทดลองซึ่งมีผลขั้นตอนการดำเนินได้ดังนี้

4.1 ผลการเตรียมวัตถุดิบ

เตรียมขุยมะพร้าวที่ได้จากการสั่งซื้อสินค้า นำมาทำการอบให้แห้งเพื่อให้ความชื้นของขุยมะพร้าวมีขนาดเท่ากัน จากนั้นทำการแยกขนาดของขุยมะพร้าว โดยการนำขุยมะพร้าวละเอียดไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 10 20 และ 40 แล้วทำการจัดเก็บแยกภาชนะในแต่ละขนาด

รูปที่ 4.1 รูปแสดงการเตรียมขุยมะพร้าวเพื่อนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การทดลองหาคุณสมบัติของทรายและขุยมะพร้าว

4.2.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตารางที่ 4.1 การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทรายละเอียดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

ตัวอย่าง	1	2	3	เฉลี่ย
C : น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่ใส่ทรายและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	954	953	954	
B : น้ำหนักของขวดแก้ววัดปริมาตรที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	646	645	646	
A : น้ำหนักของทรายหลังจากอบแห้ง (กรัม)	497	497	497	
S : น้ำหนักของทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	500	500	500	
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม (Bulk specific gravity) = A/(B+S-C)	2.59	2.59	2.59	2.59
ความถ่วงจำเพาะมวลรวม - อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity) = S/(B+S-C)	2.60	2.60	2.60	2.60
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/(B+A-C)	2.63	2.63	2.63	2.63
ร้อยละการดูดน้ำของเม็ดแก้วรีไซค์เคิล (Absorption) = [(S-A)/A]*100 (%)	0.60	0.60	0.60	0.60

4.2.2 ความชื้นในขุยมะพร้าวแต่ละขนาด

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการหาความชื้นในขุยมะพร้าวแต่ละขนาด

ชนิดขุยมะพร้าว	น้ำหนักภาชนะ (A)	น้ำหนักเริ่มต้น + น้ำหนักภาชนะ (B)	น้ำหนักหลังอบ + น้ำหนักภาชนะ (C)	น้ำหนักเริ่มต้น (B-A)	น้ำหนักหลังอบ (C-A)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
	g	g	g	g	g	%
ค้างตะแกรงเบอร์ 10	12.64	17.29	16.46	4.65	3.82	21.68
ค้างตะแกรงเบอร์ 20	16.00	20.81	18.83	4.81	2.83	69.82
ค้างตะแกรงเบอร์ 40	13.74	18.80	16.60	5.06	2.86	76.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 การทดลองหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสมและหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

4.3.1 การออกแบบส่วนผสมหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

การทดลองหาส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 , ทรายละเอียด, น้ำสะอาด, โฟมที่ได้จากสารทำฟองเจือจางกับน้ำสะอาด และขุยมะพร้าว ซึ่งอาศัยผลของความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึม เป็นตัววัดตามการทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2601 – 2556

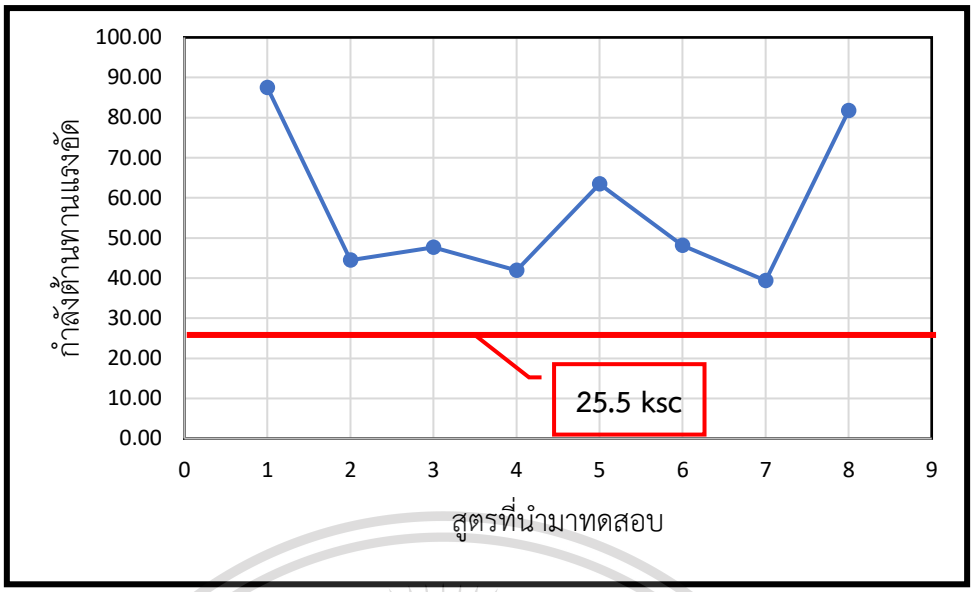
วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงาน ทำการนำส่วนผสมมาผลิตก้อนคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. สำหรับ ทดสอบความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และ อัตราการดูซึม มีส่วนผสมต้นแบบ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ต่อทราย 1 : 1 โดยน้ำหนัก และน้ำสะอาดใช้ 0.65 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จากนั้นนำสารทำฟองเจือจางกับน้ำสะอาด ในอัตราส่วน 1 : 20 โดยปริมาตร เทลงในถังเตรียมการสร้างฟอง โดยมีสว่านปั่นมือความเร็ว 1676 รอบ/นาที ทำการปั่นสารทำฟองที่ถูกเจือจางกับน้ำสะอาด จากนั้นใส่ฟองจากการสร้างโฟมในปริมาณ 1.2 เท่าหรือ 120 % ของปริมาตรจริงที่ใช้ทดสอบ

โดยเมื่อทดสอบแล้วจึงได้มีการทดลองสูตรต่างๆที่คาดว่าจะสามารถผ่าน มอก. 2601 – 2556 และเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด สูตรที่นำมาทดสอบมีทั้งหมด 8 สูตร ทำการทดสอบสูตรละ 3 ก้อน รวมทั้งสิ้น 24 ก้อน สูตรที่นำมาทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

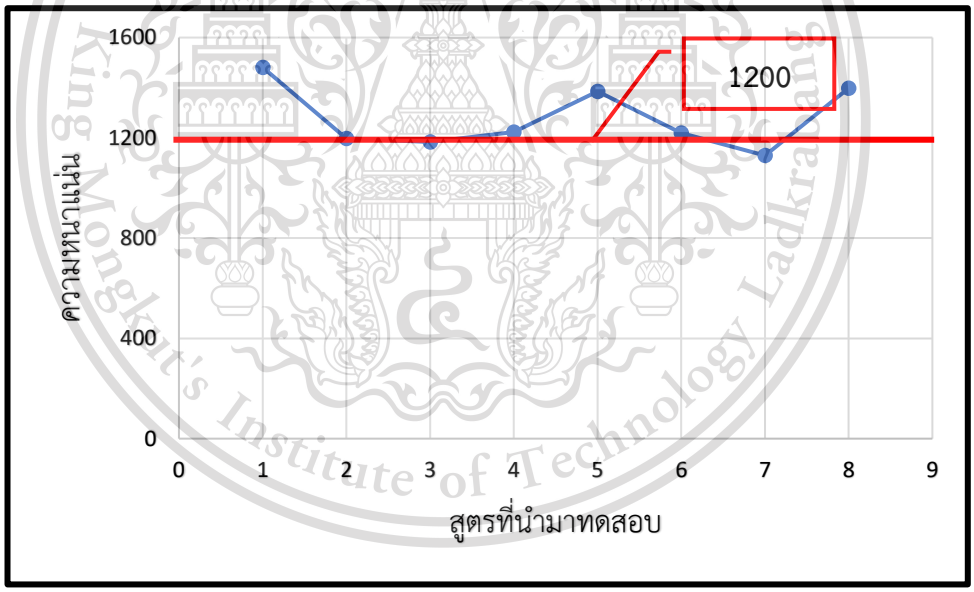
ตารางที่ 4.3 ผลจากการทดลองเฉลี่ยใช้มาตรฐานมอก. 2601 - 2556 C12

ก้อนที่	W/C ratio	S/C ratio	Foam (%)	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักก่อนอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ	ความหนาแน่น	กำลัง
				kg	kg	%	kg/cm^3	kN
1	0.65	1	80	4.886	5.679	16.23	1481	194.96
2	0.65	1	120	3.923	4.702	19.86	1198	98.00
3	0.65	1	160	3.925	4.788	21.99	1184	105.14
4	0.65	2	120	4.160	4.966	19.38	1223	93.96
5	0.7	1	80	4.437	5.258	18.50	1385	141.40
6	0.7	1	120	4.053	4.947	22.06	1219	106.88
7	0.7	1	160	3.788	4.657	22.94	1129	87.65
8	0.75	1	80	4.437	5.258	18.50	1398	181.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

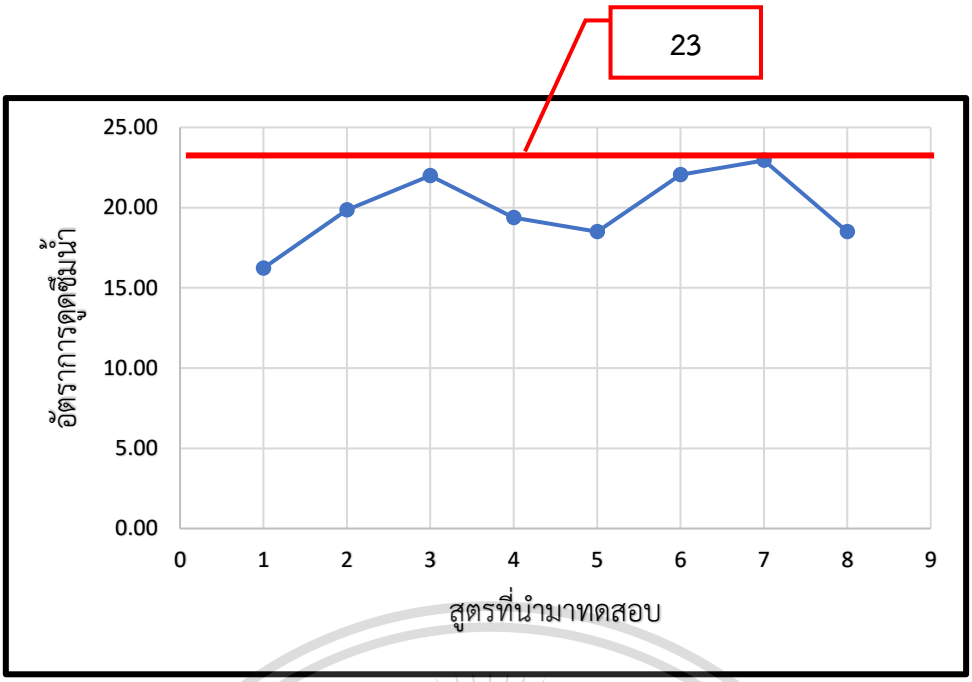


รูปที่ 4.2 กำลังต้านทานแรงอัดกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556



รูปที่ 4.3 ความหนาแน่นกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 อัตราการดูดซึมน้ำกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556

จากการทดลองพบว่าสูตรที่ดีที่สุดและผ่านมาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 คือสูตร 2, 3, และ 7 แต่เนื่องจากขุยมะพร้าวมีอัตราการดูดซึมน้ำที่มาก จึงทำการเลือก สูตร 2 เนื่องจากสูตร 2 มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่า สูตรที่ 3 และ 7 ดังนั้นผลทดสอบจึงได้ผลดังนี้ ผลการทดลองจากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกราฟความหนาแน่นพบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ W/C ratio = 0.65 S/C ratio = 1 โฟม = 120% ที่มีความหนาแน่น = 1198 kg/m^3 กำลังรับแรงอัด = 44.48 ksc อัตราการดูดซึมน้ำ =19.86

4.3.2 ผลจากการหาขนาดที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวที่ทำการค้าง Sieve เบอร์ต่างๆ

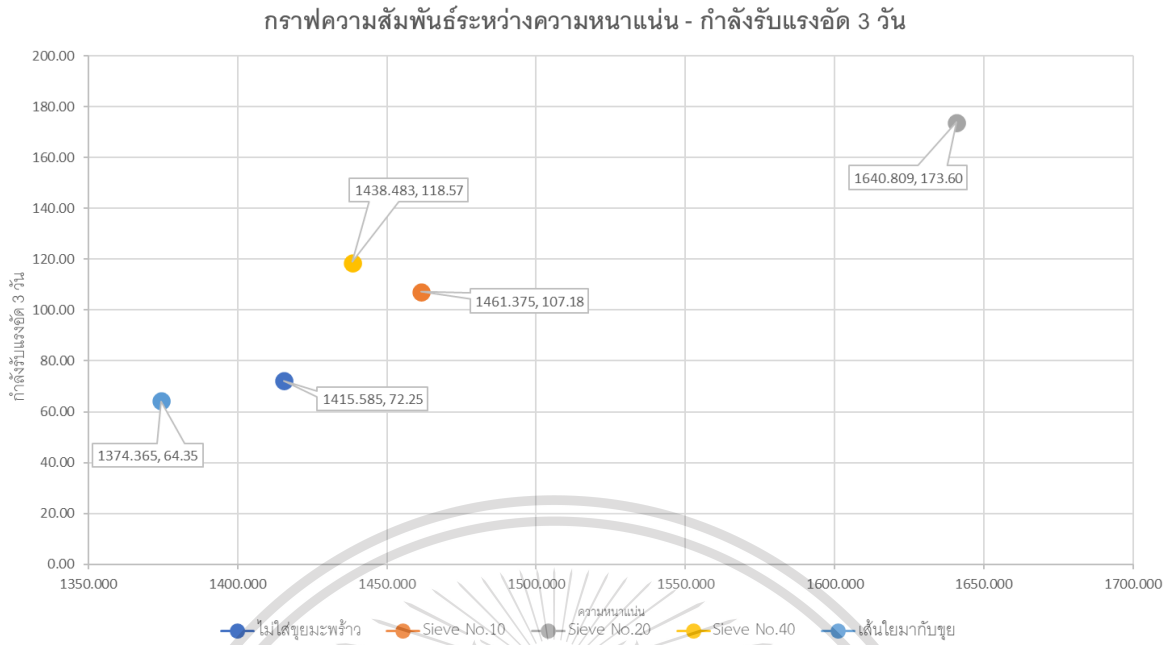
เมื่อนำสูตรการคำนวณอัตราส่วนผสมคือ W/C ratio = 0.40 S/C ratio = 0.5 โฟม = 60% มาทำการใส่ขุยมะพร้าวที่ค้าง Sieve No. คือ ไม่ใส่ขุยมะพร้าว ค้างเบอร์ 10 ค้างเบอร์ 20 ค้างเบอร์ 40 และเส้นใยตามลำดับ มาทำการใส่ลงไป 24% ของปริมาตรที่ทำการทดสอบ คือขนาด 5 × 5 × 5 เซนติเมตร ผลที่ได้จากการทดสอบมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

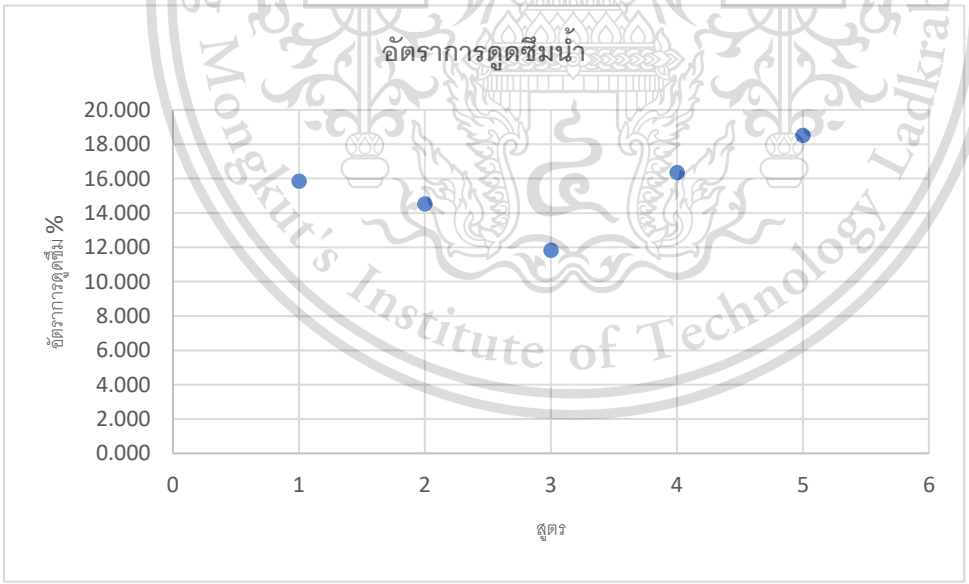
ตารางที่ 4.4 ผลจากการทดลองหาอัตราการดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และกำลังของขนาดขุยมะพร้าวต่างๆ

Sieve No.	ก้อนที่	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักก่อนอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ	ความหนาแน่น	กำลัง
		g	g	%	kg/cm^3	kN
ไม่ใส่ขุย	1	177.13	205.00	15.74	1416.08	22.28
	2	178.83	207.00	15.75	1423.95	18.86
	3	179.14	208.00	16.11	1406.72	12.32
10	1	188.04	215.00	14.34	1464.88	31.15
	2	192.04	217.00	13.00	1525.12	26.84
	3	177.19	206.00	16.26	1394.13	21.78
20	1	206.43	231.00	11.91	1639.36	47.86
	2	204.52	229.00	11.97	1625.29	49.34
	3	206.97	231.00	11.61	1657.77	31.17
40	1	179.57	210.00	16.95	1431.56	30.72
	2	179.08	209.00	16.71	1436.85	31.29
	3	181.07	209.00	15.42	1447.04	25.40
ใยมะพร้าว	1	170.63	203.00	18.97	1358.35	13.33
	2	170.31	202.00	18.61	1345.35	13.76
	3	178.02	210.00	17.97	1419.39	20.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4. 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด



สูตร	หมายเหตุ
1	ไม่ใส่
2	10.000
3	20.000
4	40.000
5	เส้นใยมากับขุย

รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของสูตรต่างๆ

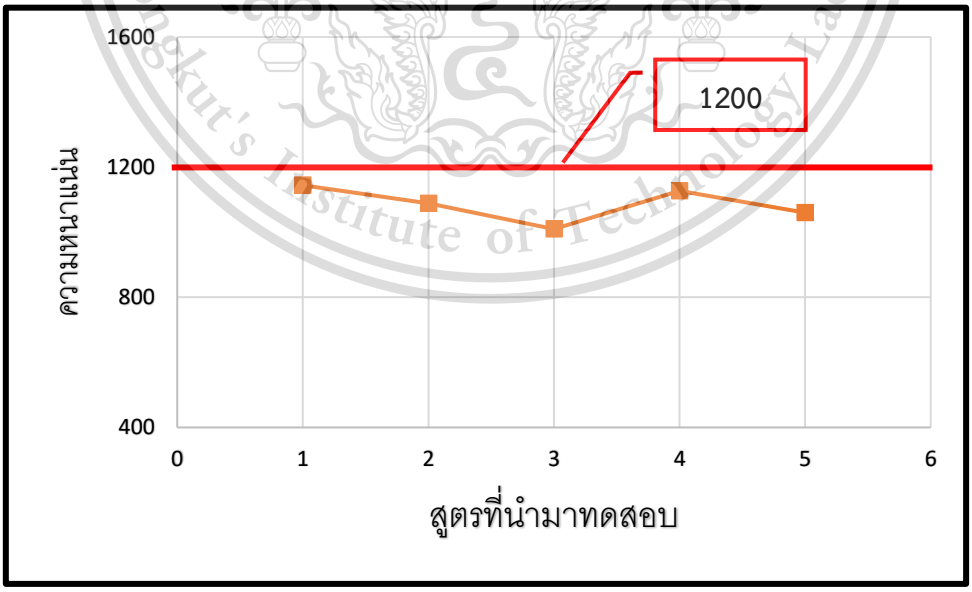
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 ผลจากการหา % ที่เหมาะสมของขุยมะพร้าว

เมื่อนำสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ W/C ratio = 0.65 S/C ratio = 1 โฟม = 120% มาทำการหาปริมาณขุยมะพร้าวที่เหมาะสมที่สุด จากผลการทดสอบนำขุยมะพร้าวแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วน ร้อยละ 0, 20, 30, 40, 50, และ 60 โดยปริมาตร ตามอัตราส่วนผสม 5 สูตร คือ สูตร A, สูตร B, สูตร C, สูตร D และ สูตร E บ่มก้อนคอนกรีตโดยนำไปแช่ลงในน้ำ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน รวมทั้งหมด 18 ก้อน จะได้ผลทดสอบเฉลี่ยของแต่ละสูตรดังนี้

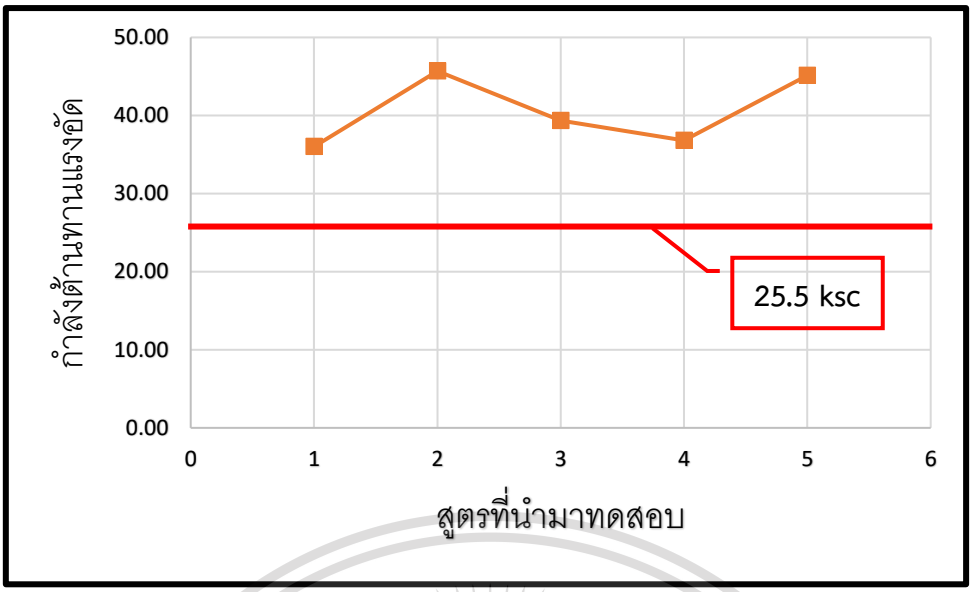
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบเฉลี่ยที่ได้จากสูตรที่ 2 นำมาใส่ขุยมะพร้าว

no	ขุยมะพร้าว (%)	น้ำหนักหลังอบ kg	น้ำหนักก่อนอบ kg	ความหนาแน่น (kg/m^3)	กำลังรับแรงอัด (ksc)	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
A	20	3.73	4.585	1144	36.02	22.922
B	30	3.487	4.296	1089	45.68	23.200
C	40	3.245	4.108	1010	39.35	26.595
D	50	3.691	4.576	1127	36.82	23.977
E	60	3.378	4.227	1061	45.14	25.133
C12				< 1200	> 25.5	< 23

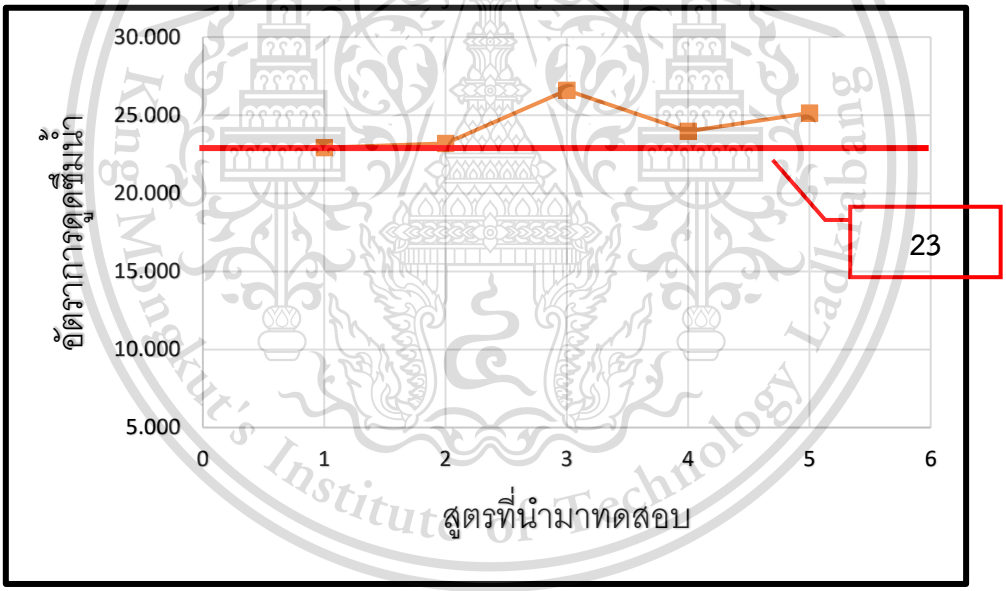


รูปที่ 4.7 ความหนาแน่นกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 กำลังต้านทานแรงอัดกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556



รูปที่ 4.9 อัตราการดูดซึมน้ำกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556

จากการทดสอบหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวได้สูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือใช้ขุยมะพร้าว 20 % ค่าที่ได้คือ ความหนาแน่น = 1144 kg/m^3 กำลังรับแรงอัด = 36.02 ksc อัตราการดูดซึมน้ำ =22.92 %

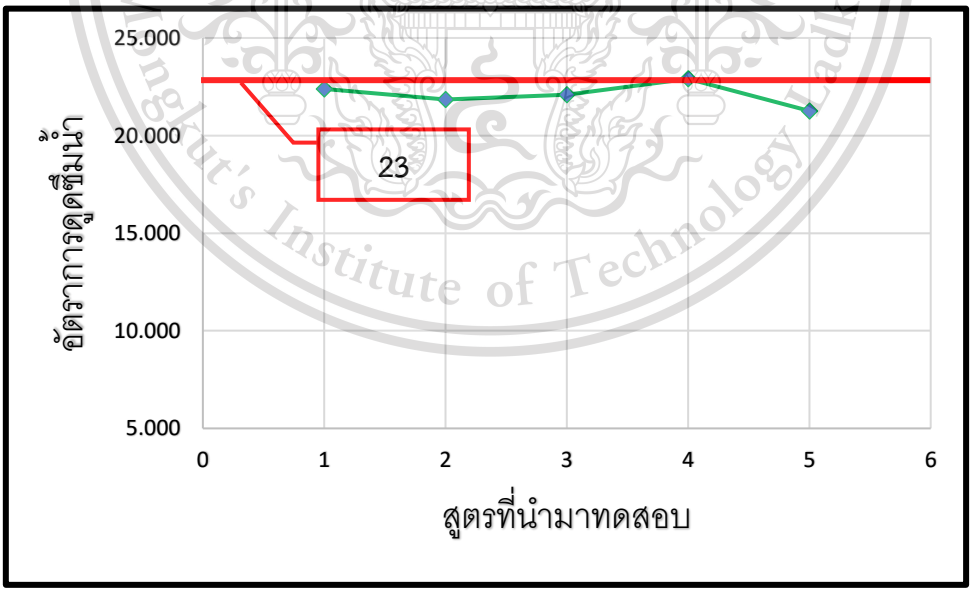
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 การผลิตรูปทรงจริงตามมาตรฐานและทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

เมื่อนำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวได้สูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือใช้ขุยมะพร้าว 20 % ค่าที่ได้คือ ความหนาแน่น = 1144 kg/m^3 กำลังรับแรงอัด = 36.02 ksc อัตราการดูดซึมน้ำ =22.92 % มาทำการขึ้นรูปมาตรฐานจริงขนาด 20 × 60 × 7.5 ซม. 5 ก้อน เพื่อเปรียบผลการทดลองที่ได้จากคอนกรีตมวลเบาขนาด 15 × 15 × 15 ซม. ได้ผลการทดลองดังนี้

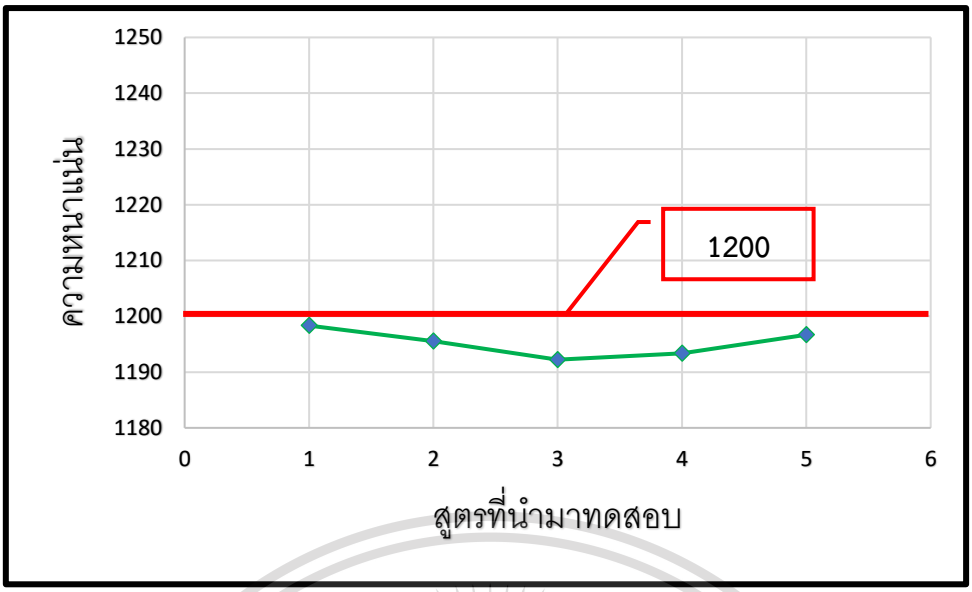
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบคอนกรีตมวลเบาขนาด 20 × 60 × 7.5 ซม.

no	น้ำหนักหลังอบ kg	น้ำหนักก่อนอบ kg	ความหนาแน่น(kg/m^3)	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
1	10.79	13.20	1198	22.392
2	10.76	13.11	1196	21.840
3	10.73	13.10	1192	22.088
4	10.74	13.20	1193	22.905
5	10.77	13.06	1197	21.263
C12			< 1200	< 23



รูปที่ 4.10 อัตราการดูดซึมน้ำกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4. 11 ความหนาแน่นกับสูตรที่นำมาทดสอบ เทียบกับ มอก. 2601 – 2556

จากผลการทดสอบพบว่าขนาดของคอนกรีตมวลเบาตามมาตราฐานขนาด 20 × 60 × 7.5 ซม. มีผลการทดสอบความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมที่มากกว่าและน้อยกว่าเล็กน้อย คอนกรีตมวลเบาขนาด 15 × 15 × 15 ซม. อันเป็นผลมาจากโฟมที่แตก แต่เมื่อเทียบกับมาตราฐาน มอก. 2601 – 2556 ค่าที่ได้ผ่านมาตราฐาน

4.5 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ค่าการนำความร้อน และอัตราการหดตัว

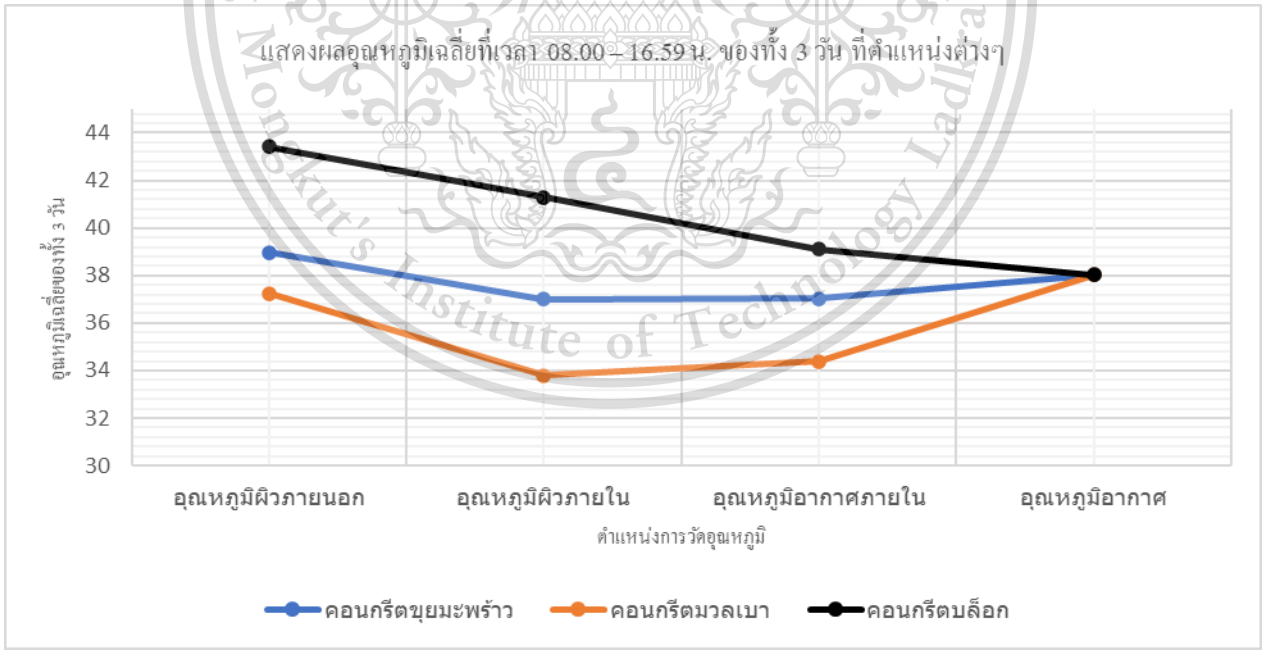
4.5.1 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อน

การทดสอบความสามารถในการลดความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ จากขุยมะพร้าวในสูตร CLC เปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาระบบ เซลลูล่าร์ที่ขายทั่วไปในท้องตลาด และคอนกรีตบล็อก ทำการทดสอบโดยใช้กล่องโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์ /ลบ.ฟุต ความหนา 3 นิ้ว กำหนดให้ผนังกล่องด้านที่ทดสอบหัน ไปทางทิศใต้ (ตามการโคจรของดวงอาทิตย์ในเดือนที่ทดสอบ) จำนวน 3 กล่อง กล่องทดสอบ 1 กล่อง จะประกอบด้วยก้อนคอนกรีต จำนวนกล่องละ 3 ก้อน โดยกล่องที่ 1 เป็นกล่องทดสอบของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด 5 ก้อนคือ 1195 กก./ลบ.ม. กล่องที่ 2 เป็นกล่องคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด มีความหนาแน่น เฉลี่ยที่ 500 กก./ลบ.ม. และกล่องที่ 3 เป็นกล่องทดสอบของคอนกรีตบล็อก จากร้านไทวัสดุ มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ 905.08 กก./ลบ.ม. โดยวัดอุณหภูมิในกล่องทดลองทั้งหมด 3 จุดภายในกล่อง และ 1 จุด เป็นอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

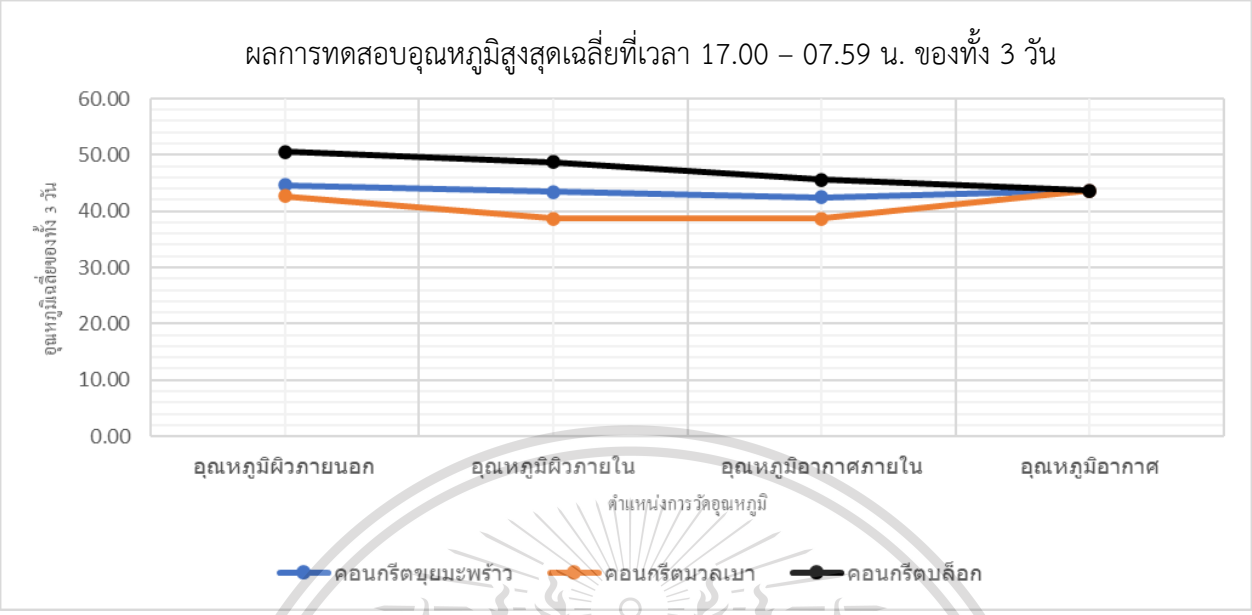
จากการทดสอบความสามารถในการกระจายความร้อนที่ได้จากการนำตัวอย่างที่ได้จากการหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือสูตร W/C ratio = 0.65 S/C ratio = 1 โฟม = 120% ขุยมะพร้าว = 20 % เมื่อนำมาเทียบกับคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกที่มีจำหน่ายทั่วไป ทดสอบโดยกล่องทดลองสี่เหลี่ยมติดตั้ง Data Logger (ยี่ห้อ TDS) และสายเคเบิล Thermocouple Type - T รวบรวมข้อมูลการวัดอุณหภูมิในจุดต่างๆคือ ผิวภายนอก ผิวภายใน และกลางกล่อง การวัดข้อมูล จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงรับแสงแดด และช่วงไม่รับแสงแดด

การทดสอบและวิเคราะห์ผลของการทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ในวันที่ 4 - 7 กรกฎาคม 2564 (3 วัน) ช่วงวันที่ 4 เมษายน 2564 ตั้งแต่เวลา 18.00 - 16.48 น. ของวันที่ 7 เมษายน2564 สภาพภูมิอากาศทั่วไปมีเมฆมากบางช่วง ในช่วงเวลากลางวัน (รับแสงแดด) มีอุณหภูมิเฉลี่ย ที่ได้จากการติดตั้ง Data Logger (ยี่ห้อ TDS) และสายเคเบิล Thermocouple Type - T รวบรวมข้อมูลการวัดอุณหภูมิได้ 38 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุดคือ 43.60 องศาเซลเซียสโดยผลการวิเคราะห์การทดสอบความสามารถในการลดความร้อน จะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ผลของอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวัน และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน โดยจะแบ่งเป็นช่วงที่กล่องทดลองสี่เหลี่ยมเริ่มรับแสงแดด ที่เวลา 08.00 – 16.59 น. กับช่วงเวลาที่กล่องทดลองสี่เหลี่ยมไม่ได้รับแสงแดด ที่เวลา 17.00 – 07.59 น.



รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยที่เวลา 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่เวลา 17.00 – 07.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยที่เวลา 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ ในวันที่ 4 - 7 เมษายน 2564 พบว่าทั้ง 3 กล่องทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย บริเวณผิวภายนอกกล่องทดลองในกล่องที่ 1, 2, 3 ที่อุณหภูมิ 38.98, 37.26 และ 43.42 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยในกล่องที่ 1, 2, 3 มีอุณหภูมิ 37.00, 33.78 และ 41.30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ อุณหภูมิภายในอากาศเฉลี่ยในกล่องที่ 1, 2, 3 มีอุณหภูมิ 37.02, 34.38 และ 39.09 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ที่ 38.02 องศาเซลเซียส โดยก้อนคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว (กล่องที่ 1) มีอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวภายนอก, ผิวภายใน, และอุณหภูมิภายใน กล่องทดลอง สูงกว่าก้อนคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่ขายทั่วไปในท้องตลาด (กล่องที่ 2) แต่ยังน้อยกว่าคอนกรีตบล็อก (กล่องที่ 3)

จากรูปที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่เวลา 17.00 – 07.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ พบว่ากล่องที่ 1 มีอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยสูงสุดที่ 44.60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยสูงสุดที่ 43.40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศในกล่องเฉลี่ยสูงสุดที่ 42.50 องศาเซลเซียส กล่องที่ 2 มีอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยสูงสุดที่ 42.70 อุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยสูงสุดที่ 38.70 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศในกล่องเฉลี่ยสูงสุดที่ 38.70 องศาเซลเซียส และกล่องที่ 3 มีอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยสูงสุดที่ 50.50 อุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยสูงสุดที่ 48.70 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศในกล่องเฉลี่ยสูงสุดที่ 45.60 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดทั้ง 3 วัน ที่ 43.60 องศาเซลเซียส โดยก้อนคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว (กล่องที่ 1) มีอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวภายนอก, ผิวภายใน, และ

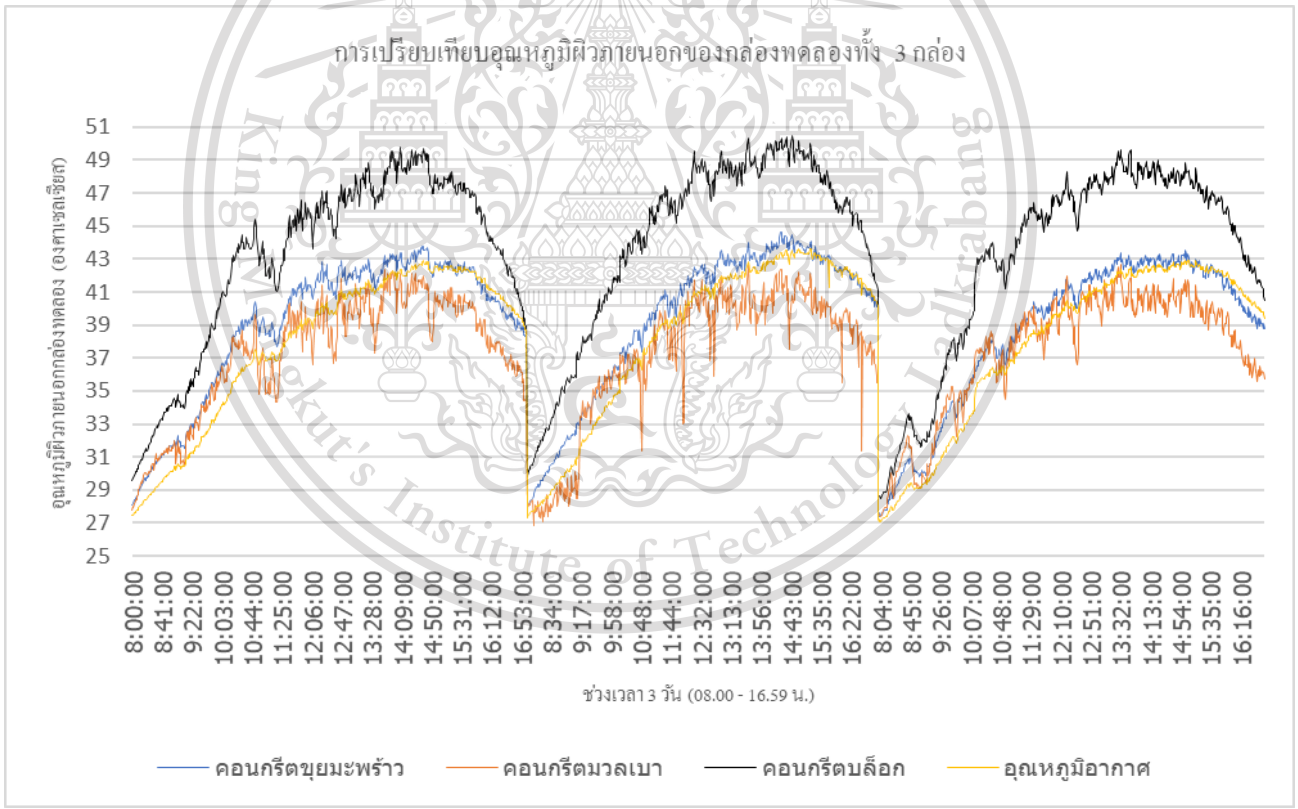
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อุณหภูมิภายใน กล่องทดลอง สูงกว่าก้อนคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่ขายทั่วไปในท้องตลาด (กล่องที่ 2) แต่ยังน้อยกว่าคอนกรีตบล็อก (กล่องที่ 3)

4.5.1.1 การวิเคราะห์ผลอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องทดลอง (ช่วงรับแสง)

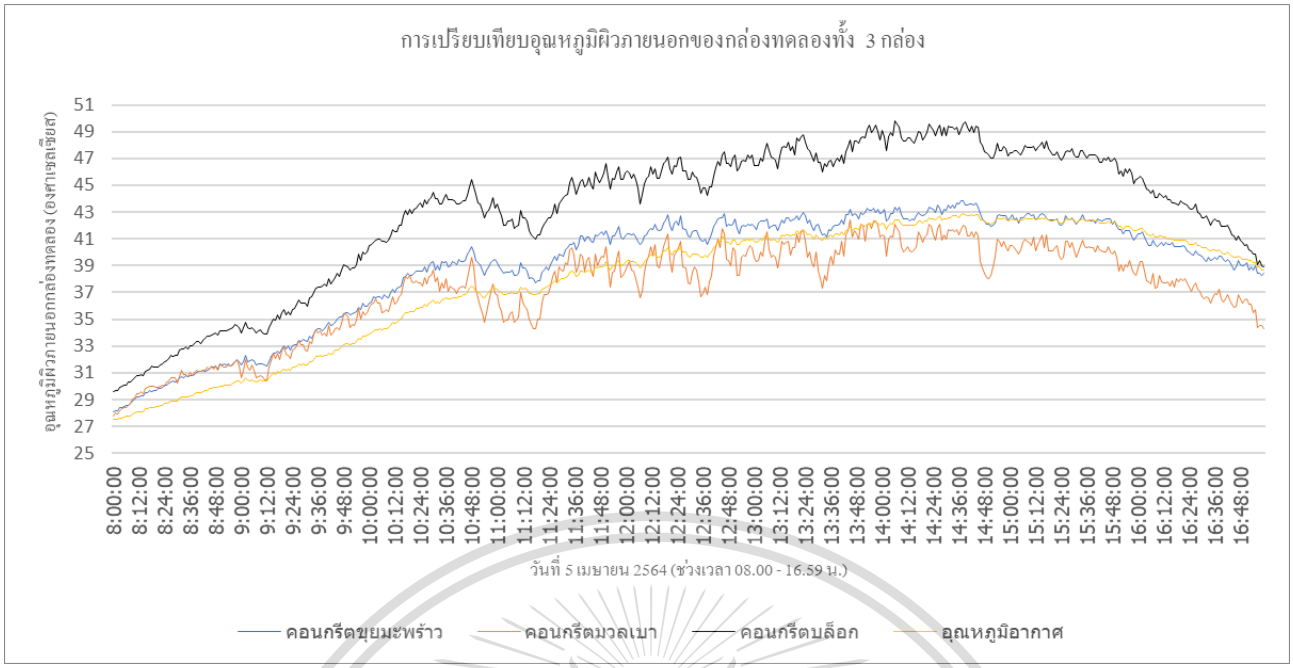
การวัดอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องทดลอง ในตำแหน่งที่ 1 ของกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง ในวันที่ 5 - 7 เมษายน 2564 ช่วงเวลา 08.00 – 16.59 น. ประกอบด้วยกล่องที่ 1 คอนกรีตมวล เบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว กล่องที่ 2 เป็นกล่อง คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และกล่องที่ 3 เป็นกล่องทดสอบของ คอนกรีตบล็อก

พบว่ากล่องที่ 1 มีอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องสูงสุดอยู่ที่ 44.60 กล่องที่ 2 มีอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องสูงสุดอยู่ที่ 42.70 และกล่องที่ 3 มีอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องสูงสุดอยู่ที่ 50.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในกล่องที่ 1 อยู่ที่ 38.98องศาเซลเซียส กล่องที่ 2 อยู่ที่ 37.26 องศาเซลเซียส กล่องที่ 3 อยู่ที่ 43.42 องศาเซลเซียส

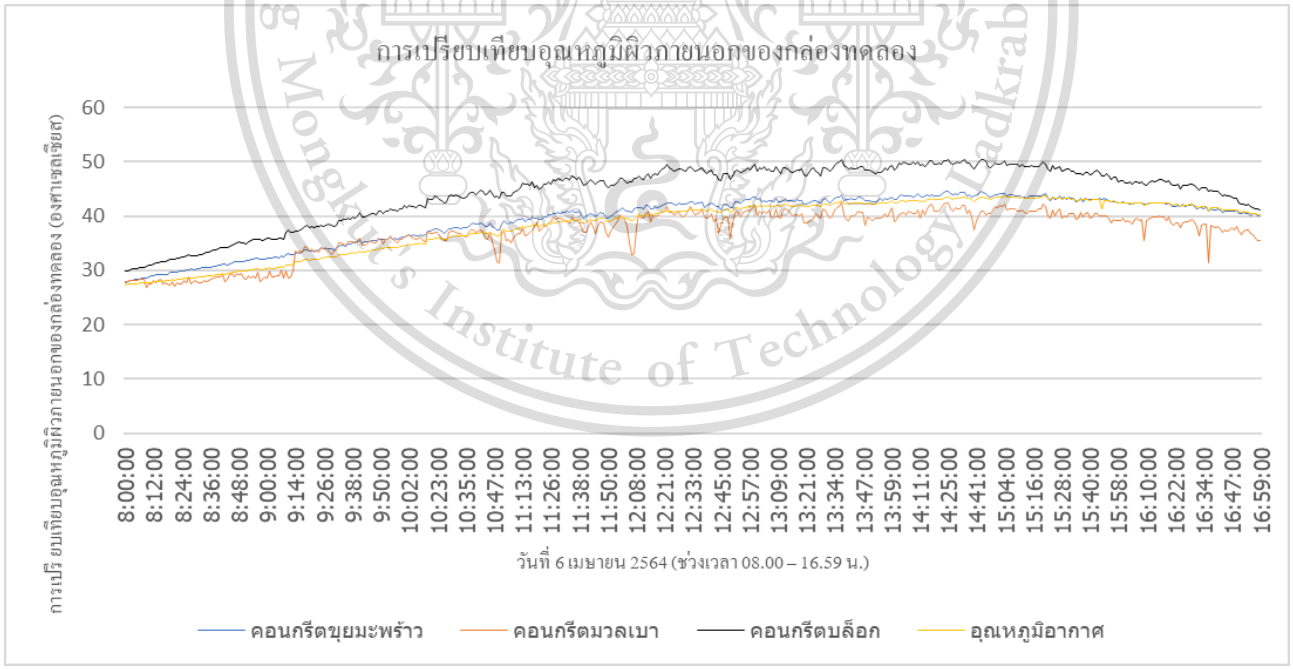


รูปที่ 4.14 อุณหภูมิผิวภายนอกของกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

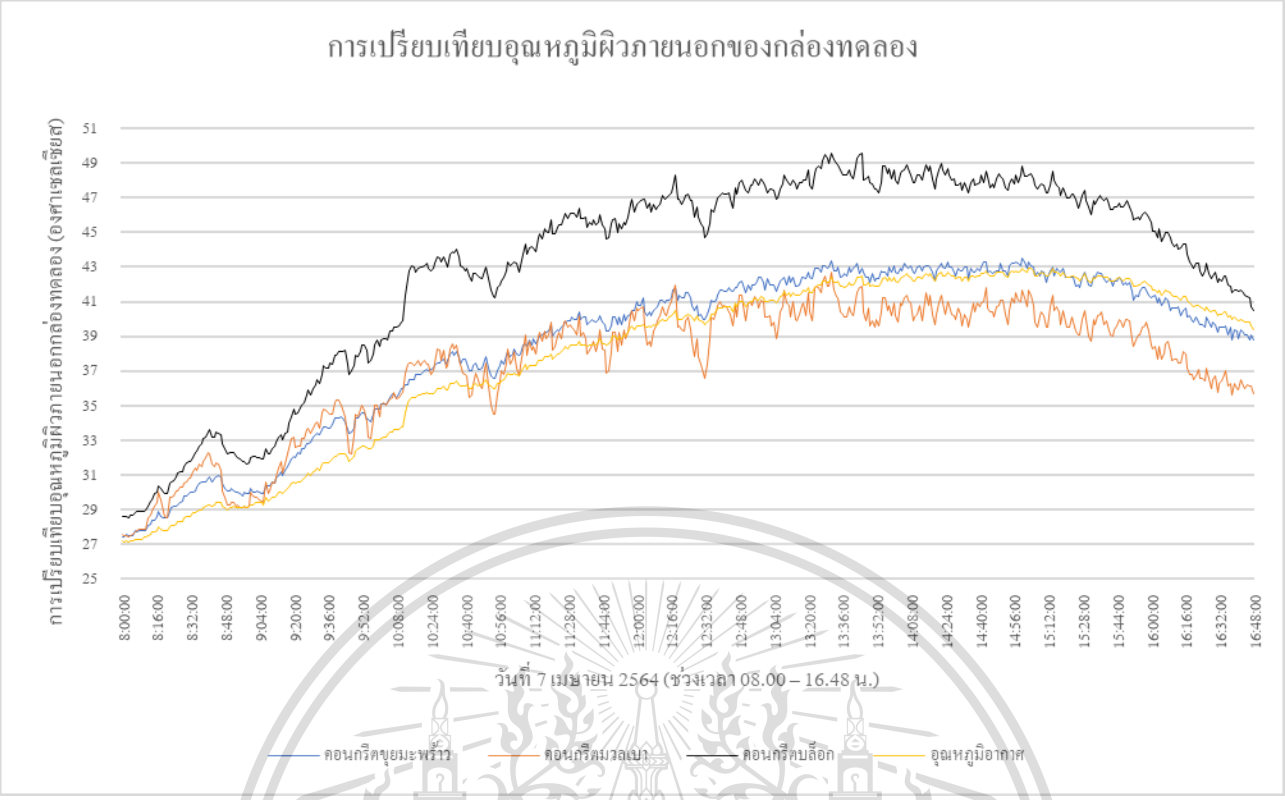


รูปที่ 4.15 อุณหภูมิผิวภายนอกทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 5/04/64 08.00 – 16.59 น.



รูปที่ 4.16 อุณหภูมิผิวภายนอกทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 6/04/64 08.00 – 16.59 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



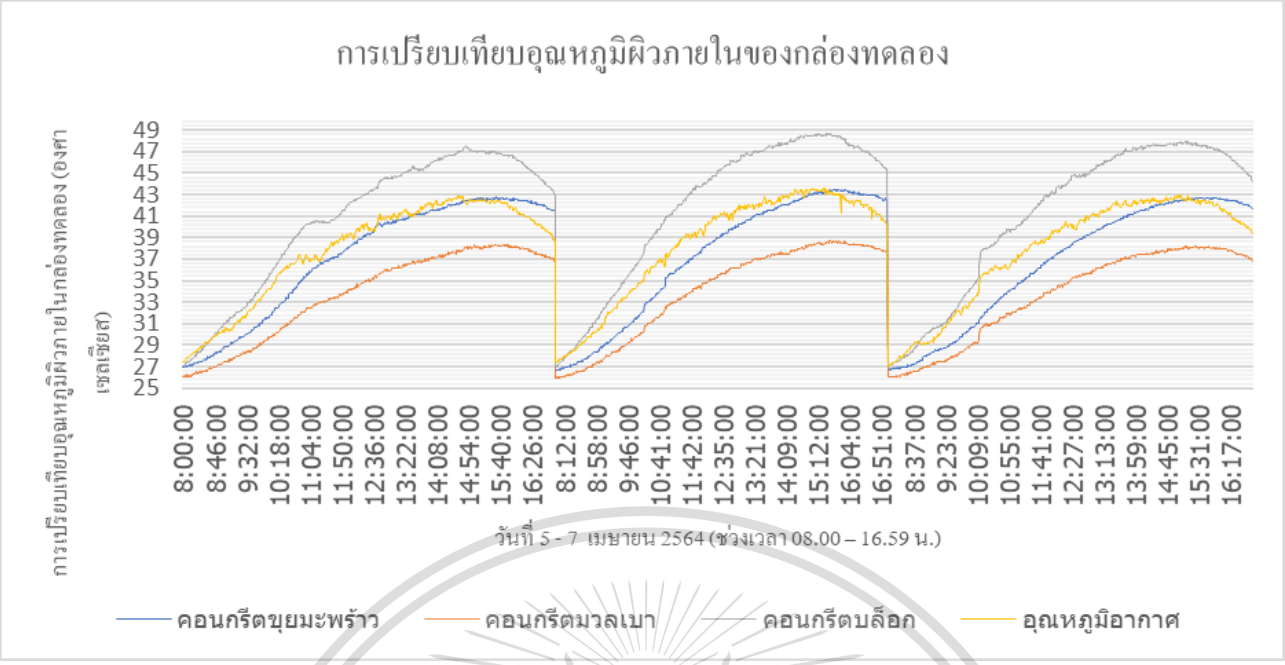
รูปที่ 4.17 อุณหภูมิผิวภายนอกทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 7/04/64 08.00 – 16.48 น.

4.5.1.2 การวิเคราะห์ผลอุณหภูมิผิวภายในกล่องทดลอง (ช่วงรับแสง)

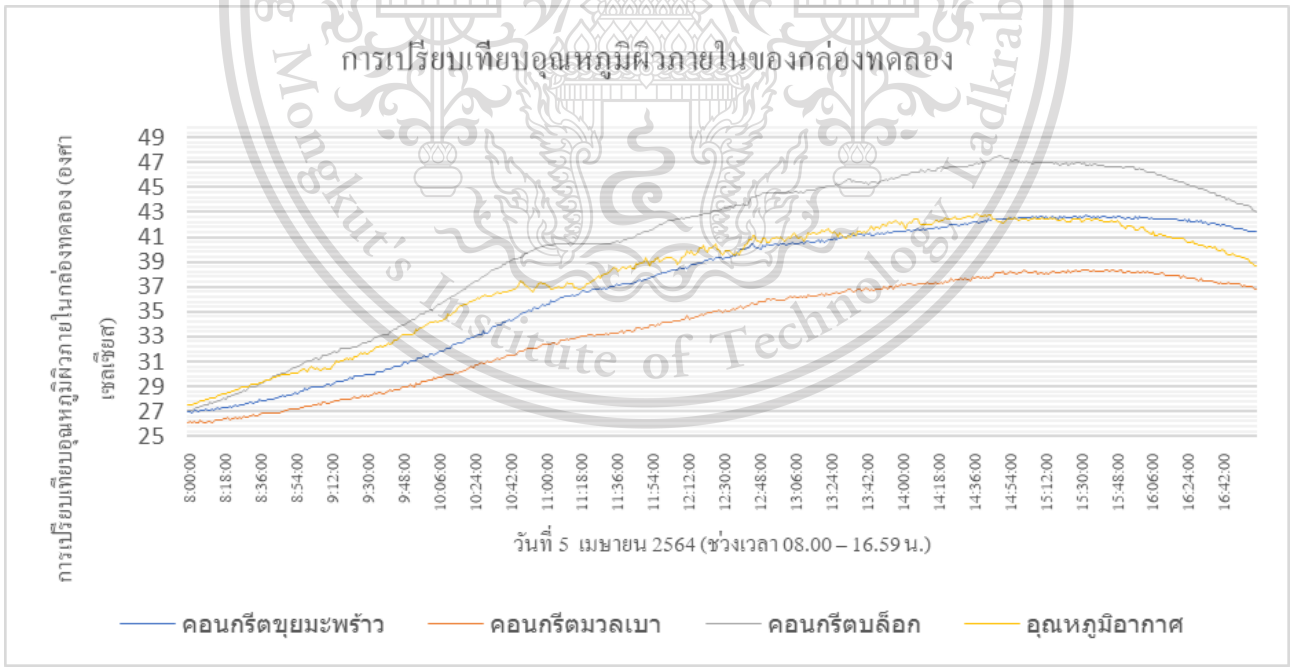
การวัดอุณหภูมิผิวภายในกล่องทดลอง ในตำแหน่งที่ 2 ของกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง ในวันที่ 5 - 7 เมษายน 2564 ช่วงเวลา 08.00 – 16.59 น. ประกอบด้วยกล่องที่ 1 คอนกรีตมวล เบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว กล่องที่ 2 เป็นกล่อง คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และกล่องที่ 3 เป็นกล่องทดสอบของ คอนกรีตบล็อก

พบว่ากล่องที่ 1 มีอุณหภูมิผิวภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 43.40 กล่องที่ 2 มีอุณหภูมิผิวภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 38.70 และกล่องที่ 3 มีอุณหภูมิผิวภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 48.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิผิวภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในกล่องที่ 1 อยู่ที่ 37.00 องศาเซลเซียส กล่องที่ 2 อยู่ที่ 33.78องศาเซลเซียส กล่องที่ 3 อยู่ที่ 41.30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

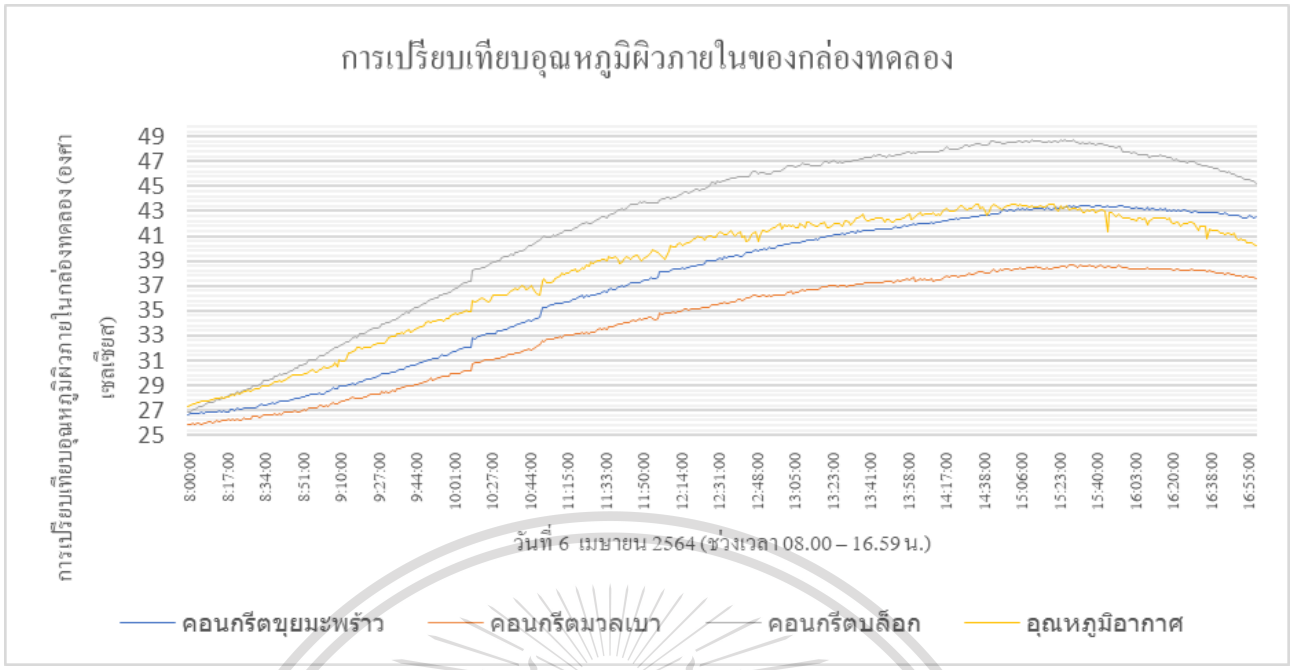


รูปที่ 4.18 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่อง 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ

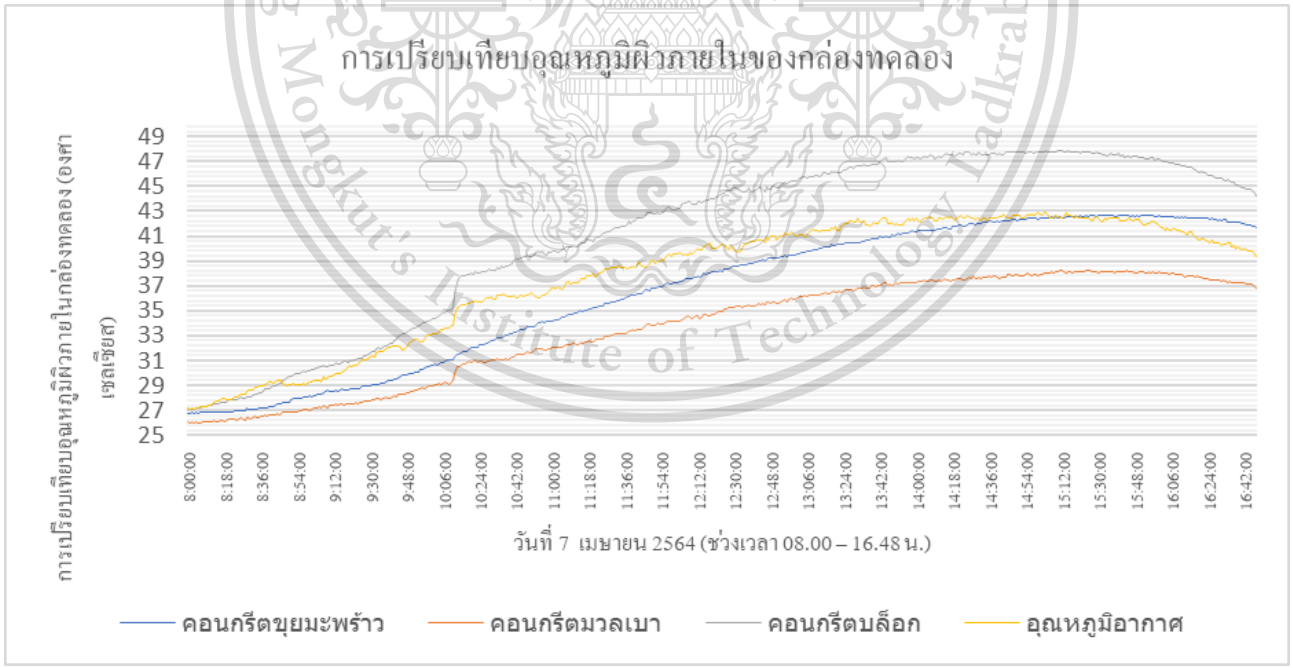


รูปที่ 4.19 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 5/04/64 08.00 – 16.59 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.20 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 6/04/64 08.00 – 16.59 น.



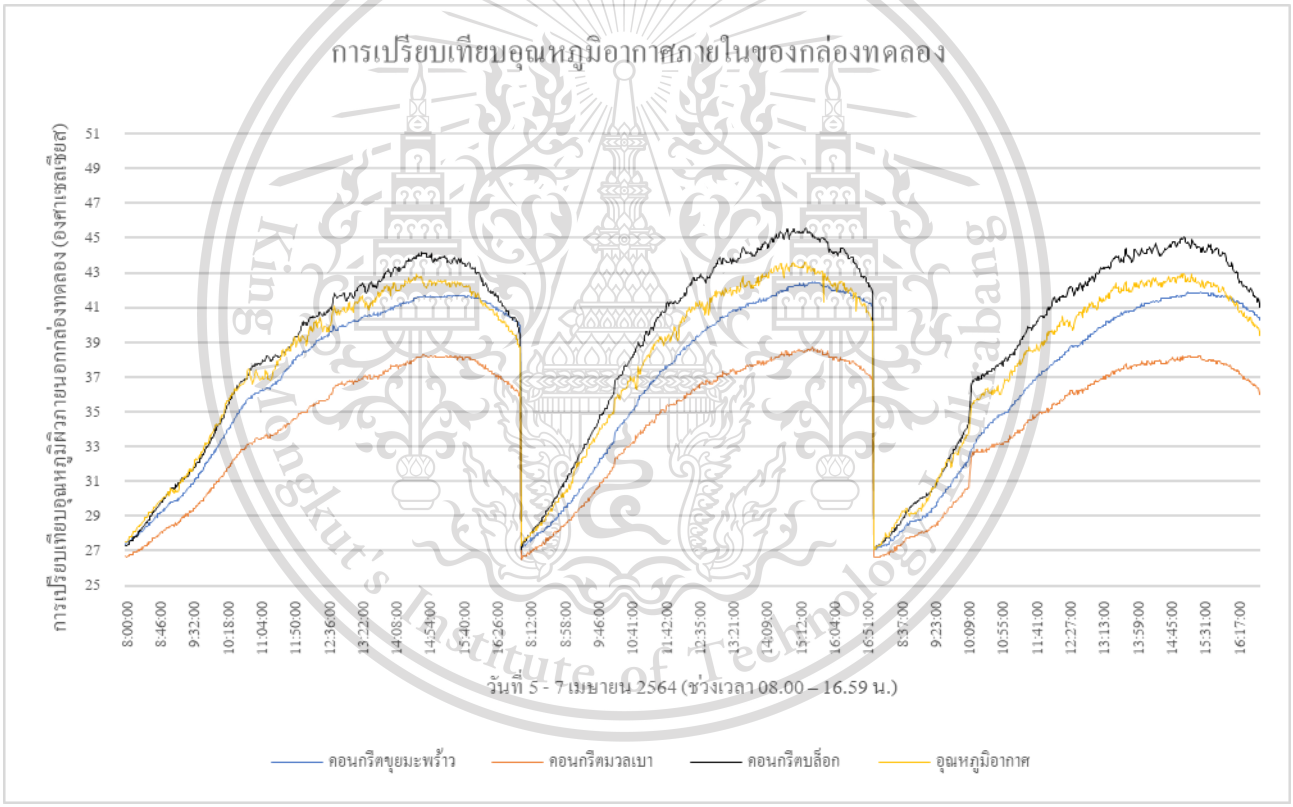
รูปที่ 4.21 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 7/04/64 08.00 – 16.48 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.1.3 การวิเคราะห์ผลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง (ช่วงรับแสง)

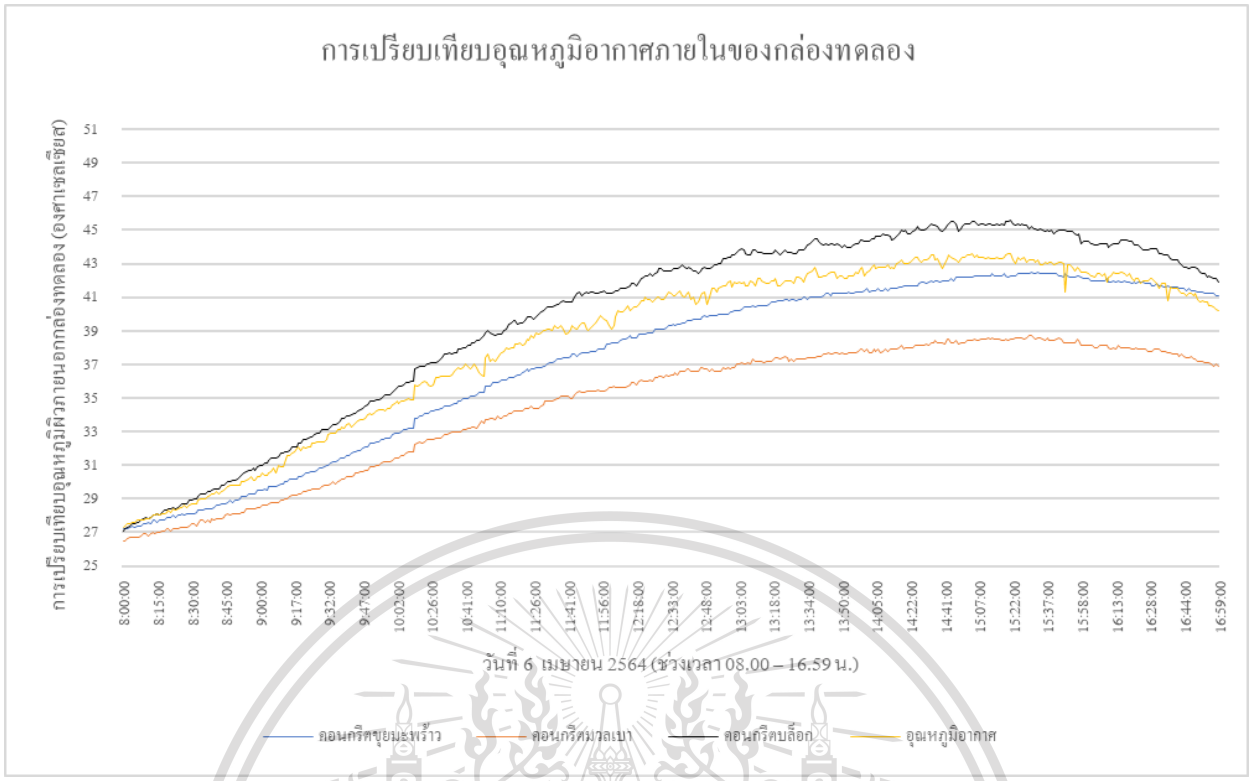
การวัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง ในตำแหน่งที่ 3 ของกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง ในวันที่ 5 - 7 เมษายน 2564 ช่วงเวลา 08.00 – 16.59 น. ประกอบด้วยกล่องที่ 1 คอนกรีตมวล เบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว กล่องที่ 2 เป็นกล่อง คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และกล่องที่ 3 เป็นกล่องทดสอบของ คอนกรีตบล็อก

พบว่ากล่องที่ 1 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 42.50 กล่องที่ 2 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 38.70 และกล่องที่ 3 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 45.60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในกล่องที่ 1 อยู่ที่ 37.02 องศาเซลเซียส กล่องที่ 2 อยู่ที่ 34.38 องศาเซลเซียส กล่องที่ 3 อยู่ที่ 39.09 องศาเซลเซียส

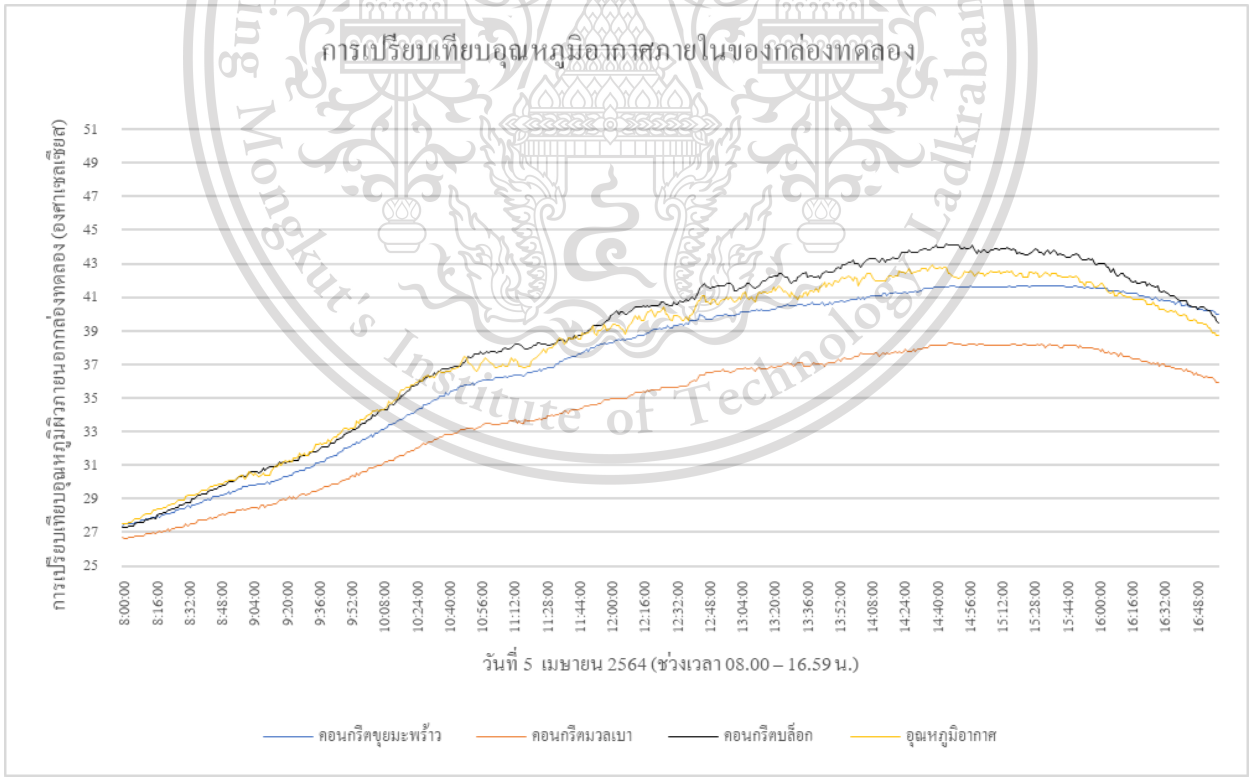


รูปที่ 4.22 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่อง 08.00 – 16.59 น. ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

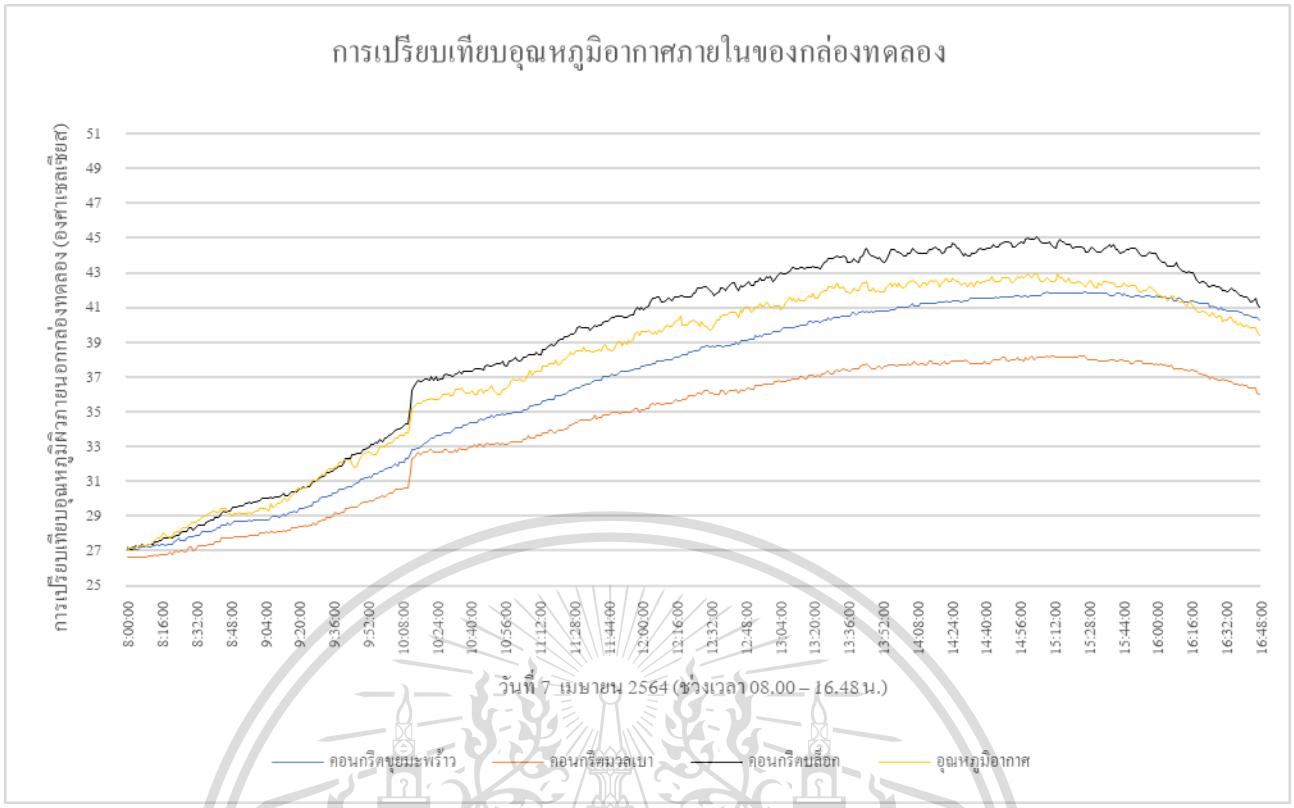


รูปที่ 4.23 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 6/04/64 08.00 – 16.59น.



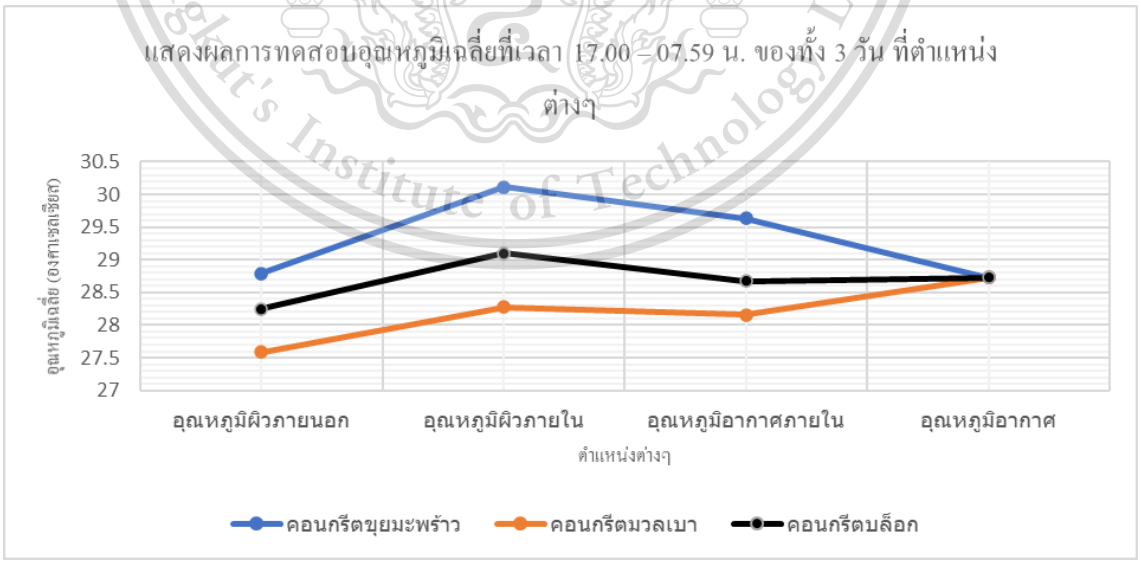
รูปที่ 4.24 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 5/04/64 08.00 – 16.59 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



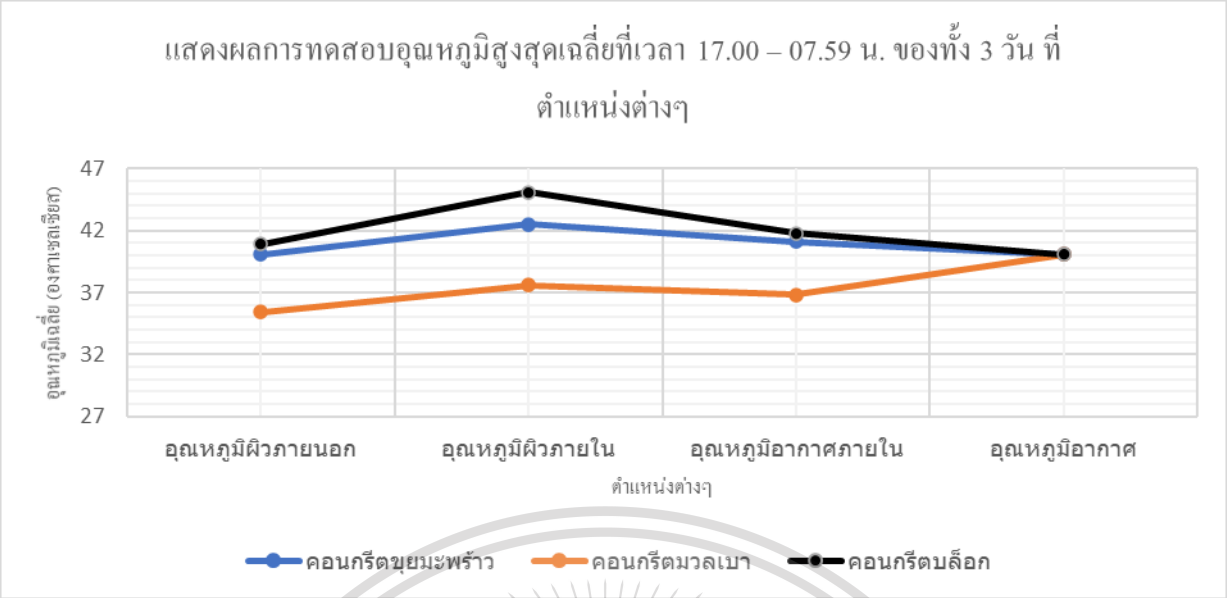
รูปที่ 4.25 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศเมื่อ 7/04/64 08.00 – 16.48 น.

การทดสอบและวิเคราะห์ผลของการทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ในวันที่ 4 - 7 เมษายน 2564 (3 วัน) ช่วงวันที่ 4 เมษายน 2564 ตั้งแต่เวลา 18.00 - 16.48 น. ของวันที่ 7 เมษายนช่วงเวลาที่กล่องทดลองสี่เหลี่ยมไม่ได้รับแสงแดด ที่เวลา 17.00 – 07.59 น.ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.26 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยที่เวลา 17.00 – 07.59 น.ของทั้ง 3 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.27 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่เวลา 17.00 – 07.59 น.ของทั้ง 3 วัน

จากรูปที่ 4.26 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยที่เวลา 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น. ของทั้ง 4 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ ในวันที่ 4 - 7 เมษายน 2564 พบว่าทั้ง 3 กล่องทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย บริเวณผิวภายนอกกล่องทดลอง ในกล่องที่ 1, 2, 3 ที่อุณหภูมิ 28.79, 27.59 และ 28.25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยในกล่องที่ 1, 2, 3 มีอุณหภูมิ 30.12, 28.28 และ 29.10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ อุณหภูมิภายในอากาศเฉลี่ยในกล่องที่ 1, 2, 3 มีอุณหภูมิ 29.63, 28.16 และ 28.68 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทั้ง 4 วัน ที่ 28.73 องศาเซลเซียส โดยก้อนคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว (กล่องที่ 1) มีอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวภายนอก, ผิวภายใน, และอุณหภูมิภายใน กล่องทดลอง สูงกว่าก้อนคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่ขายทั่วไปในท้องตลาด (กล่องที่ 2) แต่ยังน้อยกว่าคอนกรีตบล็อก (กล่องที่ 3)

จากรูปที่ 4.27 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่เวลา 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น.ของทั้ง 4 วัน ที่ตำแหน่งต่างๆ พบว่ากล่องที่ 1 มีอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยสูงสุดที่ 40.10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยสูงสุดที่ 42.50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศในกล่องเฉลี่ยสูงสุดที่ 41.10 องศาเซลเซียส กล่องที่ 2 มีอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยสูงสุดที่ 35.40 องศาเซลเซียสอุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยสูงสุดที่ 37.60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศในกล่องเฉลี่ยสูงสุดที่ 36.80 องศาเซลเซียส และกล่องที่ 3 มีอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยสูงสุดที่ 40.90 อุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยสูงสุดที่ 45.10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศในกล่องเฉลี่ยสูงสุดที่ 41.80 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดทั้ง 4 วัน ที่ 40.10 องศาเซลเซียส โดยก้อนคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว (กล่องที่ 1) มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวภายนอก, ผิวภายใน, และอุณหภูมิภายใน กล่องทดลอง สูงกว่าก้อนคอนกรีตมวลเบา

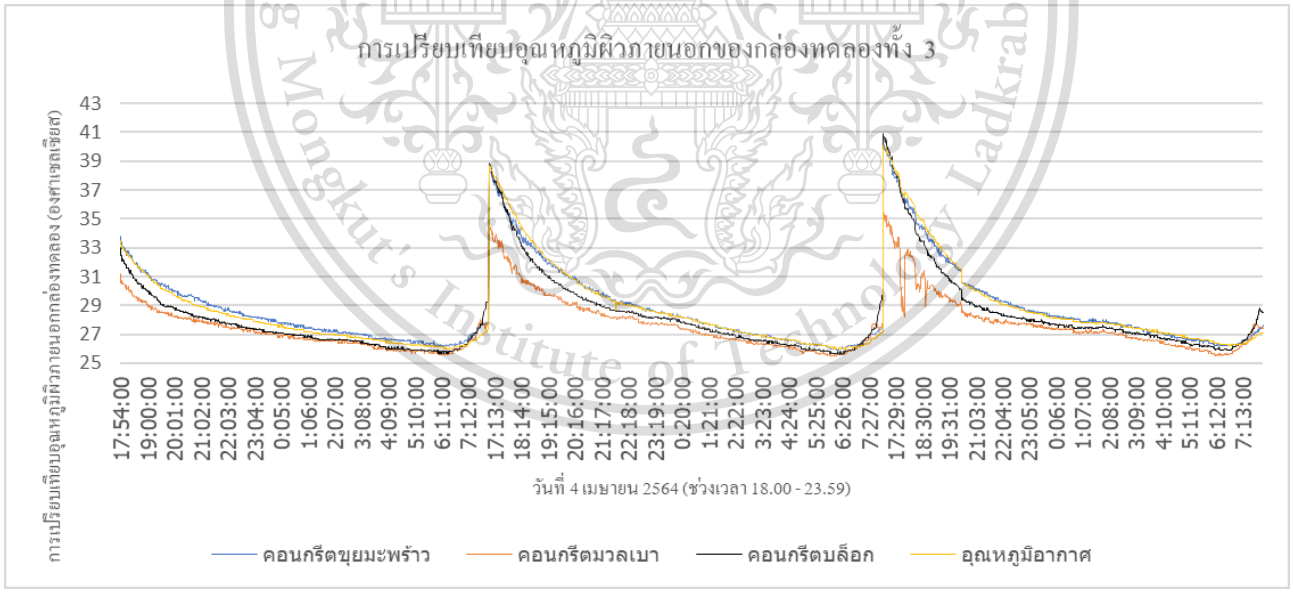
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบเซลลูล่าร์ที่ขายทั่วไปในท้องตลาด (กล่องที่ 2) แต่ยังน้อยกว่าคอนกรีตบล็อก (กล่องที่ 3) และ มีอุณหภูมิเฉลี่ย ของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวภายนอก, ผิวภายใน, และอุณหภูมิภายใน กล่องทดลอง สูงกว่าก้อนคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่ขายทั่วไปในท้องตลาด (กล่องที่ 2) และสูงกว่าคอนกรีตบล็อก (กล่องที่ 3)

4.5.1.4 การวิเคราะห์ผลอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องทดลอง (ช่วงไม่รับแสง)

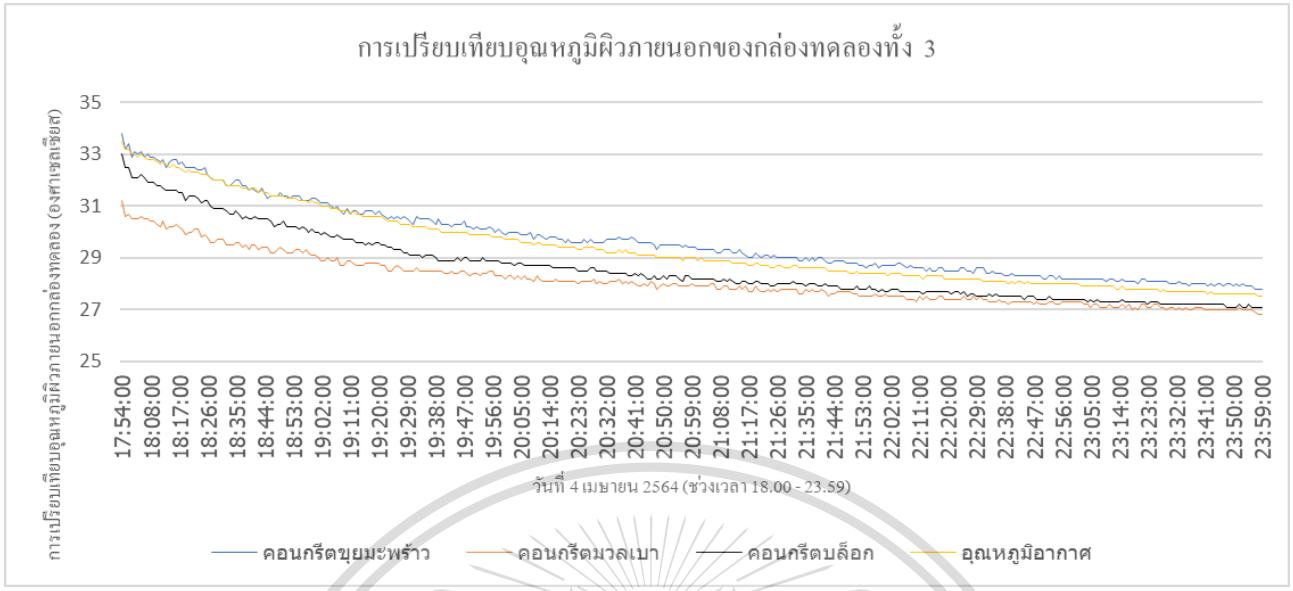
การวัดอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องทดลอง ในตำแหน่งที่ 1 ของกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง ในวันที่ 4 - 7 เมษายน 2564 ช่วงเวลา 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น.ประกอบด้วยกล่องที่ 1 คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว กล่องที่ 2 เป็นกล่อง คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และกล่องที่ 3 เป็นกล่องทดสอบของ คอนกรีตบล็อก

พบว่ากล่องที่ 1 มีอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องสูงสุดอยู่ที่ 44.60 กล่องที่ 2 มีอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องสูงสุดอยู่ที่ 42.70 และกล่องที่ 3 มีอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องสูงสุดอยู่ที่ 50.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิผิวภายนอกกล่องเฉลี่ยทั้ง 4 วัน ในกล่องที่ 1 อยู่ที่ 38.98องศาเซลเซียส กล่องที่ 2 อยู่ที่ 37.26 องศาเซลเซียส กล่องที่ 3 อยู่ที่ 43.42 องศาเซลเซียส

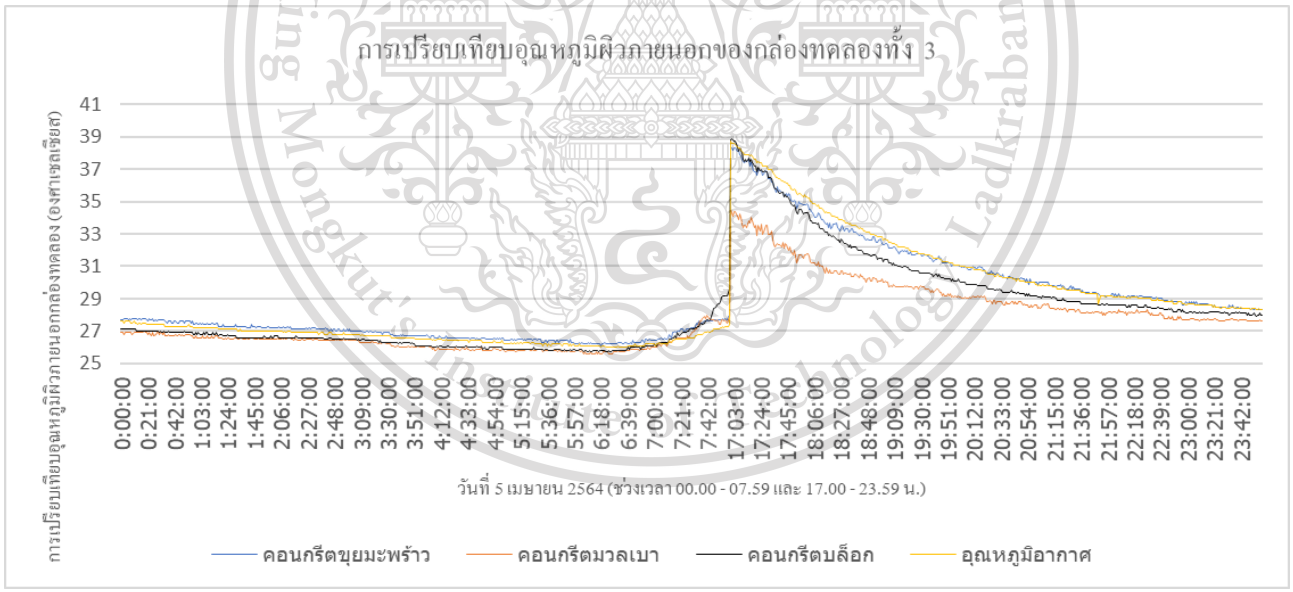


รูปที่ 4.28 อุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 กล่อง 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น. ของทั้ง 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

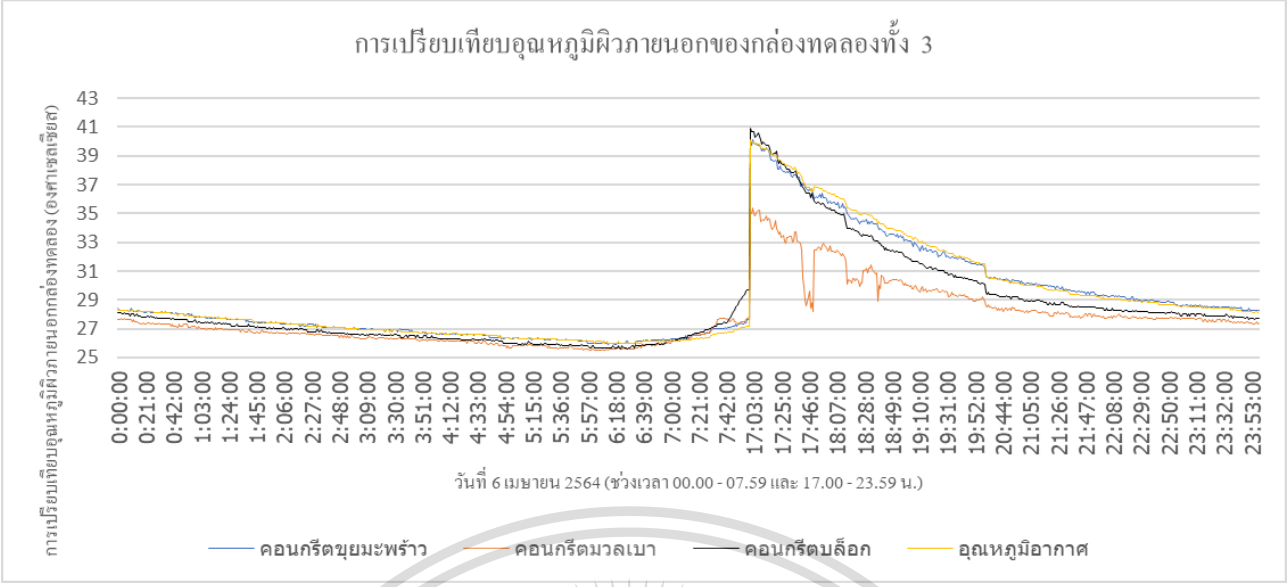


รูปที่ 4.29 อุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 4/04/64 18.00 – 23.59 น.

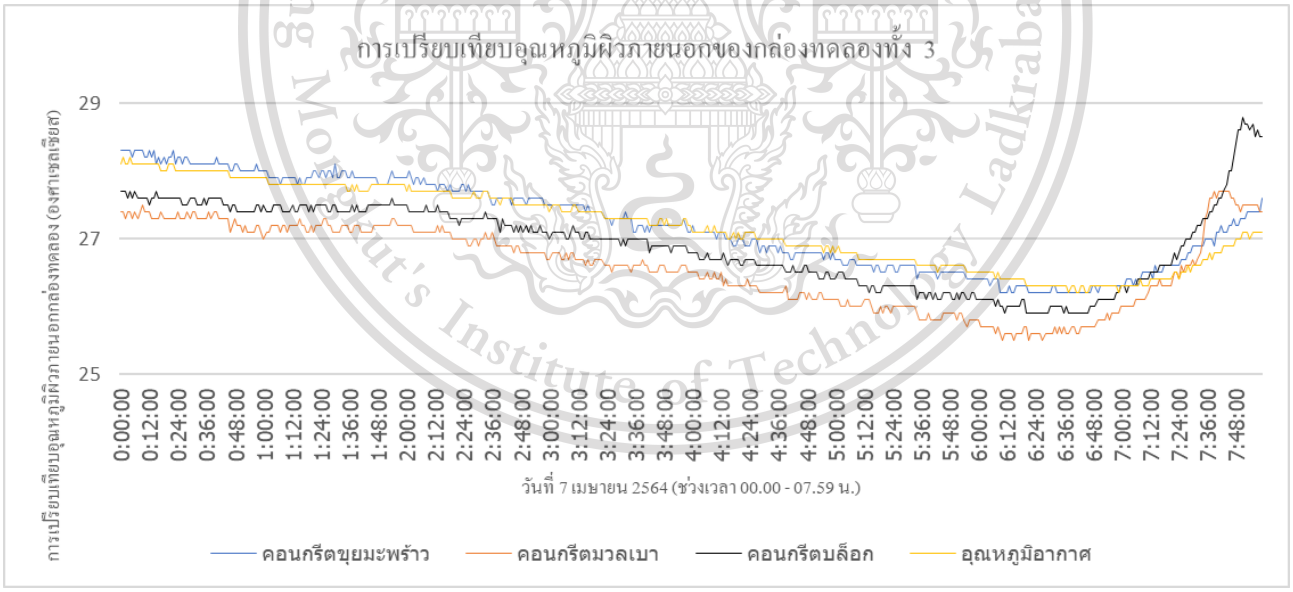


รูปที่ 4.30 อุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 กับอุณหภูมิอากาศ 5/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.31 อุณหภูมิอากาศภายนอกทั้ง 3 กับอุณหภูมิอากาศ 6/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น.



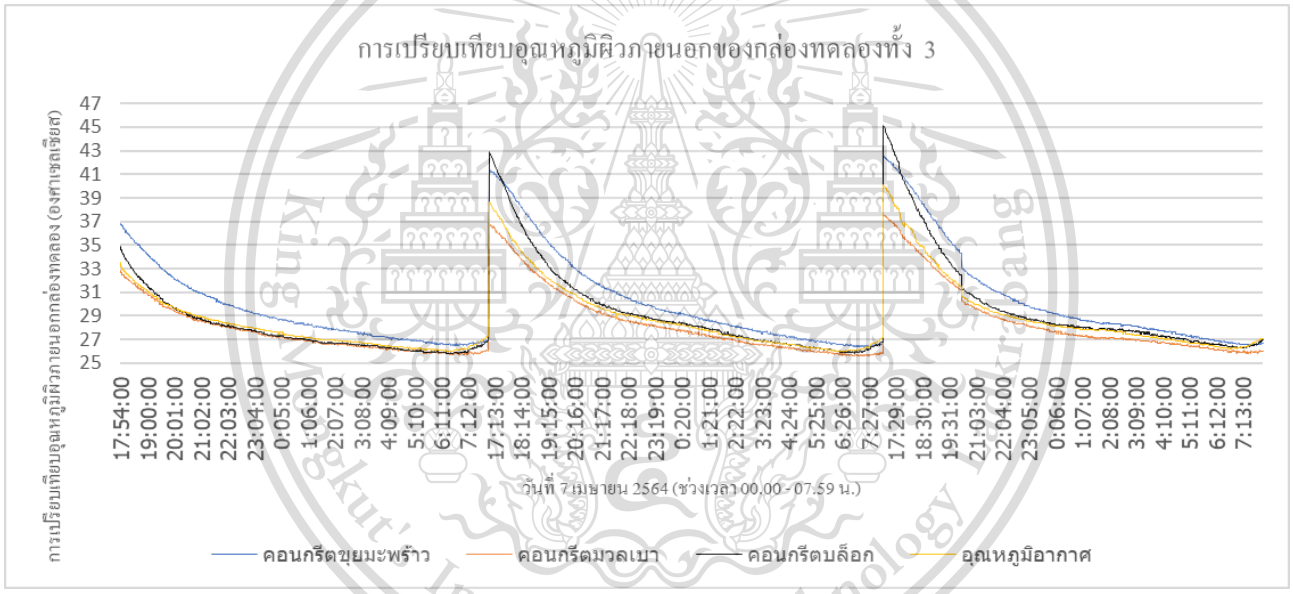
รูปที่ 4.32 อุณหภูมิอากาศภายนอก 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 7/04/64 00.00 – 07.59 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.1.5 การวิเคราะห์ผลอุณหภูมิผิวภายในกล่องทดลอง (ช่วงไม่รับแสง)

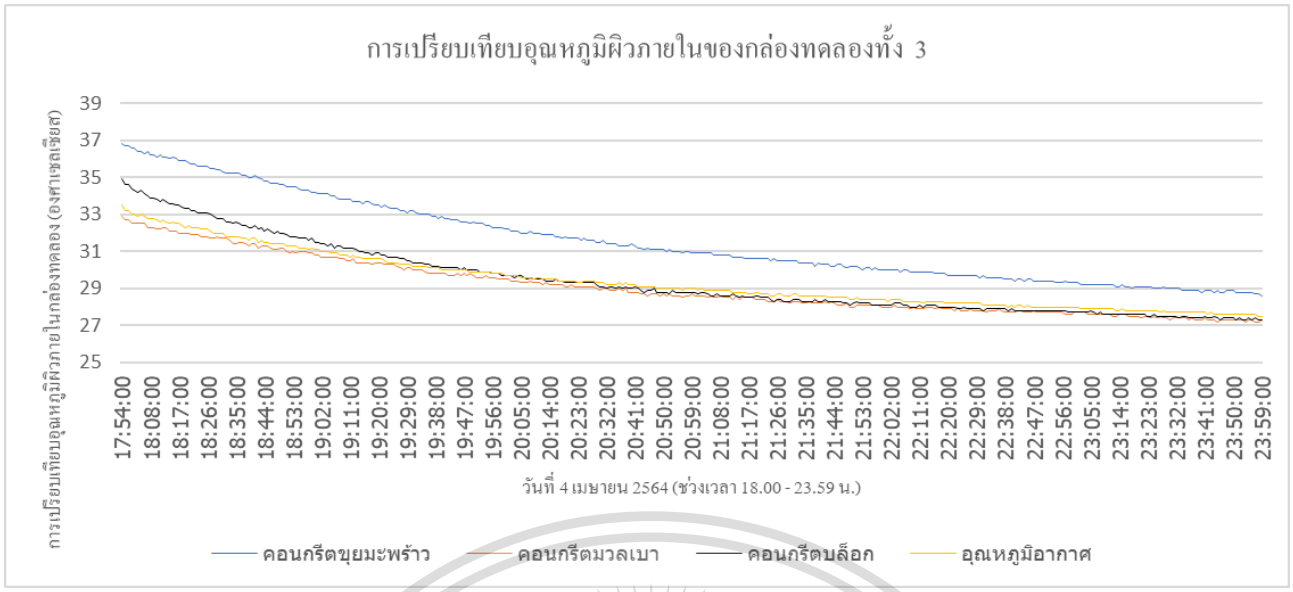
การวัดอุณหภูมิผิวภายในกล่องทดลอง ในตำแหน่งที่ 2 ของกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง ในวันที่ 4 - 7 เมษายน 2564 ช่วงเวลา 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น.ประกอบด้วยกล่องที่ 1 คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว กล่องที่ 2 เป็นกล่อง คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และกล่องที่ 3 เป็นกล่องทดสอบของ คอนกรีตบล็อก

พบว่ากล่องที่ 1 มีอุณหภูมิผิวภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 42.50 กล่องที่ 2 มีอุณหภูมิผิวภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 37.60 และกล่องที่ 3 มีอุณหภูมิผิวภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 45.10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิผิวภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในกล่องที่ 1 อยู่ที่ 30.12 องศาเซลเซียส กล่องที่ 2 อยู่ที่ 28.28 องศาเซลเซียส กล่องที่ 3 อยู่ที่ 29.10 องศาเซลเซียส

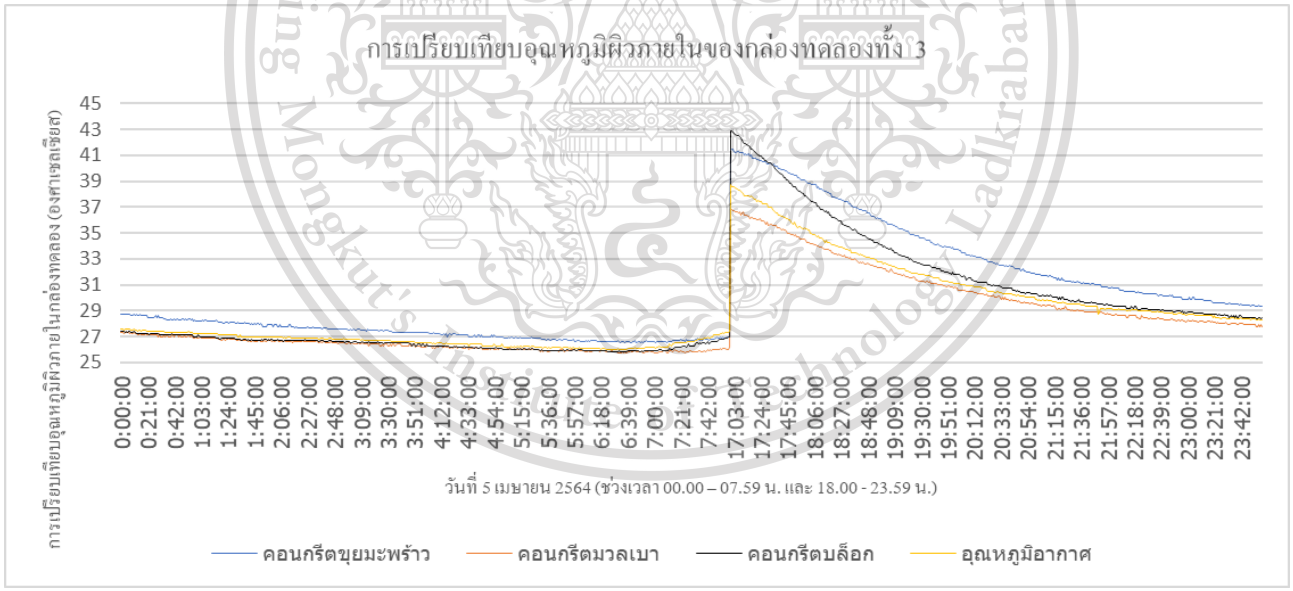


รูปที่ 4.33 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่อง 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น. ของทั้ง 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

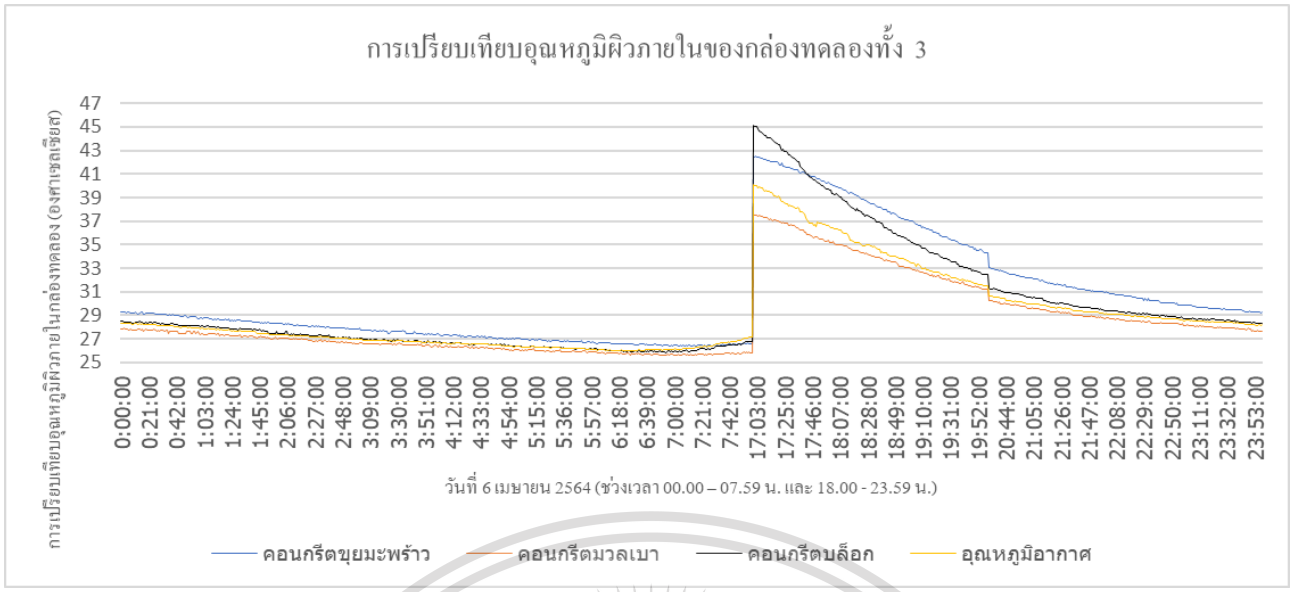


รูปที่ 4.34 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 4/04/64 18.00 – 23.59 น.

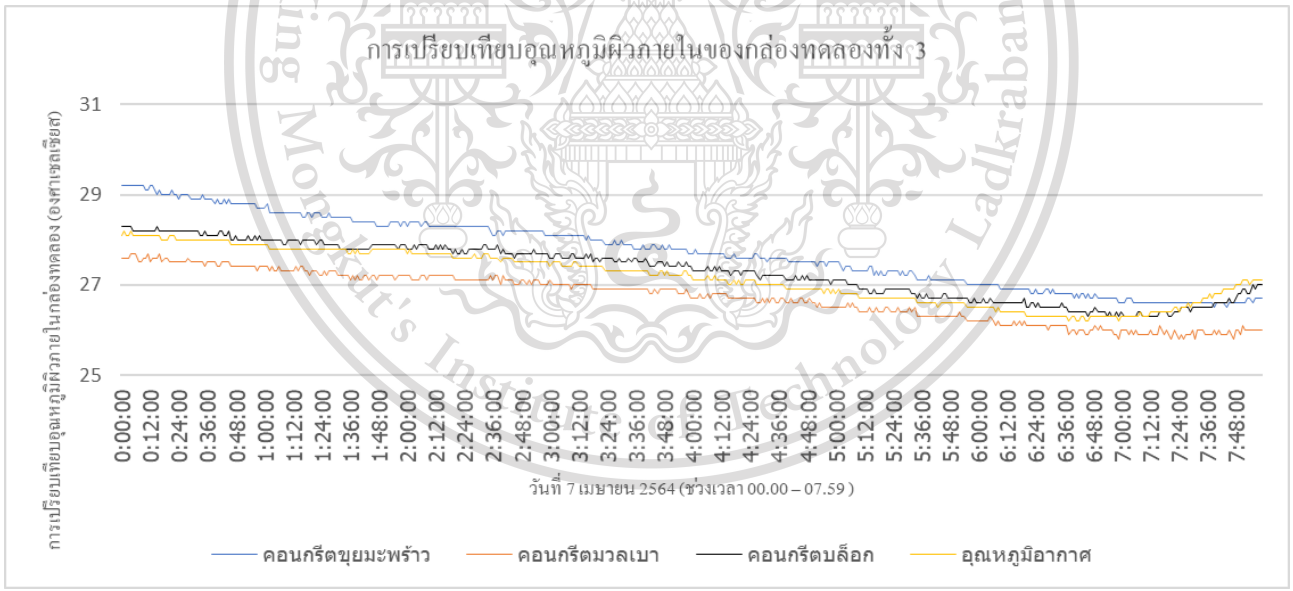


รูปที่ 4.35 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 5/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.36 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 6/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น.



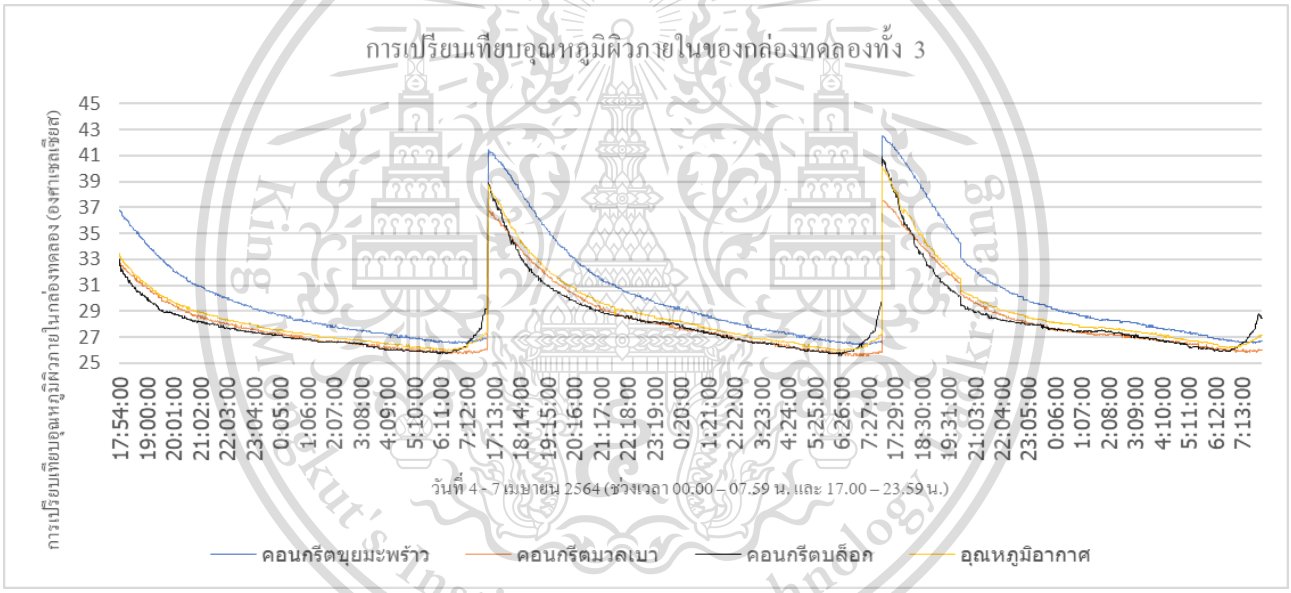
รูปที่ 4.37 อุณหภูมิผิวภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 7/04/64 00.00 – 07.59 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.1.6 การวิเคราะห์ผลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง (ช่วงไม่รับแสง)

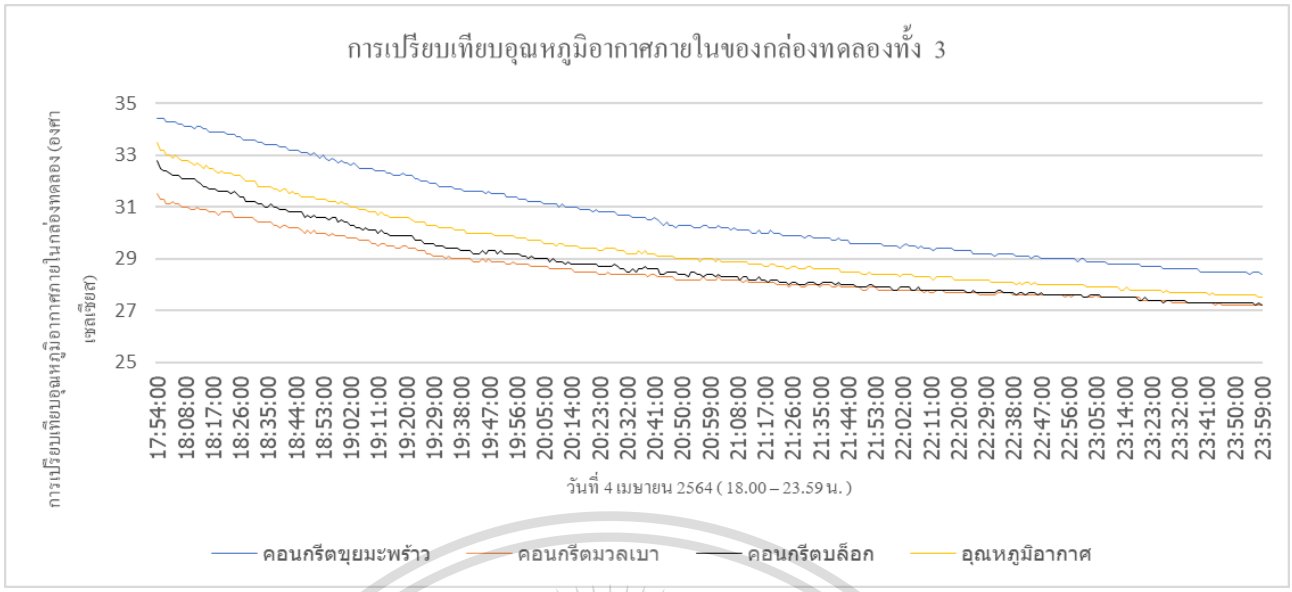
การวัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง ในตำแหน่งที่ 3 ของกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง ในวันที่ 4 - 7 เมษายน 2564 ช่วงเวลา 00.00 – 07.59 น. และ 17.00 – 23.59 น.ประกอบด้วยกล่องที่ 1 คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว กล่องที่ 2 เป็นกล่อง คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และกล่องที่ 3 เป็นกล่องทดสอบของ คอนกรีตบล็อก

พบว่ากล่องที่ 1 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 41.10 กล่องที่ 2 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 36.80 และกล่องที่ 3 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 41.80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 4 วัน ในกล่องที่ 1 อยู่ที่ 29.63 องศาเซลเซียส กล่องที่ 2 อยู่ที่ 28.16 องศาเซลเซียส กล่องที่ 3 อยู่ที่ 28.68 องศาเซลเซียส

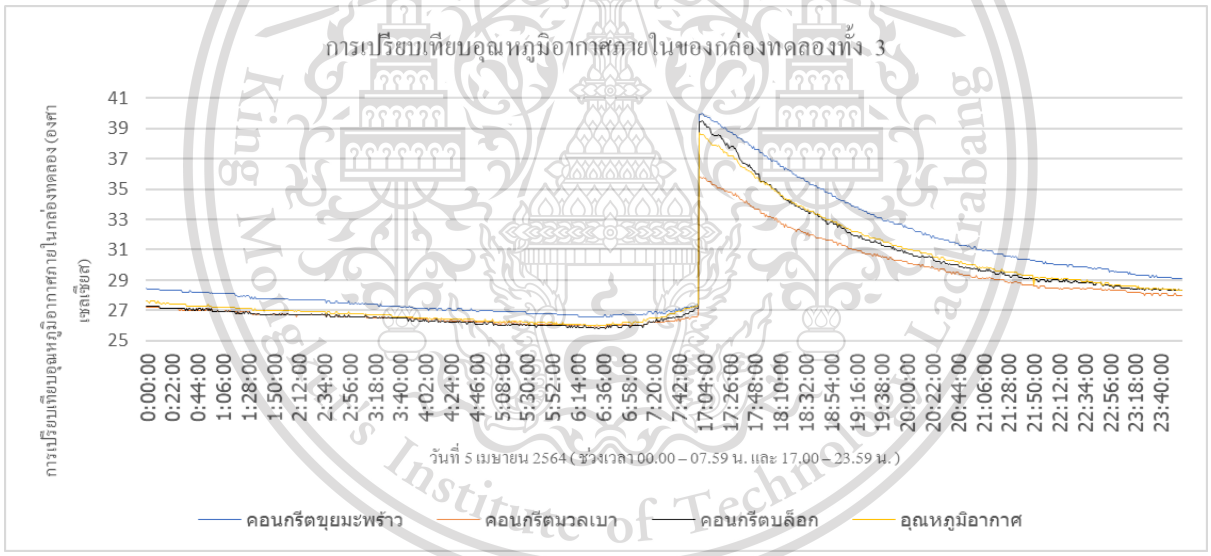


รูปที่ 4.38 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่อง ที่เวลา 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น. ของทั้ง 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

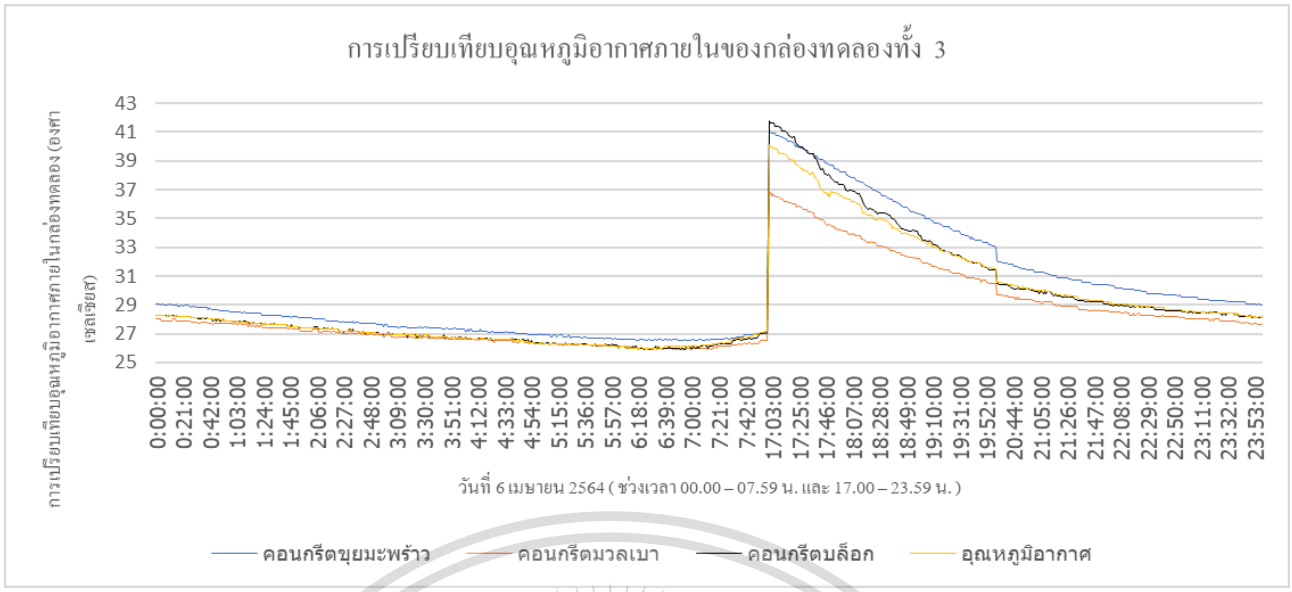


รูปที่ 4.39 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 4/04/64 18.00 – 23.59 น.

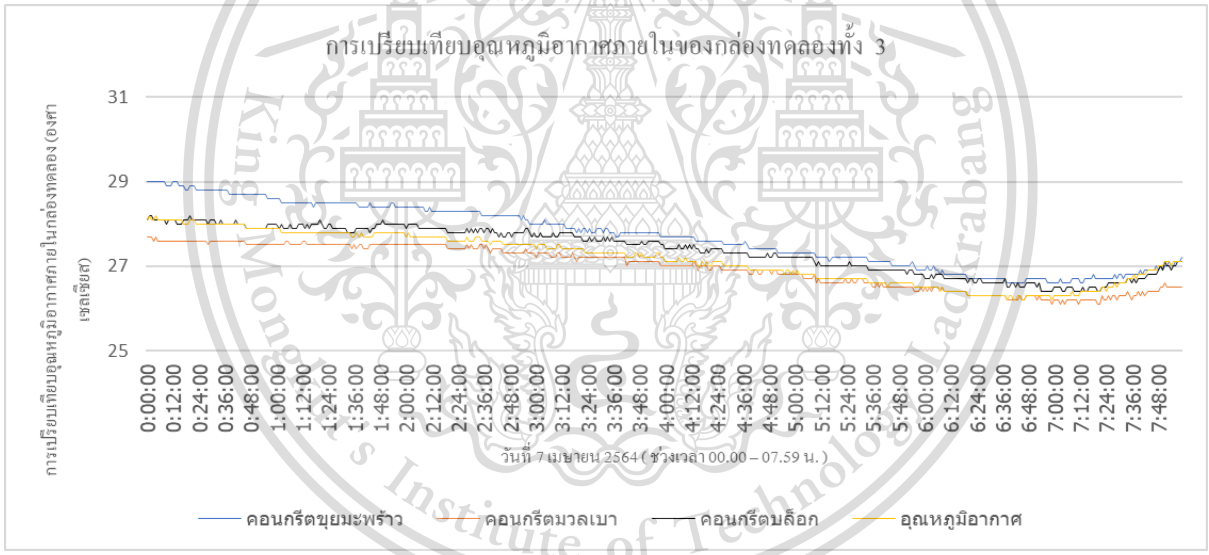


รูปที่ 4.40 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กับอุณหภูมิอากาศ 5/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.41 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กับอุณหภูมิอากาศ 6/04/64 0.00 – 7.59 น.,17.00 – 23.59 น.



รูปที่ 4.42 อุณหภูมิอากาศภายในทั้ง 3 กล่องกับอุณหภูมิอากาศ 7/04/64 00.00 – 07.59 น.

4.5.2 อัตราการหดตัว (Autogenous Shrinkage)

ติดตั้ง Gauge plug 2 ตัวที่ด้านหัวและด้านท้าย ของตัวอย่างเพื่อใช้เป็นจุดในการวัดความยืดหดตัว และใช้พลาสติกห่อหุ้มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ โดยทำการห่อหุ้มพลาสติกไปทั้งหมด 20 รอบ และทำการวัดการหดตัวที่เกิดขึ้นในวันที่ 12 ชั่วโมง 1 วัน 3 วัน 7 วัน 14 วันและ 28 วัน ตามลำดับ โดยทำการทดสอบตั้งแต่วันที่ 12 เมษายน 2564 ถึง วันที่ 10 พฤษภาคม 2564 โดยทำการเทียบกับ มยผ. 1332-50 ที่มีกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 60 เมกะปาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

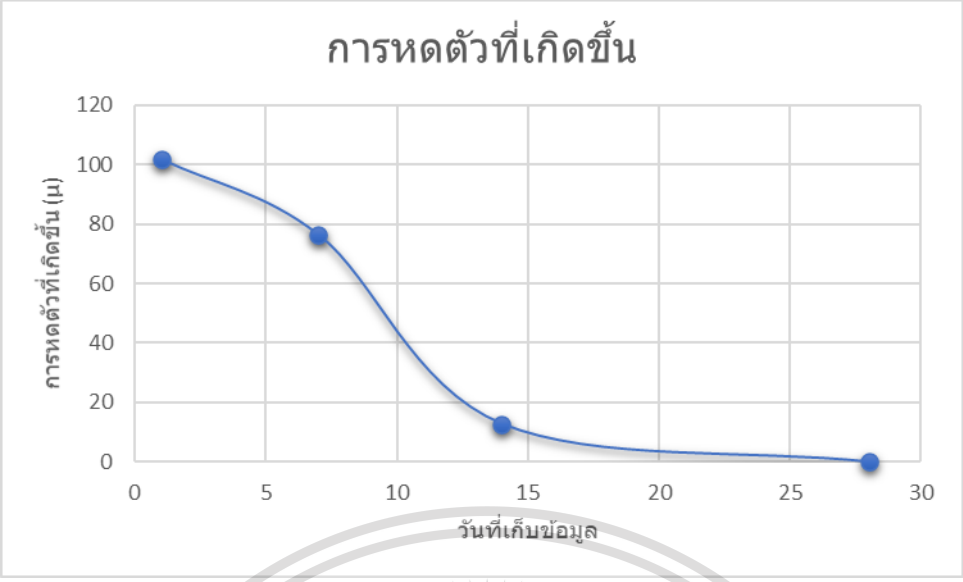
ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาทดสอบ

Time	NO	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง	Gage1 เริ่มต้น	Gage2 เริ่มต้น
hr.		g	cm	cm	cm	in	in
12	1	367	40	160	40	8.5245	0

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบ การหดตัวแบบออโตจีเนียส

วัน	Gauge plug 1	Gauge plug 2	ผลต่าง Gauge plug 1	ผลต่าง Gauge plug 2	ผลรวมของผลต่าง	การหดตัวที่เกิดขึ้น	การหดตัวที่เกิดขึ้น
	in	in	in	in	in	in	μ
0	8.5245	0	0	0	0	-	-
1	8.5235	0.003	0.001	0.003	0.004	0.004	101.6
3	8.5235	0.003	0.001	0.003	0.004	0	0
7	8.5205	0.003	0.004	0.003	0.007	0.003	76.2
14	8.5205	0.0025	0.004	0.0025	0.0065	0.0005	12.7
28	8.5205	0.0025	0.004	0.0025	0.0065	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.43 แสดงการหดตัวแบบออโตจีเนียส

4.5.3 ค่านำความร้อน (Thermal Conductivity)

ทำการวัดและชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส เนื่องจาก Hot Plate ไม่สามารถตั้งค่าได้จึงใช้เป็นค่าสูงสุดที่เครื่องสามารถให้ความร้อนได้ โดยตั้งค่ากำลังเฉลี่ยของเครื่องทดสอบการนำความร้อน เป็น 450 วัตต์/นาที สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ 14.22 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำการเปิด Hot Plate ทิ้งไว้เป็นเวลา 22 นาที จากนั้นเมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วจึงทำการให้ความร้อนแก่คอนกรีตมวลเบา โดยทำการวัดกับเครื่อง Data Logger (ยี่ห้อ TDS) และสายเคเบิล Thermocouple Type - T รวบรวมข้อมูลการวัดอุณหภูมิของ Hot Plate ทุก 1 นาที โดยทำการวัดตั้งแต่เวลา 11.50 น. -12.20 น. รวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 30 นาที เพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วชิ้นตัวอย่าง ได้ผลทดสอบ คือมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34 องสาเซลเซียส และอุณหภูมิเริ่มคงที่เมื่อเวลา 12.19 น. โดยมีอุณหภูมิเป็น 36.1 องศาเซลเซียส มีค่าผลต่างของอุณหภูมิเป็น 263.9 องศาเซลเซียส เมื่อแปลงเป็น เคลวินจะได้ 537.05 เคลวิน

$$\text{จากสูตรการหาค่าการนำความร้อน} = \frac{Q_d}{2A} \times \frac{d}{\Delta T}$$

Q_d = 450 วัตต์/นาที

A = 0.07 m^2

d = 0.075 m

ΔT = 537.05 เคลวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ค่าการนำความร้อน จะได้ = 0.449 วัตต์ต่อเมตร – เคลวิน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง อิฐคอนกรีตบล็อก 7 cm. มีค่า = 0.436 วัตต์ต่อเมตร- เคลวิน และ อิฐคอนกรีตบล็อก 9 cm. มีค่า = 0.456 วัตต์ต่อเมตร – เคลวิน ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใช้งานได้

ตารางที่ 4.9 ผลที่ได้จากการทดสอบค่านำความร้อน

เวลา	อุณหภูมิที่วัดได้	เวลา	อุณหภูมิที่วัดได้
11:50:00	32.6	12:06:00	34.3
11:51:00	33.2	12:07:00	34.3
11:52:00	33	12:08:00	34.4
11:53:00	33.1	12:09:00	34.6
11:54:00	33.2	12:10:00	34.7
11:55:00	33.3	12:11:00	34.7
11:56:00	33.3	12:12:00	34.7
11:57:00	33.4	12:13:00	34.7
11:58:00	33.4	12:14:00	34.8
11:59:00	33.4	12:15:00	34.9
12:00:00	33.4	12:16:00	35
12:01:00	33.4	12:17:00	35.2
12:02:00	33.6	12:18:00	35.4
12:03:00	33.6	12:19:00	36.1
12:04:00	33.8	12:20:00	36.1
12:05:00	34.2	ค่าเฉลี่ย	34.92666667

4.5 การเปรียบเทียบราคาวัสดุ

ตารางที่ 4.10 ราคาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า โดยการใช้ขุยมะพร้าว

คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารโดยการใช้กากมะพร้าวสับ			
วัตถุดิบในการผลิต	ราคาวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม, ลิตร)	ปริมาณต่อก้อน (กิโลกรัม,ลิตร)	ราคาต่อก้อน (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	1.7	1.8	3.06
ทรายละเอียด (Sand)	0.90	2.25	2.036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

น้ำสะอาด (Water)	0.01	1.46	0.0149
สารทำฟอง (Foaming Agent)	10	0.002	0.02
ขุยมะพร้าว	4	0.142	0.568
ราคา/ก้อน			5.70

ตารางที่ 4.11 ราคาคอนกรีตมวลเบาในท้องตลาด

รายการวัสดุคอนกรีตมวลเบาในท้องตลาด	ราคา/ก้อน
อิฐมวลเบา ทีพีไอ 7x60x20 cm.	19.30
อิฐมวลเบา คิวคอน 7.5x60x20 cm.	22.00
อิฐมวลเบา สมาร์ทบล็อค 7x60x20 cm.	22.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

 อิฐมวลเบา คิวคอน 7.5x60x20 cm.	19.00

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว ที่สามารถนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ มาทำให้เกิดประโยชน์อีกรูปแบบหนึ่ง และส่งผลดีต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมได้ในอนาคต โดยทำการศึกษาในด้านคุณสมบัติความต้านแรงอัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความสามารถในการลดความร้อนตามมาตรฐานการทดสอบคอนกรีตมวลเบา มอก. 2601 - 2556 มี ผลสรุปของงานวิจัยดังนี้

5.1 กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ จากขุยมะพร้าว

การผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์รูปทรงจริงขนาด 20x60x7.5 ซม.โดยใช้แม่พิมพ์ไม้ขึ้นรูป พบว่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว สามารถผลิตขึ้นรูปได้จริงตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601 – 2556 โดยมีลักษณะทางกายภาพตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ คือมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 มม.

5.2. คุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว

5.2.1 น้ำหนักและความหนาแน่น

พบว่าน้ำหนักและความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบามีค่าลดลง เมื่อใส่ขุยมะพร้าว แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เนื่องจากอนุภาคของขุยมะพร้าวที่ผสมแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 มีความหนาแน่นน้อยกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เมื่อนำไปผสมสามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่าง ของทรายละเอียดได้จึงเกิดความเข้ากันของเนื้อที่ถูกผสม เมื่อนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ส่งผลให้น้ำหนักและความหนาแน่นลดลง โดยก้อนคอนกรีตมวลเบาจาก ขุยมะพร้าว 1 ก้อน มีค่าความหนาแน่นน้อยที่ สุดที่ 1010 กก./ลบ.ม. และ มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดที่ 1144 กก./ลบ.ม. ซึ่งคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าวที่ผลิตได้ มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ย อยู่ที่ 1086 กก./ลบ.ม. และมีน้ำหนักเฉลี่ย 11.18 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2.2 ความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อนำขุยมะพร้าว มาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของขุยมะพร้าวคือ 20 % ให้ความต้านแรงอัดสูงสุดที่ผ่านมาตรฐาน เฉลี่ยที่ 36.02 กก./ตร.ซม. ซึ่งผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2601 – 2556 สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างและประกอบอาคารได้

5.2.3 อัตราการดูดซึมน้ำ

อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของขุยมะพร้าวที่ผสมเพิ่มเข้าไป เนื่องจากอนุภาคของขุยมะพร้าวที่ทำการผสมเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่เกิดจากฟองอากาศ ส่งผลให้มีอัตราการดูดซึมเพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือใช้ขุยมะพร้าว 20 % มีอัตราดูดซึมน้ำเฉลี่ยที่ 22.098%

5.2.4 อัตราการหดตัว

อัตราการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป โดยค่าการหดตัวแบบออโตจีเนียส ที่เวลา 1 วัน, 3 วัน, และ 7 วัน เท่ากับ 101.6, 76.2, และ 12.7 ไมครอน ซึ่งผ่านตามมาตรฐาน มยผ. 1332-50

5.3 คุณสมบัติด้านการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว

5.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว ความหนาแน่นที่ 1,198 กก./ลบ.ม. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ 0.449 W/m.K ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างคอนกรีตบล็อก 7 cm. ที่มีค่า 0.436 W/m.K และคอนกรีตบล็อก 9 cm. ที่มีค่า 0.456 W/m.K ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใช้งานได้

5.3.2 ความสามารถในการลดความร้อน

การทดสอบความสามารถในการลดความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว เปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ในภาคอุตสาหกรรมที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และคอนกรีตบล็อก ทำการทดสอบโดยกล่องทดลองสี่เหลี่ยมติดตั้ง Data Logger (ยี่ห้อ TDS) และสายเคเบิล Thermocouple Type – T ทั้ง 3 วัน ในวันที่ 4-6 มีนาคม 2564 ช่วงเวลา 00.00 - 24.00 น. พบว่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีอุณหภูมิบริเวณผิวภายนอกสูงสุดเฉลี่ยที่ 41.5 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด 2.65 องศาเซลเซียส แต่มีอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อก 4.29 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิบริเวณผิวภายในเฉลี่ยพบว่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่ 40.06 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด 3.04 องศาเซลเซียส แต่มีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตบล็อก 2.56 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่ 41.36 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด 4.36 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตบล็อก 5.7 องศาเซลเซียส ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว มีความสามารถในการลดความร้อนจากผิวผนังภายนอก สู่อากาศภายในได้ดี และมีความสามารถในการคายความร้อนในเวลากลางคืนได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อก แต่ยังไม่สามารถลดได้เท่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่ขายในท้องตลาด เนื่องจากคอนกรีตมวลเบา มีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่า จึงยิ่งสามารถลดอุณหภูมิได้มากขึ้น

5.4 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าว ขนาด 20x60x7.5 ซม. ความหนาแน่นเฉลี่ย 1,198 กก./ลบ.ม. มีน้ำหนักเฉลี่ยก้อนละ 11.18 กิโลกรัม ความต้านแรงอัดเฉลี่ยที่ 36.02 กก./ตร.ซม. อัตราดูดซึมน้ำ เฉลี่ยที่ 22.098 % ผ่านมาตรฐาน มอก.1505-2541 ชั้นคุณภาพ 2 มีอัตราการหดตัว ซึ่งผ่านตามมาตรฐาน มยผ. 1332-50 และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยที่ 0.449 W/m.K ความสามารถในการลดความร้อน แสดงให้เห็นว่า คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากขุยมะพร้าวสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าคอนกรีตบล็อก แต่ยังน้อยกว่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ที่ขายในท้องตลาด

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเพิ่มจำนวนครั้งการทดสอบการในแต่ละอัตราส่วนให้มากขึ้น เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนและได้ผลการทดสอบที่แม่นยำมากขึ้น

2. ทำการเพิ่มอัตราส่วนของการใช้ขุยมะพร้าวและเส้นใยมะพร้าวให้มีจำนวนมากขึ้น เพื่อนำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบว่าอะไรดีกว่ากัน

3. ควรนำผลการดสอบนี้ไปวิเคราะห์กับ คอนกรีตมวลเบา CLC ที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้รู้ว่าคอนกรีตที่ได้ทำการศึกษามาอยู่ในช่วงที่ดีกว่าไหม

4. เมื่อนำมาใช้งานจริงในการก่อสร้าง ควรเพิ่มเปอร์เซ็นต์ขุยมะพร้าวเผื่อไว้ เพื่อป้องกันการเกิดความคลาดเคลื่อน (Error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

[1] *Effect of coconut coir pith as partial substitute for river sand in eco-friendly concrete*, Department of Civil Engineering, K. Ramakrishnan College of Technology, Trichy 621112, Tamilnadu, India. (21 May 2019) , pages 3.

[2] Dissakul Ungtrakul, *The development of lightweight concrete in cellular system made from lime mud waste of paper industry* (Master's thesis Department of Architecture Department of Architecture Graduate school Silpakorn University, 2014) pages 72.

[3] Gisela Azevedo Menezes Brasileiro, Jhonatas Augusto Rocha Vieira, Ledjane Silva Barreto, *Use of coir pith particles in composites with Portland cement* (Department of Civil Engineering, Government College of Technology, Coimbatore 641013, Tamilnadu, India, 21 May 2019) pages 3.

[4] Roslyn Jarawae, *The development of insulation from local plants* (Physics and General Science Department of Science Faculty of Science, Technology and Agriculture Yala Rajabhat University, 2016), page 34.

[5] Prajak Khembubppha. (2005). A Study of General Properties of Concrete Using Recycled Concrete Coarse Aggregate Having Different Compressive Strengths. (Master’s thesis, Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen).

[6] Terdsak Saisut. (2012). *Recycled Coarse Aggregate by Residual Concrete Piles*. (Master’s thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut"s University of Technology Thonburi).

[7] Nattawoot Tengsiritum. (2015). *An Optimization Model for a Prediction on mix proportion of Cellular Lightweight Concrete* (Master’s thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang).

[8] Zaler Mundher Yaseen. (2018). *Predicting Compressive Strength of Lightweight Foamed Concrete Using Extreme Learning Machine Model*. (Science direct research paper, Faculty of Engineering and Built Environment, University Kebangsaan Malaysia).

[9] Tuan Nguyen. (2018). *3D Meso-Scale Modelling of Foamed Concrete Based on X-Ray Computed Tomography*. (Science direct research paper, Department of Infrastructure Engineering, The University of Melbourne, Melbourne, Australia).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[10]Kai Tai Wan. (2018). *Development of Low Drying Shrinkage Foamed Concrete and Hygro-Mechanical Finite Element Model for Prefabricated Building Façade Applications*. (Department of Civil and Environmental Engineering, Brunel University London, UK).

[11]Prasert Damrongchai. (1999). *Construction Materials. (1th ed.)*. Khonkaen: Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Khonkaen University.

[12]Winit Chowichian, *Concrete technology. (2001). (9th ed.)*. Khonkaen: Bangkok. Sampanpanit.

[13]Sumate Santadwattana. (2011). *Prediction on the Properties of Cellular Light Weight Concrete from Concrete Density*. (Bachelor project, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang).

[14]TIS. 409-2525. *standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. Retrieved June 6, 2018, from http://research.rid.go.th/vijais/moa/

[15]TIS. 2601-2556. *Industrial product standards for Cellular Lightweight Concrete*. Retrieved June 6, 2018, from http://research.rid.go.th/vijais/moa/

[16]Jaruphan Phaiphuphim. (2014). *Stress-Strain Curve of Cellular Lightweight Concrete.* (Master's thesis, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

สัญลักษณ์

W/C ratio	=	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
S/C ratio	=	อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์
ρ	=	ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง
m	=	มวลของชิ้นทดสอบ
v	=	ปริมาตรของชิ้นทดสอบ
WA	=	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ
MW	=	มวลของวัสดุที่เปียก
MD	=	มวลของวัสดุที่แห้ง
Q_d	=	กำลังเฉลี่ยของเครื่องทดสอบการนำความร้อน
A	=	พื้นที่ของชิ้นงานทดสอบ
d	=	ความหนาของตัวอย่างทดสอบ
ΔT	=	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นให้ความร้อนกับตัวรับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

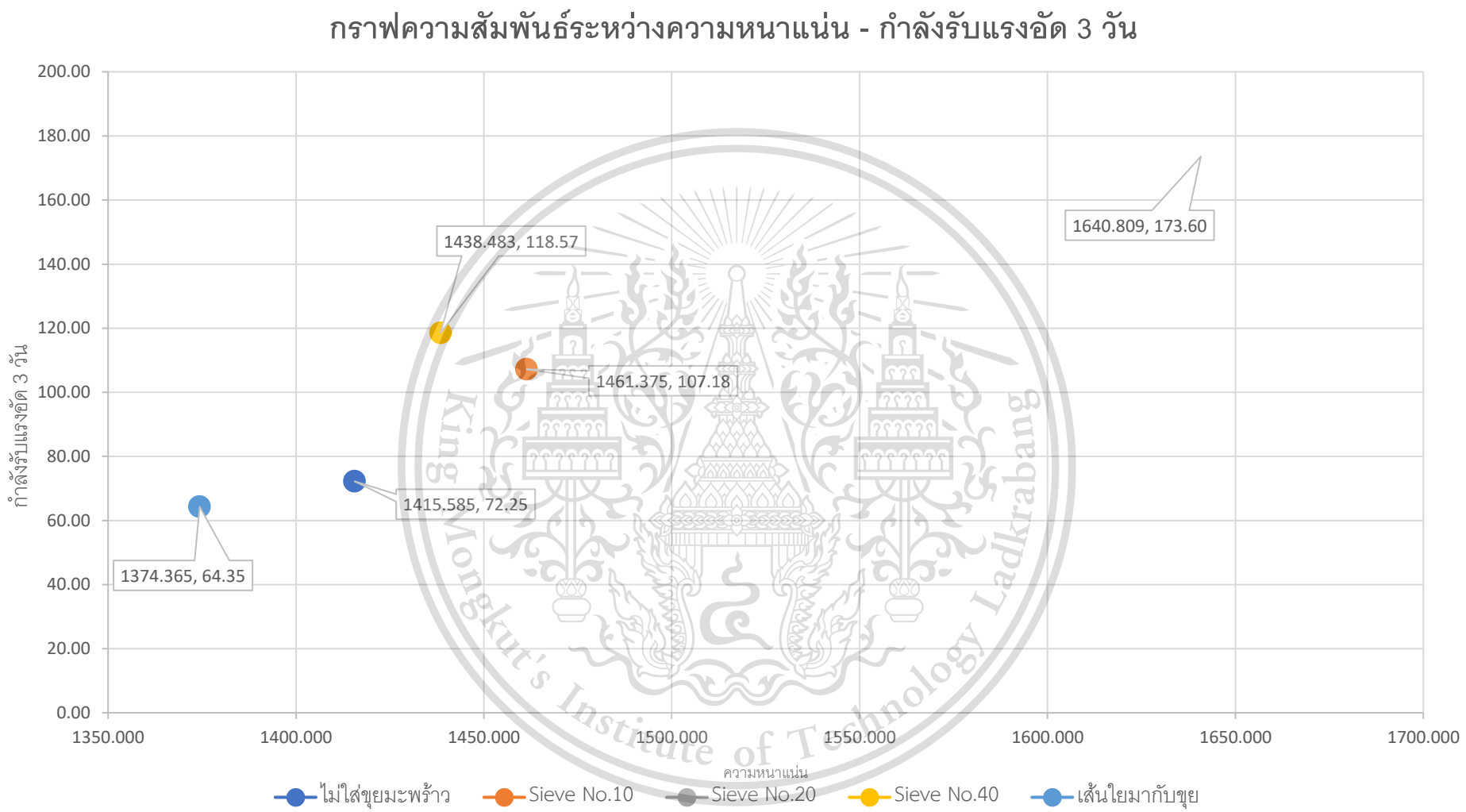
ข.1.1 การทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.1.1 การทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

Sieve No.	ก้อนที่	น้ำหนัก	ความหนาแน่น	ความหนาแน่น	กว้าง			Average	สูง			Average	กำลัง		หน่วยแรง	Average
		g	Kg/m3	Kg/m3	mm			m	mm			m	kN	kg	ksc	ksc
ไม่ใส่ขุย	1	177.13	1416.08	1415.585	50.00	50.00	50.00	0.050	50.10	50.00	50.00	0.050	22.28	2271.15	90.85	72.25
	2	178.83	1423.95		50.20	50.10	50.00	0.050	50.00	50.00	50.10	0.050	18.86	1922.53	76.59	
	3	179.14	1406.72		50.80	50.00	50.60	0.050	50.00	50.00	50.00	0.050	12.32	1255.86	49.31	
10	1	188.04	1464.88	1461.375	50.40	50.60	50.40	0.050	50.40	50.40	50.40	0.050	31.15	3175.33	124.68	107.18
	2	192.04	1525.12		50.00	50.20	50.10	0.050	50.20	50.10	50.20	0.050	26.84	2735.98	109.00	
	3	177.19	1394.13		50.30	50.20	50.30	0.050	50.40	50.20	50.30	0.050	21.78	2220.18	87.87	
20	1	206.43	1639.36	1640.809	50.40	50.00	50.20	0.050	49.90	50.00	50.00	0.050	47.86	4878.70	193.60	173.60
	2	204.52	1625.29		50.10	50.10	50.20	0.050	50.00	50.10	50.10	0.050	49.34	5029.56	200.11	
	3	206.97	1657.77		50.00	50.00	50.00	0.050	50.00	50.10	49.72	0.050	31.17	3177.37	127.09	
40	1	179.57	1431.56	1438.483	50.10	50.10	50.12	0.050	49.82	50.12	49.94	0.050	30.72	3131.50	124.73	118.57
	2	179.08	1436.85		50.00	50.10	50.00	0.050	49.82	49.82	49.72	0.050	31.29	3189.60	127.41	
	3	181.07	1447.04		50.00	50.00	50.00	0.050	49.90	50.00	50.26	0.050	25.40	2589.19	103.57	
ใยมะพร้าว	1	170.63	1358.35	1374.365	49.92	50.10	50.00	0.050	50.10	50.20	50.40	0.050	13.33	1358.82	54.34	64.35
	2	170.31	1345.35		50.40	50.00	50.10	0.050	50.00	50.30	50.60	0.050	13.76	1402.65	55.73	
	3	178.02	1419.39		50.20	50.10	50.00	0.050	50.00	49.90	50.00	0.050	20.43	2082.57	82.97	

การทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม ในกรณี Fixed ค่า W/C , S/C และ % Foam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

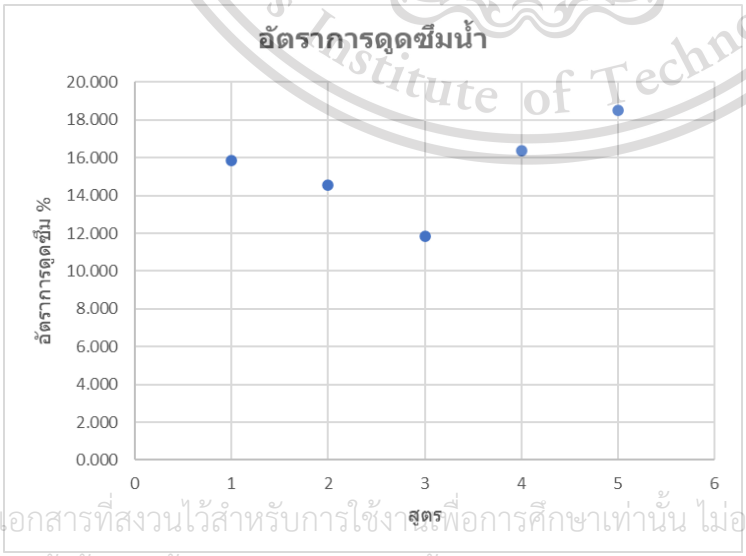


รูปที่ ข.1.1 กราฟระหว่างความหนาแน่น-กำลังรับแรงอัด 3 วัน ที่หาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ข.1.2 ตารางอัตราการดูดซึมน้ำจากการทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

Sieve No.	ก้อนที่	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักก่อนอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ	อัตราการดูดซึมน้ำ
		g	g	%	%
ไม่ใส่ขุย	1	177.13	205.00	15.74	15.867
	2	178.83	207.00	15.75	
	3	179.14	208.00	16.11	
10	1	188.04	215.00	14.34	14.533
	2	192.04	217.00	13.00	
	3	177.19	206.00	16.26	
20	1	206.43	231.00	11.91	11.828
	2	204.52	229.00	11.97	
	3	206.97	231.00	11.61	
40	1	179.57	210.00	16.95	16.360
	2	179.08	209.00	16.71	
	3	181.07	209.00	15.42	
ใยมะพร้าว	1	170.63	203.00	18.97	18.515
	2	170.31	202.00	18.61	
	3	178.02	210.00	17.97	



สูตร	หมายเหตุ
1	ไม่ใส่
2	10.000
3	20.000
4	40.000
5	เส้นใยมากับขุย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ ข.1.2 อัตราการดูดซึมจากการทดสอบหาขนาดขุยมะพร้าวที่เหมาะสม

ข.1.2 การทดสอบหาอัตราส่วนผสม

ตารางที่ ข.1.3 การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20

สูตร	ก้อนที่	น้ำหนัก	ความหนาแน่น	ความหนาแน่น	กว้าง			Average	สูง			Average	กำลัง		หน่วยแรง	Average
		g	Kg/m3	Kg/m3	mm			m	mm			m	kN	kg	ksc	ksc
1	1	171	1339.23	1341.88	50.2	50.6	50.3	0.050	50.1	50.5	50.4	0.050	20.58	2097.86	82.70	107.81
	2	170	1365.48		50.2	49	50.2	0.050	50.2	50.2	50.2	0.050	27.99	2853.21	115.05	
	3	166	1320.94		50	50.4	49.8	0.050	50.2	50	50.2	0.050	30.91	3150.87	125.70	
2	1	190	1515.96	1487.98	50.1	50.1	50.1	0.050	50.6	49.7	49.5	0.050	39.2	3995.92	159.20	157.06
	2	186	1491.00		50	50.1	50.1	0.050	50	49.4	49.9	0.050	37.14	3785.93	151.03	
	3	182	1456.99		50.2	50	50.1	0.050	49.8	50	49.5	0.050	39.63	4039.76	160.95	
3	1	146	1170.35	1147.65	49.9	50.2	50	0.050	49.6	50	49.9	0.050	12.19	1242.61	49.64	43.56
	2	139	1116.47		49.9	50.2	50	0.050	50	49.7	49.5	0.050	8.76	892.97	35.67	
	3	145	1156.14		50.2	49.9	50.2	0.050	50	50	49.9	0.050	11.17	1138.63	45.36	
4	1	174	1387.38	1373.75	50	50	50	0.050	50.2	50	50.3	0.050	30.37	3095.82	123.83	113.92
	2	174	1382.77		50.2	50.2	50.1	0.050	50	50	50	0.050	29.57	3014.27	119.77	
	3	169	1351.10		50	50	50	0.050	50	50.1	50	0.050	24.07	2453.62	98.14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

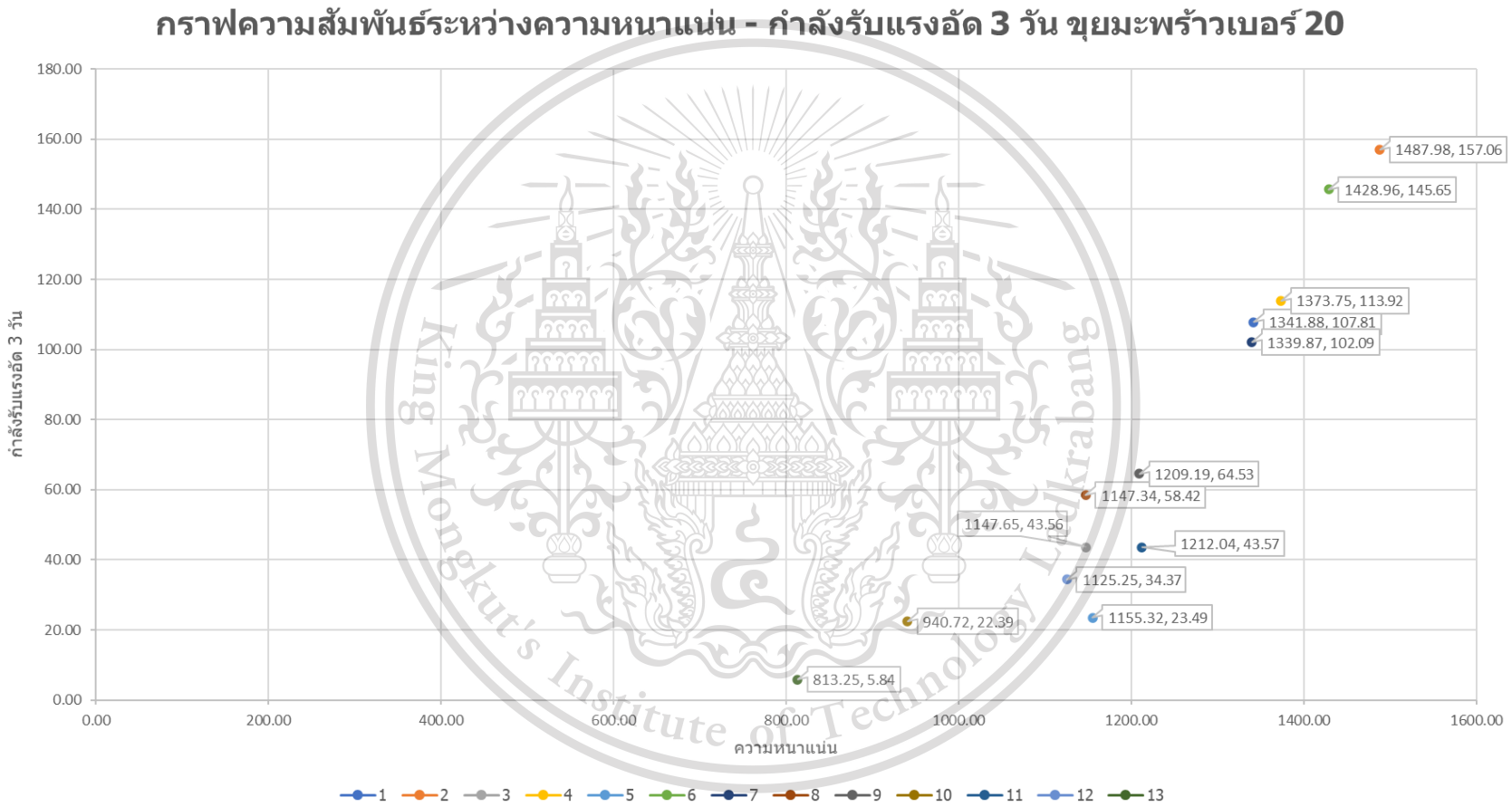
5	1	141	1136.33	1155.32	50	50	50	0.050	49.6	49.4	49.9	0.050	5.26	536.19	21.45	23.49
	2	149	1184.11		50.2	50.2	50.3	0.050	50	50	49.6	0.050	6.47	659.53	26.14	
	3	143	1145.53		50.1	50	50	0.050	49.8	49.8	50	0.050	5.62	572.88	22.88	
6	1	178	1417.44	1428.96	49.6	50.6	50.6	0.050	49.8	49.7	49.6	0.050	35.97	3666.67	145.11	145.65
	2	180	1443.08		50.6	49.6	50.7	0.050	49.2	49.2	49.5	0.049	40.15	4092.76	161.76	
	3	179	1426.36		50.6	49.6	50.6	0.050	49.7	49.5	49.8	0.050	32.24	3286.44	130.07	
7	1	168	1345.80	1339.87	50	50.1	50	0.050	49.6	50.2	49.8	0.050	26.16	2666.67	106.52	102.09
	2	166	1336.02		50	50	50	0.050	50.1	50	49	0.050	23.18	2362.90	94.52	
	3	167	1337.78		50	50	50	0.050	50	50	49.8	0.050	25.81	2630.99	105.24	
8	1	146	1171.12	1147.34	49.8	50.3	49.9	0.050	50	49.6	50	0.050	15.17	1546.38	61.86	58.42
	2	152	1082.16		49.7	59.4	49.8	0.053	50	50	50.2	0.050	14.28	1455.66	51.89	
	3	148	1188.76		49.8	50.2	50	0.050	50	49.8	49.6	0.050	15.09	1538.23	61.53	
9	1	155	1251.68	1209.19	50	50	50	0.050	49.5	49.4	49.7	0.050	18.66	1902.14	76.09	64.53
	2	147	1183.10		50	50	50	0.050	49.7	49.7	49.7	0.050	13.41	1366.97	54.68	
	3	148	1192.80		50.1	50	50.2	0.050	49.6	49.5	49.2	0.049	15.47	1576.96	62.83	
10	1	122	965.03	940.72	50.5	49.4	50.5	0.050	50.2	50.5	50.2	0.050	5.69	580.02	23.08	22.39
	2	124	999.98		50	49.4	50	0.050	50	50	50	0.050	7.84	799.18	32.22	
	3	107	857.14		50	49.5	50.4	0.050	50	50	50	0.050	2.91	296.64	11.88	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

11	1	150	1200.83	1212.04	50.2	50	50.2	0.050	49.7	49.8	49.6	0.050	11	1121.30	44.61	43.57
	2	152	1220.08		50	50.2	50	0.050	49.6	49.7	49.8	0.050	11.08	1129.46	45.06	
	3	152	1215.19		50	50.1	50	0.050	49.8	49.6	50.5	0.050	10.08	1027.52	41.05	
12	1	138	1118.97	1125.25	50	50.4	49.8	0.050	49.2	49.2	49.2	0.049	7.58	772.68	30.82	34.37
	2	140	1123.03		50	50.5	49.9	0.050	49.4	49.4	50	0.050	8.46	862.39	34.31	
	3	142	1133.74		50.1	50.2	50.1	0.050	50	49.6	49.9	0.050	9.36	954.13	37.96	
13	1	97	790.76	813.25	50	50	50	0.050	49	49	49.2	0.049	1.37	139.65	5.59	5.84
	2	107	865.84		50.4	49.6	50.2	0.050	49.5	49	49.4	0.049	1.67	170.23	6.79	
	3	96	783.14		50	50	50	0.050	48.8	49.1	49.2	0.049	1.26	128.44	5.14	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ ข.1.3 กราฟระหว่างความหนาแน่น – กำลังรับแรงอัด 3 วัน ของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20

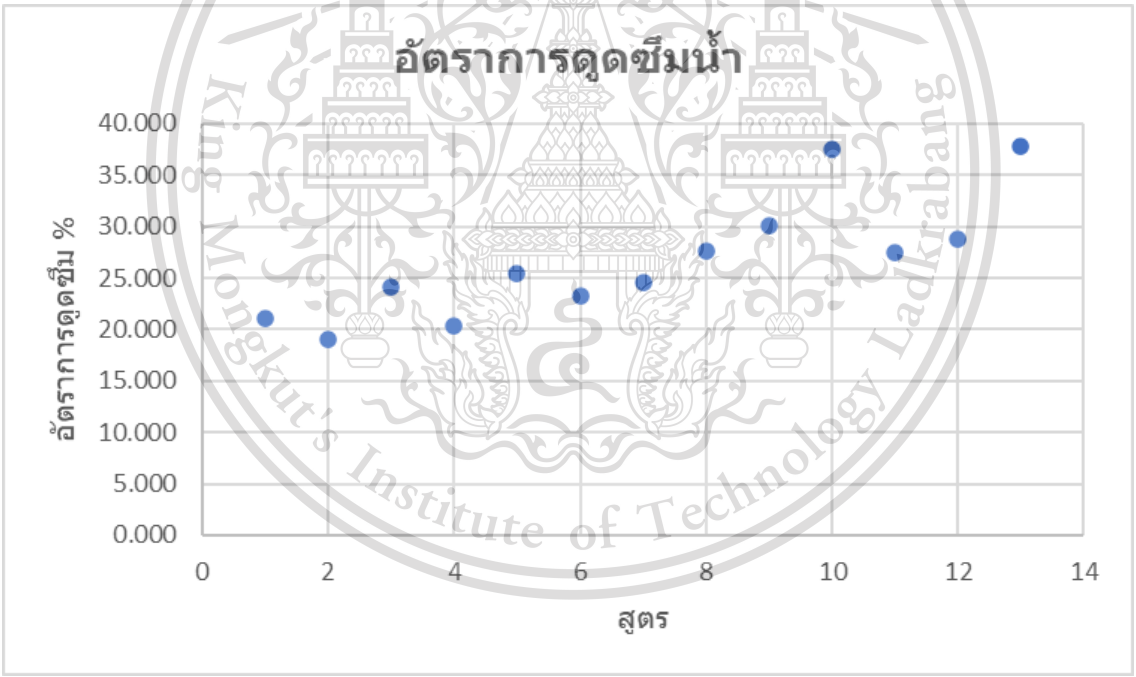
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ข.1.4 อัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20

สูตร	ก้อนที่	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักก่อนอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ	อัตราการดูดซึมน้ำ
		g	g	%	%
1	1	171	208.00	21.64	21.108
	2	170	204.00	20.00	
	3	166	202.00	21.69	
2	1	190	223.00	17.37	19.029
	2	186	219.00	17.74	
	3	182	222.00	21.98	
3	1	146	184.00	26.03	24.186
	2	139	173.00	24.46	
	3	145	177.00	22.07	
4	1	174	210.00	20.69	20.313
	2	174	208.00	19.54	
	3	169	204.00	20.71	
5	1	141	176.00	24.82	25.419
	2	149	185.00	24.16	
	3	143	182.00	27.27	
6	1	178	221.00	24.16	23.282
	2	180	219.00	21.67	
	3	179	222.00	24.02	
7	1	168	207.00	23.21	24.553
	2	166	206.00	24.10	
	3	167	211.00	26.35	
8	1	146	188.00	28.77	27.601
	2	152	191.00	25.66	
	3	148	190.00	28.38	
9	1	155	199.00	28.39	30.027
	2	147	192.00	30.61	
	3	148	194.00	31.08	
10	1	122	166.00	36.07	37.557
	2	124	168.00	35.48	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

	3	107	151.00	41.12	
11	1	150	193.00	28.67	27.538
	2	152	194.00	27.63	
	3	152	192.00	26.32	
12	1	138	177.00	28.26	28.807
	2	140	181.00	29.29	
	3	142	183.00	28.87	
13	1	97	134.00	38.14	37.783
	2	107	144.00	34.58	
	3	96	135.00	40.63	



รูปที่ ข.1.4 กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20

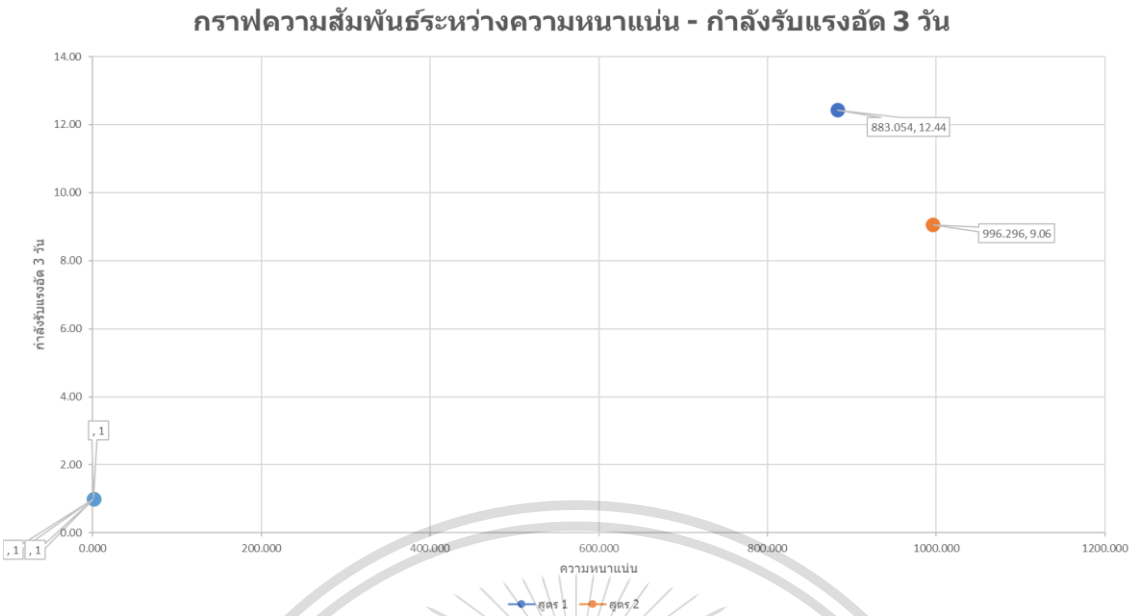
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1.5 การทดสอบของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 แก้ไขสูตรที่ 1 และ 2

สูตร	NO.	น้ำหนัก	ความหนาแน่น	ความหนาแน่น	กว้าง			Average	สูง			Average	กำลัง		หน่วยแรง	Average
		g	Kg/m3	Kg/m3	mm			m	mm			m	kN	kg	ksc	ksc
1	1	110.00	891.98	883.054	50.2	50	50.2	0.050	49.1	49	49.1	0.049	3.27	333.33	13.26	12.44
	2	105.00	837.77		50	50.2	50.2	0.050	49.8	49.8	50	0.050	2.51	255.86	10.18	
	3	114.00	919.41		50	50.2	50.2	0.050	49.6	49.2	49.2	0.049	3.42	348.62	13.87	
2	1	126.00	992.04	996.296	50.2	50.4	50.2	0.050	50	50.8	50	0.050	2.22	226.30	8.96	9.06
	2	126.00	1013.50		50.2	50.2	50.2	0.050	50	48.6	49.4	0.049	2.18	222.22	8.82	
	3	123.00	983.35		50	50.1	50.1	0.050	50.4	50.1	49.2	0.050	2.31	235.47	9.39	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

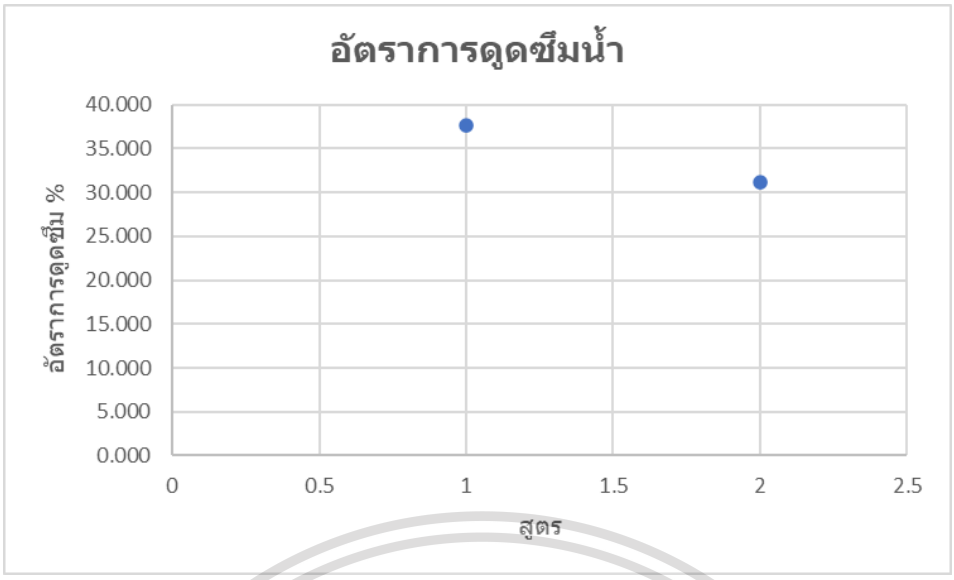


รูปที่ ข.1. 5 กราฟระหว่างความหนาแน่นของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 แก้ไขสูตรที่ 1 และ 2

ตารางที่ ข.1.6 อัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#20 แก้ไขสูตรที่ 1 และ 2

สูตร	ก้อนที่	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักก่อนอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ	อัตราการดูดซึมน้ำ
		g	g	%	%
ไม่ใส่ขุย	1	110.00	152.00	38.18	37.706
	2	105.00	145.00	38.10	
	3	114.00	156.00	36.84	
Sieve No.10	1	126.00	164.00	30.16	31.204
	2	126.00	166.00	31.75	
	3	123.00	162.00	31.71	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ข.1.6 กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้าง sieve#20 แก้ไขสูตรที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1.7 การทดสอบหาความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#40

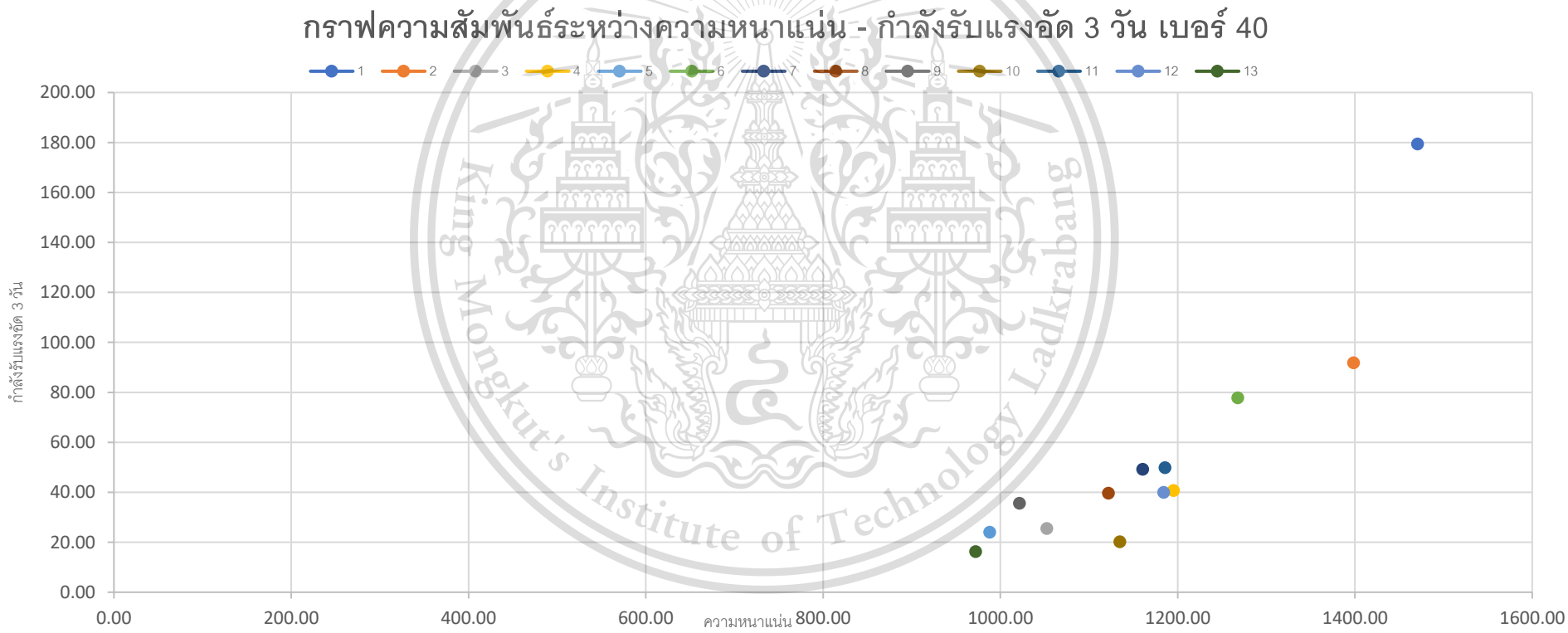
สูตร	ก้อนที่	น้ำหนัก	ความหนาแน่น	ความหนาแน่น	กว้าง			Average	สูง			Average	กำลัง		หน่วยแรง	Average
		g	Kg/m3	Kg/m3	mm			m	mm			m	kN	kg	ksc	ksc
1	1	180	1445.82	1470.52	50.1	50.2	50	0.050	49	49.8	50	0.050	43.51	4435.27	176.70	179.40
	2	188	1502.02		50.1	50.2	50.1	0.050	50	49.6	49.8	0.050	44.62	4548.42	180.97	
	3	181	1463.73		50.1	50.2	50.1	0.050	49.2	49.2	49.2	0.049	44.51	4537.21	180.52	
2	1	178	1406.13	1398.44	50.2	50.4	50.3	0.050	50	50	50.1	0.050	24.73	2520.90	99.64	91.86
	2	181	1424.14		50.2	50.2	50.2	0.050	50.5	50.8	50	0.050	20.25	2064.22	81.91	
	3	172	1365.05		50	50.2	50.1	0.050	50.2	50.4	50	0.050	23.15	2359.84	94.02	
3	1	133	1089.24	1052.49	49.4	50.4	49.4	0.050	49.6	49.5	49	0.049	6.91	704.38	28.48	25.52
	2	135	1100.47		49.6	50.6	49.5	0.050	49	49.4	49.4	0.049	5.69	580.02	23.29	
	3	118	967.77		49.6	50.4	49.6	0.050	48.3	49.8	49	0.049	6.05	616.72	24.80	
4	1	153	1212.68	1195.24	50.3	50.4	50.2	0.050	50.2	49.6	49.8	0.050	9.72	990.83	39.16	40.75
	2	148	1173.83		50.1	50.4	50.4	0.050	49.5	50	50	0.050	8.42	858.31	33.92	
	3	150	1199.20		50	50.2	50	0.050	49.8	50.1	49.8	0.050	12.09	1232.42	49.17	
5	1	121	995.81	987.91	49.8	50.2	49.8	0.050	49	48.6	48.6	0.049	5.88	599.39	24.04	24.09
	2	126	1028.63		49.9	49.9	50.4	0.050	48.8	49.1	48.7	0.049	6.1	621.81	24.81	
	3	116	939.29		50	50.4	49.7	0.050	49.4	49.3	49.3	0.049	5.75	586.14	23.41	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

6	1	158	1277.63	1267.71	50	50	50	0.050	49.6	49.4	49.4	0.049	18.5	1885.83	75.43	77.84
	2	153	1227.32		50.4	50	50	0.050	49.6	49.6	49.6	0.050	18.04	1838.94	73.17	
	3	160	1298.17		50	50	50	0.050	49.4	49	49.5	0.049	20.83	2123.34	84.93	
7	1	140	1130.55	1160.44	50	50	50	0.050	49.4	50	49.2	0.050	10.8	1100.92	44.04	49.20
	2	145	1169.39		50	50.2	50	0.050	49.2	49.2	50	0.049	11.98	1221.20	48.72	
	3	146	1181.37		50	50	49.9	0.050	49.3	49.6	49.6	0.050	13.43	1369.01	54.83	
8	1	138	1099.61	1121.76	50.1	50.2	50.2	0.050	50	50	49.6	0.050	9.32	950.05	37.75	39.64
	2	144	1146.71		50.2	50.4	50.3	0.050	49.6	49.5	49.8	0.050	10.48	1068.30	42.22	
	3	138	1118.97		50	50.1	50.1	0.050	49.6	48.6	49.4	0.049	9.58	976.55	38.96	
9	1	134	1079.95	1021.63	50.2	50	50	0.050	49.5	49.6	49.4	0.050	9.93	1012.23	40.38	35.68
	2	129	1021.10		50.4	50.2	50.4	0.050	50	50	49.6	0.050	9.49	967.38	38.18	
	3	122	963.84		50.5	50.4	50.6	0.051	50	49.3	49.6	0.050	7.12	725.79	28.46	
10	1	125	1027.40	1134.67	50	50	50	0.050	48.6	49	48.4	0.049	5.32	542.30	21.69	20.17
	2	120	987.39		49.6	49.4	49.6	0.050	49.4	50	49.2	0.050	4.7	479.10	19.53	
	3	114	1389.23		49.6	49	49	0.049	48.1	48.6	5	0.034	4.58	466.87	19.29	
11	1	146	1188.66	1185.81	50	50.2	50	0.050	49	49	49	0.049	11.89	1212.03	48.35	49.83
	2	147	1181.52		50	50.2	49.9	0.050	50	49.4	49.7	0.050	12.83	1307.85	52.24	
	3	149	1187.25		49.9	50.4	49.8	0.050	50	50.4	50	0.050	12.01	1224.26	48.91	
12	1	146	1179.06	1184.37	50	50.3	50	0.050	49.7	49.1	49.2	0.049	9.52	970.44	38.66	39.97
	2	147	1185.52		50	50.2	50	0.050	49.6	49.6	49.2	0.049	9.47	965.34	38.51	
	3	145	1188.52		50	50	50	0.050	48.8	49	48.6	0.049	10.48	1068.30	42.73	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

13	1	120	991.05	972.20	50	50	50	0.050	48.6	48.7	48	0.048	4.26	434.25	17.37	16.25
	2	117	954.45		50	50	50	0.050	49.1	49	49	0.049	3.42	348.62	13.94	
	3	118	971.09		49.7	50.2	49.8	0.050	49	49.2	48.2	0.049	4.26	434.25	17.44	



รูปที่ ข.1.7 กราฟระหว่างความหนาแน่น – กำลังรับแรงอัด 3 วัน ของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

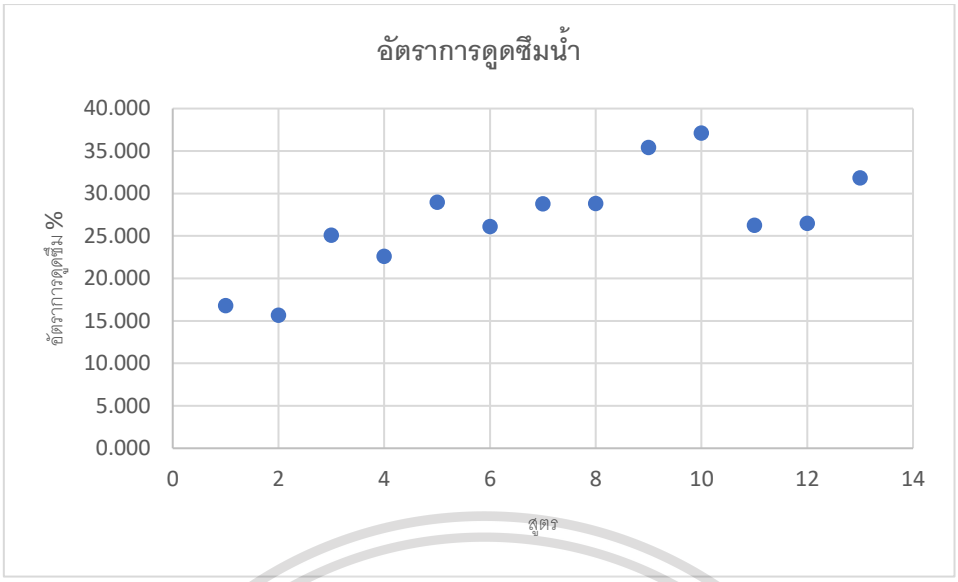
ตารางที่ ข.1.8 อัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#20

สูตร	ก้อนที่	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักก่อนอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ	อัตราการดูดซึมน้ำ
		g	g	%	%
1	1	180	213.00	18.33	16.792
	2	188	215.00	14.36	
	3	181	213.00	17.68	
2	1	178	208.00	16.85	15.668
	2	181	204.00	12.71	
	3	172	202.00	17.44	
3	1	133	166.00	24.81	25.071
	2	135	163.00	20.74	
	3	118	153.00	29.66	
4	1	153	188.00	22.88	22.610
	2	148	180.00	21.62	
	3	150	185.00	23.33	
5	1	121	156.00	28.93	28.959
	2	126	161.00	27.78	
	3	116	151.00	30.17	
6	1	158	199.00	25.95	26.124
	2	153	194.00	26.80	
	3	160	201.00	25.63	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

7	1	140	182.00	30.00	28.786
	2	145	186.00	28.28	
	3	146	187.00	28.08	
8	1	138	178.00	28.99	28.804
	2	144	186.00	29.17	
	3	138	177.00	28.26	
9	1	134	178.00	32.84	35.400
	2	129	175.00	35.66	
	3	122	168.00	37.70	
10	1	125	169.00	35.20	37.099
	2	120	165.00	37.50	
	3	114	158.00	38.60	
11	1	146	185.00	26.71	26.249
	2	147	186.00	26.53	
	3	149	187.00	25.50	
12	1	146	185.00	26.71	26.483
	2	147	186.00	26.53	
	3	145	183.00	26.21	
13	1	120	157.00	30.83	31.838
	2	117	155.00	32.48	
	3	118	156.00	32.20	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ ข.1.8 อัตราการดูดซึมน้ำของขุยมะพร้าวค้างค้าง sieve#20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข.2 การทดสอบหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

ตารางที่ ข.2.1 การทดสอบจากการ Vary Foam 0% 25% 50% 75% และ 100%

สูตร	ก้อนที่	น้ำหนัก	ความหนาแน่น	ความหนาแน่น	กว้าง			Average	สูง			Average	กำลัง		หน่วยแรง	Average
		g	Kg/m3	Kg/m3	mm			m	mm			m	kN	kg	ksc	ksc
1	1	189	1493.02	1465.581	50.3	50.3	50.3	0.050	50.1	50	50	0.050	26.86	2738.02	108.22	113.16
	2	184	1457.38		50.2	50.2	50.2	0.050	49.9	50.2	50.2	0.050	31.71	3232.42	128.27	
	3	182	1446.34		50.1	50.2	50.2	0.050	50	50	50	0.050	25.43	2592.25	103.00	
2	1	212	1683.62	1673.134	50.1	50.1	50.1	0.050	50.2	50.2	50.1	0.050	59.83	6098.88	242.98	270.90
	2	209	1679.87		50.2	50	50	0.050	49.8	49.7	49.4	0.050	76.57	7805.30	311.38	
	3	206	1655.91		50.2	50.1	50.4	0.050	49.2	49.2	49.5	0.049	63.95	6518.86	258.34	
3	1	158	1271.63	1297.276	50	50	50	0.050	50	49.7	49.4	0.050	35.11	3579.00	143.16	142.67
	2	160	1362.47		50	50.4	50.2	0.050	49.8	49.5	40.5	0.047	35.14	3582.06	142.14	
	3	157	1257.73		50.1	50.1	50.3	0.050	49.6	49.4	49.8	0.050	35.23	3591.23	142.70	
4	1	164	1335.18	1339.638	49.8	50.4	49.9	0.050	48.7	48.9	49.6	0.049	44.06	4491.34	179.41	179.23
	2	164	1335.14		49.8	50.4	49.8	0.050	49.1	48.7	49.6	0.049	44.75	4561.67	182.47	
	3	166	1348.60		49.6	50.2	49.8	0.050	50.3	49.1	49.1	0.050	42.89	4372.07	175.82	
5	1	182	1453.10	1442.984	49.8	50.3	49.8	0.050	50	50.4	50.1	0.050	38.54	3928.64	157.36	149.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

	2	181	1450.90		49.8	50.1	49.9	0.050	50	50	50.1	0.050	35.96	3665.65	147.02	
	3	178	1424.95		49.9	50.1	49.9	0.050	50.2	49.8	50.1	0.050	35.02	3569.83	142.98	
6	1	142	1138.28	1064.825	50	50	50	0.050	50	49.9	49.8	0.050	8.39	855.25	34.21	27.84
	2	131	1051.51		50	50	50.1	0.050	49.8	49.8	49.7	0.050	6.23	635.07	25.37	
	3	125	1004.69		50	50	50	0.050	49.6	49.7	50	0.050	5.87	598.37	23.93	
7	1	124	1005.56	1032.884	50.2	50.2	50.2	0.050	49.2	49	48.6	0.049	6.41	653.41	25.93	27.59
	2	128	1044.28		50	50.1	50.2	0.050	48.2	48.8	49.5	0.049	6.81	694.19	27.66	
	3	129	1048.80		50	50.1	50	0.050	49	49.4	49	0.049	7.17	730.89	29.20	
8	1	107	867.58	854.378	50.6	50.5	50.6	0.051	47.7	48	49	0.048	3.49	355.76	13.91	12.85
	2	106	859.36		50.5	50.5	50.5	0.051	48.2	47.9	49	0.048	3.22	328.24	12.87	
	3	102	836.19		50.2	50	50.2	0.050	48.1	48.5	49	0.049	2.9	295.62	11.76	
9	1	165	1304.37	1358.393	49.5	50.8	49.6	0.050	50.6	50.8	50.6	0.051	20.33	2072.38	83.01	92.11
	2	170	1360.92		49.5	50.6	49.6	0.050	50.1	50.2	50.2	0.050	20.98	2138.63	85.89	
	3	176	1409.89		49.6	50.5	49.6	0.050	50.2	50.2	50	0.050	26.24	2674.82	107.42	
10	1	178	1433.55	1415.724	49.8	50.3	49.8	0.050	49.6	49.8	49.8	0.050	29.9	3047.91	122.08	119.73
	2	175	1403.74		49.7	50.4	49.8	0.050	50	50	49.8	0.050	28.53	2908.26	116.49	
	3	176	1409.88		49.8	50.4	49.9	0.050	50	49.8	49.8	0.050	29.62	3019.37	120.61	
11	1	146	1178.18	1159.594	49.8	50.1	49.8	0.050	49.8	49.8	49.7	0.050	18.22	1857.29	74.59	72.92
	2	146	1168.81		50	50.2	50.2	0.050	49.7	49.6	49.8	0.050	18	1834.86	73.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

	3	141	1131.79		50	50.2	50	0.050	49.5	50	49.6	0.050	17.5	1783.89	71.17	
12	1	120	974.29	974.828	49.8	50.5	49.7	0.050	49.5	49.2	49.1	0.049	9.17	934.76	37.39	34.63
	2	123	1011.47		49.4	50.3	49.7	0.050	49.4	49.1	48.6	0.049	8.46	862.39	34.77	
	3	114	938.72		49.5	50.2	49.6	0.050	49	49.2	48.9	0.049	7.71	785.93	31.73	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

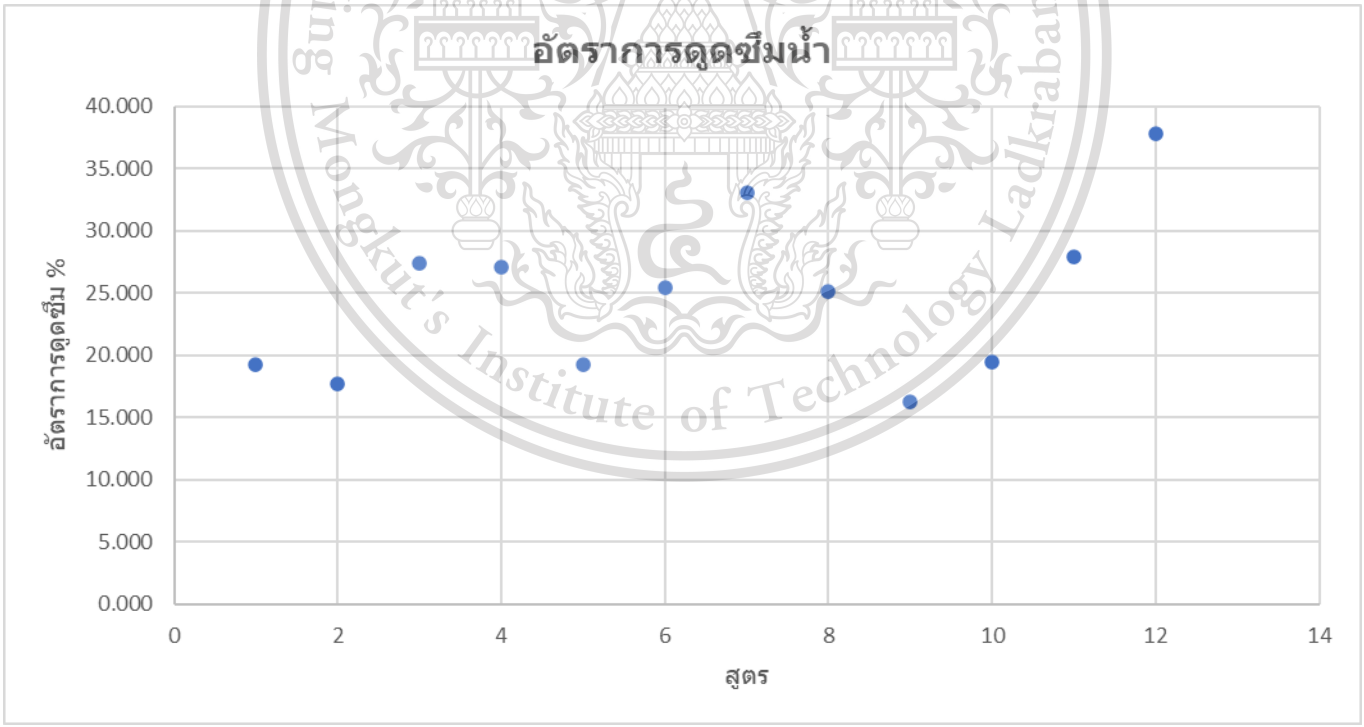
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ข.2.2 อัตราการดูดซึมน้ำ การทดสอบ Vary Foam 0% 25% 50% 75% และ 100%

สูตร	ก้อนที่	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักก่อนอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ	อัตราการดูดซึมน้ำ
		g	g	%	%
1	1	189	225.00	19.05	19.281
	2	184	220.00	19.57	
	3	182	217.00	19.23	
2	1	212	250.00	17.92	17.704
	2	209	245.00	17.22	
	3	206	243.00	17.96	
3	1	158	201.00	27.22	27.368
	2	160	204.00	27.50	
	3	157	200.00	27.39	
4	1	164	208.00	26.83	27.126
	2	164	209.00	27.44	
	3	166	211.00	27.11	
5	1	182	217.00	19.23	19.223
	2	181	216.00	19.34	
	3	178	212.00	19.10	
6	1	142	177.00	24.65	25.401
	2	131	165.00	25.95	
	3	125	157.00	25.60	
7	1	124	166.00	33.87	33.081
	2	128	170.00	32.81	
	3	129	171.00	32.56	
8	1	106	151.00	42.45	25.143
	2	102	148.00	45.10	
	3	165	145.00	-12.12	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9	1	165	192.00	16.36	16.248
	2	170	198.00	16.47	
	3	176	204.00	15.91	
10	1	178	212.00	19.10	19.473
	2	175	210.00	20.00	
	3	176	210.00	19.32	
11	1	146	186.00	27.40	27.949
	2	146	187.00	28.08	
	3	141	181.00	28.37	
12	1	120	165.00	37.50	37.853
	2	123	168.00	36.59	
	3	114	159.00	39.47	



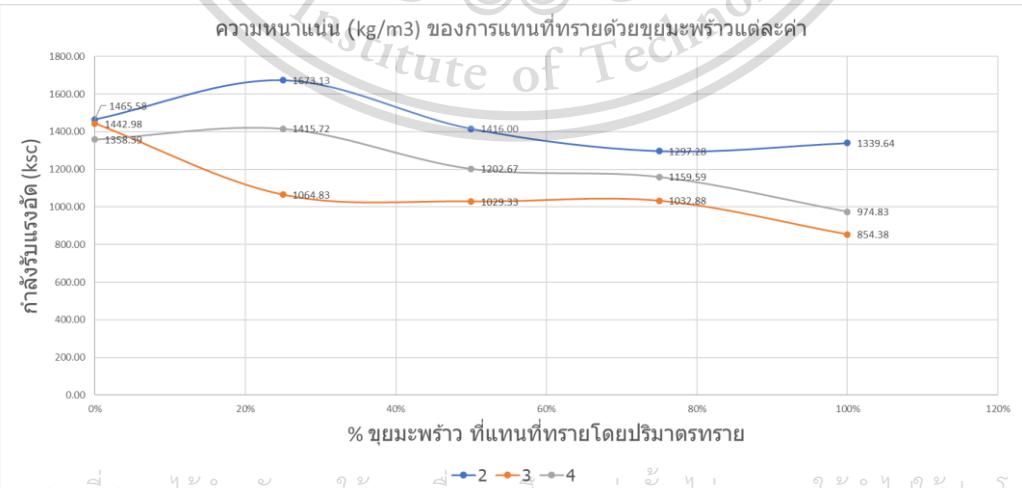
รูปที่ ข.2.1 อัตราการดูดซึมน้ำ จากการทดสอบ Vary Foam 0% 25% 50% 75% และ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อทำการรวมค่าความหนาแน่น กำลังรับแรงอัดของ และอัตราการดูดซึม ที่เกิดจาก Vary Foam 0% 25% 50% 75% และ 100% ทั้งหมดจะได้ดังตาราง

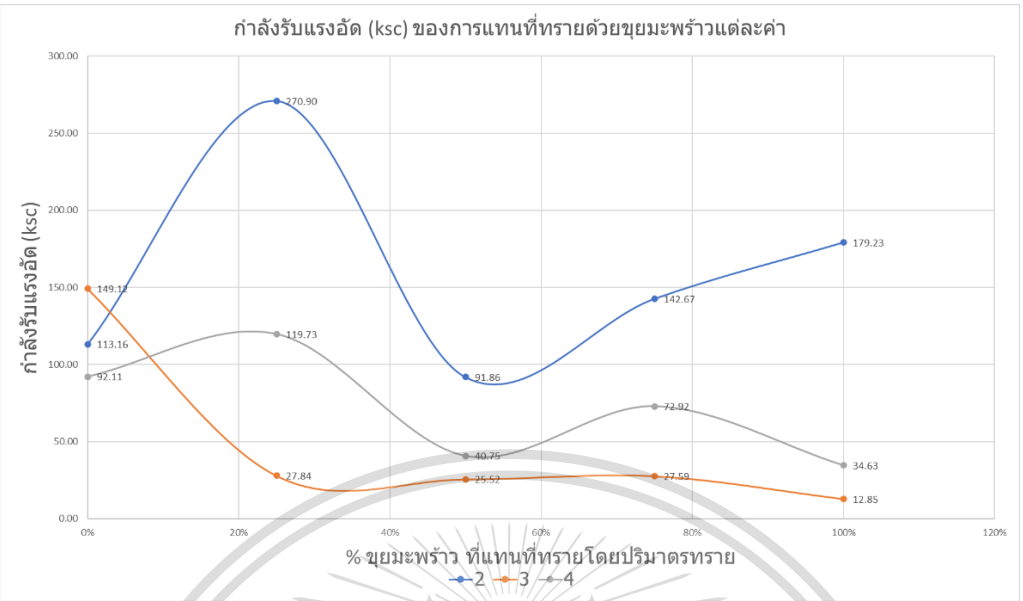
ตารางที่ ข.2.3 ค่าความหนาแน่น กำลังรับแรงอัดของ และอัตราการดูดซึม ที่เกิดจาก Vary Foam

สูตร	No.	% ขุยมะพร้าว	กำลังรับแรงอัด (ksc)	ความหนาแน่น (kg/m3)	อัตราการดูดซึม (%)
2	1	0%	113.16	1465.58	19.28
	2	25%	270.90	1673.13	17.70
	3	50%	91.86	1416.00	15.67
	4	75%	142.67	1297.28	27.37
	5	100%	179.23	1339.64	27.13
3	6	0%	149.12	1442.98	19.22
	7	25%	27.84	1064.83	25.40
	8	50%	25.52	1029.33	25.07
	9	75%	27.59	1032.88	33.08
	10	100%	12.85	854.38	25.14
4	11	0%	92.11	1358.39	16.25
	12	25%	119.73	1415.72	19.47
	13	50%	40.75	1202.67	22.61
	14	75%	72.92	1159.59	27.95
	15	100%	34.63	974.83	37.85

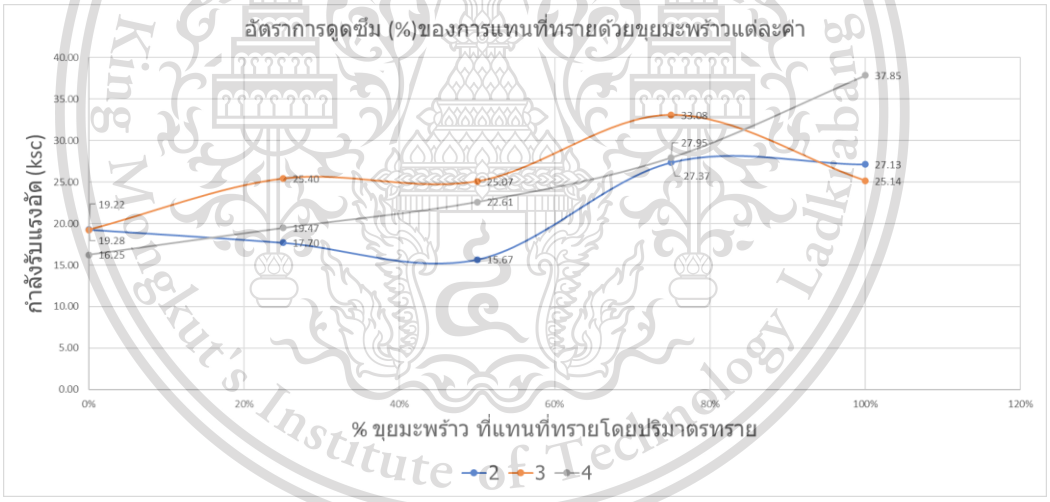


รูปที่ ข.2.2 กราฟแสดงความหนาแน่น (Kg /m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ข.2.3 กราฟกำลังรับแรงอัด (ksc)



รูปที่ ข.2.4 กราฟแสดงอัตราการดูดซึม (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.2.4 ผลจากการ Vary ขุยมะพร้าว ,W/C=0.4,0.6 และทำการ Fixed Foam 100% ,S/C=1

สูตร	ก้อนที่	น้ำหนัก	ความหนาแน่น	ความหนาแน่น	กว้าง			Average	สูง			Average	กำลัง		หน่วยแรง	Average
		g	Kg/m3	Kg/m3	mm			m	mm			m	kN	kg	ksc	ksc
0	1	170	1326.12	1368.478	50.4	50.5	50.4	0.050	50.7	50.2	50.3	0.050		0.00	0.00	0.00
	2	174	1357.35		50.3	50.4	50.2	0.050	50.4	51	50.6	0.051		0.00	0.00	
	3	180	1421.97		50.1	50	50	0.050	50.2	50.7	50.8	0.051		0.00	0.00	
1	1	158	1255.61	1189.218	50	50.1	50.2	0.050	50.1	50.1	50.2	0.050	10.02	1021.41	40.69	37.24
	2	150	1179.44		50.2	50.3	50.3	0.050	50.4	50.2	50.4	0.050	9	917.43	36.31	
	3	145	1132.61		50.2	50.4	50.4	0.050	50.4	50.4	50.8	0.051	8.63	879.71	34.72	
2	1	144	1172.99	1331.913	49.4	50.5	49.4	0.050	49.7	49.8	49.2	0.050	7.43	757.39	30.58	26.86
	2	136	1378.30		49.4	50.6	49.5	0.050	19.6	49.6	50	0.040	5.21	531.09	21.39	
	3	143	1444.44		49.7	50.5	49.8	0.050	19.4	49.6	49.8	0.040	7.02	715.60	28.62	
3	1	133	1070.46	1058.162	50.1	50	50.2	0.050	49.3	49.4	49.8	0.050	7.06	719.67	28.67	25.45
	2	133	1066.87		50.1	50	50.2	0.050	49.8	49.7	49.5	0.050	7	713.56	28.43	
	3	128	1037.16		50	50	50.1	0.050	49.2	49.5	49.2	0.049	4.73	482.16	19.26	
4	1	124	997.34	979.355	50	50.2	50	0.050	49.8	50	49	0.050	8.27	843.02	33.63	33.80
	2	119	956.59		50.2	50.2	50.4	0.050	49.8	49.1	48.8	0.049	7.19	732.93	29.01	
	3	123	984.13		50.2	50.4	50.4	0.050	49.8	49.1	49.1	0.049	9.63	981.65	38.75	
5	1	160	1280.01	1256.902	50	50.4	49.8	0.050	50	49.8	49.8	0.050	9.95	1014.27	40.46	40.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

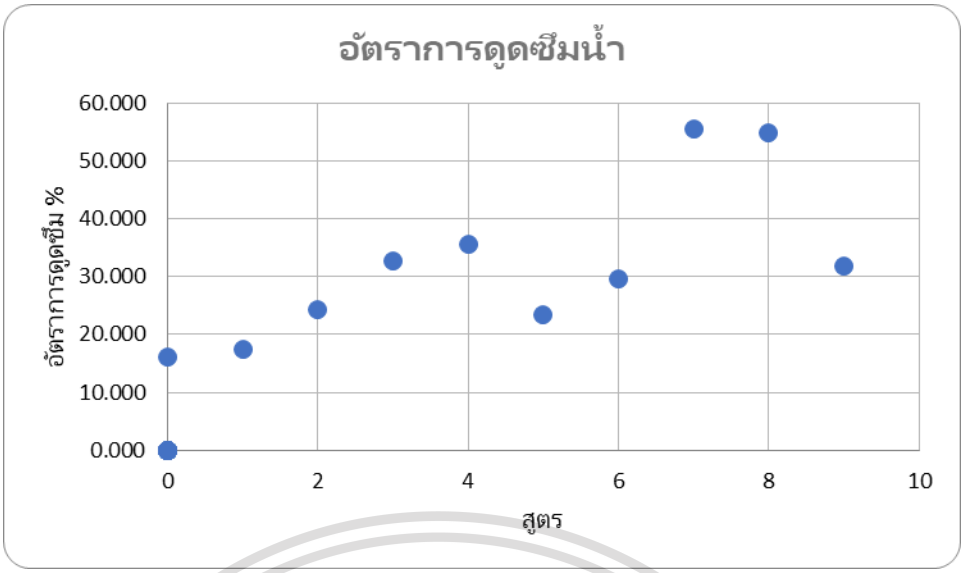
	2	155	1233.41		50	50.4	50	0.050	50	50	50	0.050	9.14	931.70	37.07	
	3	158	1257.29		50	50.4	50	0.050	49.7	50.2	50.1	0.050	10.5	1070.34	42.59	
6	1	152	1207.16	1204.625	50.4	50.3	50.1	0.050	49.7	49.6	50.2	0.050	11	1121.30	44.38	46.46
	2	152	1206.40		50.4	50.3	50.4	0.050	49.7	49.3	50	0.050	11.67	1189.60	46.89	
	3	150	1200.32		50.5	50.4	50.5	0.050	49.2	49	49	0.049	12.02	1225.28	48.11	
7	1	123	989.99	997.565	50	50.2	50.2	0.050	49.2	49.7	49.4	0.049	8	815.49	32.45	30.50
	2	122	993.27		50	50	50.2	0.050	48.7	49.3	49	0.049	7.63	777.78	31.03	
	3	125	1009.44		50	50	50.1	0.050	49.5	49.8	49.1	0.049	6.88	701.33	28.02	
8	1	94	771.95	797.443	49.6	50.2	49.6	0.050	48.6	49.8	48.9	0.049	4.1	417.94	16.85	19.58
	2	98	779.86		50.4	50	50.4	0.050	50	50	49.2	0.050	5.12	521.92	20.66	
	3	102	840.52		49.7	50	49.8	0.050	49	49	48.6	0.049	5.17	527.01	21.22	
9	1	102	826.99	865.686	50	50	49	0.050	50	50	50	0.050	1.94	197.76	8.02	8.20
	2	107	864.67		50	50	50.2	0.050	49.7	49.4	49	0.049	2.05	208.97	8.34	
	3	114	905.39		50	50.4	50.6	0.050	50.5	49.6	49	0.050	2.05	208.97	8.25	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ข.2.5 อัตราการดูดซึมน้ำ Vary ขุยมะพร้าว W/C=0.4,0.6 และ Fixed Foam 100%,S/C=1

สูตร	ก้อนที่	น้ำหนักหลังอบ	น้ำหนักก่อนอบ	อัตราการดูดซึมน้ำ	อัตราการดูดซึมน้ำ
		g	g	%	%
0	1	170	198.00	16.47	16.039
	2	174	202.00	16.09	
	3	180	208.00	15.56	
1	1	158	185.00	17.09	17.451
	2	150	176.00	17.33	
	3	145	171.00	17.93	
2	1	144	178.00	23.61	24.362
	2	136	170.00	25.00	
	3	143	178.00	24.48	
3	1	133	176.00	32.33	32.742
	2	133	177.00	33.08	
	3	128	170.00	32.81	
4	1	124	168.00	35.48	35.526
	2	119	162.00	36.13	
	3	123	166.00	34.96	
5	1	160	197.00	23.13	23.471
	2	155	192.00	23.87	
	3	158	195.00	23.42	
6	1	152	196.00	28.95	29.518
	2	152	197.00	29.61	
	3	150	195.00	30.00	
7	1	122	173.00	41.80	55.546
	2	125	172.00	37.60	
	3	94	176.00	87.23	
8	1	94	148.00	57.45	54.837
	2	98	152.00	55.10	
	3	102	155.00	51.96	
9	1	102	135.00	32.35	31.941
	2	107	143.00	33.64	
	3	114	148.00	29.82	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ข.2.5 อัตราการดูดซึมน้ำที่ Vary ขุยมะพร้าว W/C=0.4,0.6 และ Fixed Foam 100% ,S/C=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.