



การลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกผสมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะจากไขปาล์ม น้ำมัน และไข
ถั่วเหลือง เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แบบ 2.1 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกรวมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะจากไขปาล์ม
น้ำมันและไขถั่วเหลือง เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แบบ 2.1 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

MOISTURE REDUCTION IN CONCRETE BLOCKS MIXED WITH NATURAL
MATERIALS BY USING ORGANIC PHASE-CHANGE MATERIALS FROM PALM WAX
AND SOY WAX TO REDUCE HEAT TRANSFER INTO BUILDING.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Doctor of Philosophy ARCHITECTURE
Department of Architecture
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2022
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ การลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกผสมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุ
เปลี่ยนสถานะจากไขปาล์มน้ำมันและไขถั่วเหลือง เพื่อลดการนำ
ความร้อนเข้าสู่อาคาร
โดย นายศรัณยู สว่างเมฆ
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม แบบ 2.1 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

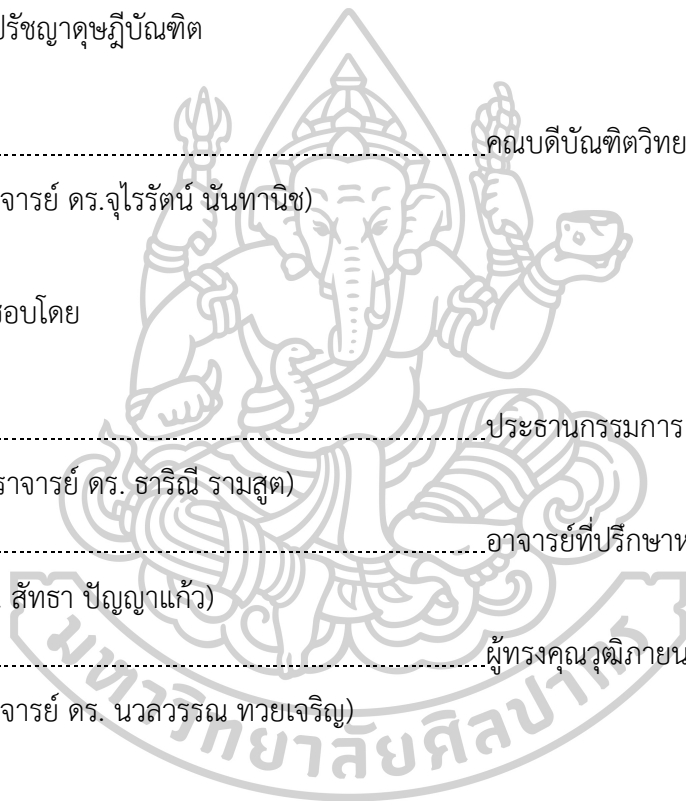
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาริณี รามสูต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. นवलวรรณ ทวยเจริญ)



60054901 : สถาปัตยกรรม แบบ 2.1 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

คำสำคัญ : การลดความชื้น, คอนกรีตบล็อก, วัสดุธรรมชาติ, วัสดุเปลี่ยนสถานะ, ไขปาล์มน้ำมัน, ไขถั่วเหลือง, การนำความร้อน

นาย ศรัณยู สว่างเมฆ: การลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกผสมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะจากไขปาล์มน้ำมันและไขถั่วเหลือง เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว

บทความวิจัยนี้เป็นศึกษาเกี่ยวกับการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกผสมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะจากไขปาล์มน้ำมันและไขถั่วเหลือง เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยทำการศึกษาการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก เพื่อให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน เพื่อพัฒนาสู่ผลิตภัณฑ์ก่อสร้างสีเขียว (Green Buildings Materials) โดยมีสมมติฐานว่า การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันและไขถั่วเหลืองมาเป็นวัสดุที่ใช้เตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนผสมในคอนกรีตบล็อกโดยวิธี Encapsulation method จะสามารถลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติได้ โดยมีเกณฑ์พิจารณาการเลือกวัสดุธรรมชาติที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกคือวัสดุธรรมชาติที่ได้มาต้องมาจากแหล่งธรรมชาติ มีความทนทาน ต้นทุนในการขนส่งและการจัดการต่ำ สามารถลดปริมาณของเสียที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ มีการจัดการที่ปราศจากขั้นตอนเกี่ยวกับสารเคมี มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี มีคุณสมบัติด้านพลังงานจากการศึกษาข้อมูล พบว่า วัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา มีคุณสมบัติเข้ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จึงนำวัสดุธรรมชาติทั้ง 2 ชนิดมาศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านองค์ประกอบและคุณสมบัติการดูดซับความชื้น ก่อนคัดเลือกนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่สามารถลดความชื้นเพื่อให้ค่าการนำความร้อนเข้าสู่อาคารลดลง และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ใช้งาน และเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

จากการศึกษาข้อเกี่ยวกับการใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกโดยการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ(PCM) และจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ(PCM) จากปาล์มน้ำมันและไขถั่วเหลืองนั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาศึกษาทดลองหาสัดส่วนผสม โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง พบว่า สูตรที่ 3 ที่มีส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1 ส่วนต่อ 1 ส่วน มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่ $37^{\circ}\text{C} - 67.5^{\circ}\text{C}$ มีความเหมาะสม เนื่องจากมีอุณหภูมิเริ่มต้นหลอมเหลวที่ต่ำ

กว่าพาราฟินทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะได้เร็วกว่า ทำให้สามารถเก็บพลังงานความร้อนแฝงในวัสดุได้ก่อน ซึ่งอุณหภูมิในขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากแตกต่างจากการเก็บพลังงานความร้อนโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (Sensible Thermal Storage) ทำให้อุณหภูมิในตัววัสดุไม่สูงจนส่งผ่านความร้อนออกมามาก และได้มีการพัฒนาการป้องกันและลดความชื้นเข้ามาในเนื้อวัสดุ โดยใช้กระบวนการ Encapsulation Method วัสดุธรรมชาติโดยวิธีการ Coating Mixing จำนวน 6 สูตร เพื่อนำไปทดสอบหาสูตรที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุดก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก ผลการทดสอบ พบว่า สูตร B1 ที่มีอัตราส่วนผสมของเปลือกกะลาเผาที่ 1 Kg. ต่อวัสดุเปลี่ยนสถานะ 20 % ของน้ำหนักเปลือกกะลาเผาและปริมาณน้ำยพาราในการ Coating 70 % ของน้ำหนักเปลือกกะลาเผา ได้ผลทดสอบที่ดี มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเหมาะที่จะนำไปเป็นสูตรส่วนผสมวัสดุธรรมชาติต้นแบบในการทดลองส่วนผสมขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกขนาด 10 x 10 x 10 ซม. จำนวน 20 สูตร และคัดเลือกหาสูตรที่การดูดซึมน้ำน้อยที่สุด จำนวน 10 สูตร โดยการนำไปชั่งน้ำหนักก่อนและหลังนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบว่า สูตรที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ A1, A2, A3, A4, B1, C3, C4, D2, D3, D4 จากนั้นนำไปขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก สูตรละ 5 ก้อนรวมทั้งหมดเป็น 50 ก้อนเพื่อนำไปทดสอบการต้านทานแรงอัดให้ได้ความแข็งแรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่มีค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล จะได้สูตรที่ผ่านเกณฑ์ คือ สูตร C3 มีค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.67 เมกะพาสคัล และมีปริมาณการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 0.08 กิโลกรัม อัตราส่วนผสมโดยปริมาตรของสูตร C3 แทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลาเผา 30 เปอร์เซ็นต์ คือ ปูน 1 ส่วน ต่อทราย 2.1 ส่วน ต่อหิน 5 ส่วน ต่อเปลือกกะลาเผา 0.9 ส่วน และปริมาณน้ำ 40 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมทั้งหมด จากนั้นทำการผลิตขึ้นรูปจริงคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. โดยใช้เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกระบบกึ่งไฮดรอลิกแบบ 4 ก้อน เพื่อทำการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) จากการชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน พบว่า มีขนาดความยาว ความสูง ความหนา ความหนาเปลือกพื้นที่หน้าตัดสุทธิ น้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) ผลการทดสอบค่าต้านทานแรงอัดอยู่ที่ 3.33 เมกะพาสคัล ผลการทดสอบปริมาณความชื้นมีค่าการหดตัวทางยาวอยู่ที่ร้อยละ 0.057 และค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ย 4.48 ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 และผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 23.8 องศาเซลเซียสอยู่ที่ 0.046 W/m•K ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานตามประกาศของกระทรวงพลังงานและต่ำกว่าค่า CIBSE Guide A : 2015

จากนั้นได้ทำการทดสอบค่าดูดซึมความชื้นเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆ ที่จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ ผลปรากฏว่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 12.304 น้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลดีในการนำคอนกรีตบล็อกไปใช้งาน

วัสดุประกอบอาคารโดยจะทำให้ค่าการนำความร้อน (k) ลดลงตามไปด้วย จากนั้นทำการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่างๆ โดยทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองไว้เป็น 2 กรณีศึกษาคือในสภาวะปกติและสภาวะที่มีความชื้นเกิดขึ้น โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งภายในและภายนอกกล่องทดสอบทุกๆ 5 นาที ทำการทดลองและเก็บข้อมูลวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 จากการเก็บข้อมูลในสภาวะปกติ พบว่า อุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 37.5°C ส่วนอุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 37.3°C และ อุณหภูมิต่ำสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 24°C อุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 25.2°C ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 87.8% ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 81.5% ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 40.9% ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 49.2% และสภาวะที่มีความชื้นเกิดขึ้นโดยทำการติดตั้งระบบฉีดน้ำแบบ Spray ที่มีระบบตั้งเวลาเปิด-ปิดทำการปล่อยน้ำตลอดเวลา 24 ชั่วโมง เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกกล่องทดสอบทุกๆ 5 นาที ทำการทดลองและเก็บข้อมูลวันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 พบว่า อุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 35.9°C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 31.3°C และอุณหภูมิต่ำสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 24°C อุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 23.2°C ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 88% ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 91% และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 41.4% ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 63.6% สรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดและมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในทั้ง 2 กรณี ทำให้เห็นได้ว่าคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีค่าการนำความร้อน(k)ต่ำกว่า คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดทั้ง 2 ชนิดและความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ในทั้ง 2 กรณี ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมวัสดุธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเตรียมวัตถุดิบตามขั้นตอนการวิจัยมีอัตราการดูดซับความชื้นต่ำส่งผลทำให้ค่าการนำความร้อน (k) ในคอนกรีตบล็อกลดลงด้วย

60054901 : Major ARCHITECTURE

Keyword : Moisture Reduction, Concrete Blocks, Natural Materials, Phase-Change Materials, Palm Wax, Soy Wax, Heat transfer

MR. SARANYOO SAWANGMAKE : MOISTURE REDUCTION IN CONCRETE BLOCKS MIXED WITH NATURAL MATERIALS BY USING ORGANIC PHASE-CHANGE MATERIALS FROM PALM WAX AND SOY WAX TO REDUCE HEAT TRANSFER INTO BUILDING. THESIS ADVISOR : SATTA PANYAKAEW

This research aimed to study the moisture reduction in concrete blocks mixed with natural materials by using organic phase-change materials (PCM) from palm wax and soy wax to reduce heat transfer into building. Natural phase-change materials were applied in the material preparation process before being mixed into concrete blocks. The objectives of this study are to be environmentally friendly, harmless to users, and to develop natural phase-change materials into green building materials. The hypothesis of this study was that the transition material from palm oil and soy wax was used as a natural material preparation before mixing in the concrete block by the Encapsulation method which is able to reduce moisture content in concrete blocks containing natural materials. Criteria for selecting natural materials to be used as an ingredient in concrete blocks are natural materials derived from natural sources, durable, low cost of transportation and handling, reduce the amount of waste left to be useful, chemical-free management process, large enough volume all year round and also have energy properties. From the study of the data, it found that two types of natural materials, namely rice husk and coffee shell husk were qualified to the set criteria. Therefore, the two natural materials were studied to compare their composition and moisture absorption properties before being used as an ingredient in the production of concrete blocks that can reduce moisture in order to reduce the thermal conductivity into the building. Moreover, it is not harmful to the health of users and it can be a guideline for choosing building materials that will reduce energy consumption in buildings sustainably in the future.

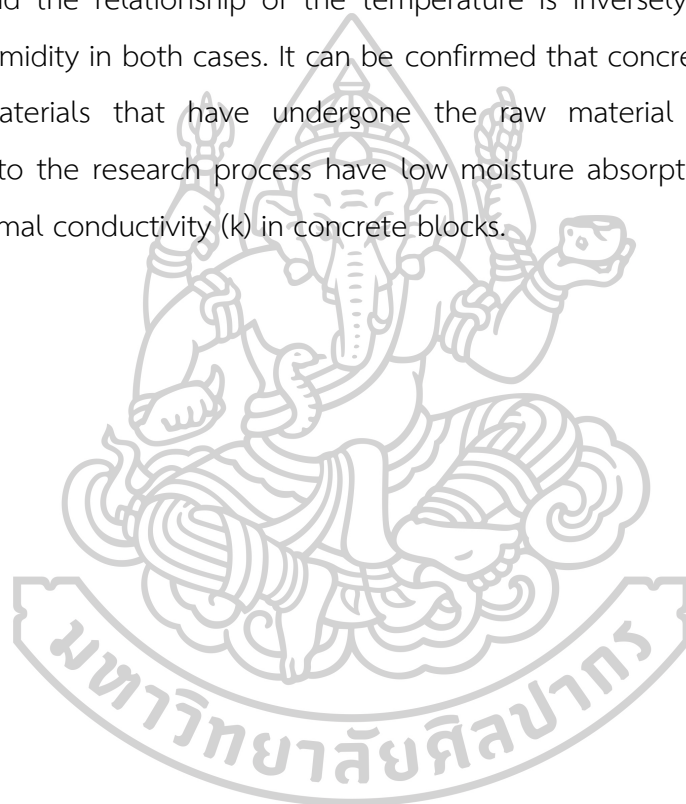
From the study of energy consumption in latent heat in concrete block mixtures by using phase-change materials (PCM) and from the literature review

related to phase-change material (PCM) from oil palm and soy wax that are suitable for use in the trial to determine mixture ratio, it found that formula 3 with a 1:1 mixture of palm oil phase-change material and soybean phase change material, it has a melting temperature range of 37°C - 67.5°C. It is suitable because it has a lower initial melting temperature than paraffin and allows for faster transition. This allows the latent heat energy to be stored in the material first. The temperature during the transition does not change much. It differs from the storage of thermal energy without a change in state (Sensible Thermal Storage). The temperature in the material is not so high that it transmits a lot of heat. The natural material Encapsulation Method was developed to prevent and reduce moisture in the material by using Coating Mixing, 6 formulas. The purpose is to test the formula that absorbs the least water before being used as an ingredient in concrete blocks. It found that formula B1 with a mixture ratio of coffee husks at 1 kg. per phase-change material, 20 % of the coffee husk weight and the amount of latex in coating 70% of the coffee husk weight, good test result. And it has the lowest water absorption rate suitable for using as a prototype natural material formulation (20 formulas) in concrete block molding experiments, size 10×10×10 cm. Ten formulas with the least water absorption were selected by weighing them before and after 24 hours in water. It found that the least absorbent formulas are A1, A2, A3, A4, B1, C3, C4, D2, D3, D4. Then take to form concrete blocks, each formula is 5 blocks for a total of 50 blocks to test the compressive strength to get the strength according to the industry standard- non-load bearing concrete block (TIS 58-2533) with average compressive strength that must not be less than 2.5 megapascals. The qualifying formula, C3, had an average compressive strength of 2.67 megapascals and a water absorption volume of 0.08 kg. The mixing ratio by volume of formula C3 replacing sand with 30% coffee shell husks was 1 part cement per 2.1 parts sand per 5 parts stone per 0.9 parts coffee shell husk, and 40% water content of the total mixture. The actual concrete block size 70 x 190 x 390 mm. was then produced by using a semi-hydraulic concrete block machine- 4 blocks type, to perform the industry standard test-non-load bearing concrete block (TIS. 58-2533). Five concrete blocks were selected to be as examples, it found that length, height, thickness, surface thickness, net cross-

sectional area, weight, and density; the compressive strength test result was 3.33 megapascals, the moisture content test result has a longitudinal shrinkage of 0.057%, and an average water absorption value of 4.48%. This passed the criteria of TIS 58-2533, and the thermal conductivity coefficient at an average temperature of 23.8 °C is 0.046 W/m•K, which is lower than the Ministry of Energy's announced standard and lower than the CIBSE Guide A: 2015.

Then the moisture absorption value was tested to compare with other concrete block materials that are available in the market for 2 brands. The results showed that the average water absorption rate of concrete blocks from the research was the lowest water absorption of 12.304 %. This is a good result in the use of concrete blocks for building materials, which can reduce the thermal conductivity (k) accordingly. Then test the heat reduction ability and test the moisture content under various conditions by making the original wall box as a model for 2 case studies, that are; in normal conditions and humidity conditions-use a data logger, brand-BENETECH, model- GM 1365, to check the temperature and relative humidity of the air inside and outside the test box every 5 minutes. The experiment and data collection were on 21-24 June 2021. In normal conditions, the maximum outdoor air temperature was 37.5°C, the maximum temperature in Box 1 of the concrete block from the research was 37.3°C and the minimum outside air temperature was 24°C, the lowest temperature in Box 1 of the research concrete block was 25.2°C. The maximum relative humidity of the outdoor air is 87.8%, the maximum relative humidity in Box 1, the research concrete block is 81.5%, the minimum relative humidity of the outdoor air is 40.9%, the lowest relative humidity in Box 1, the research concrete block is 49.2%. And conditions where humidity occurs by installing a spray system that has a timer system to turn on and off to release water 24 hours a day, collect temperature and relative humidity of the air outside the test box every 5 minutes, test and store the data 25 – 28 June 2021, it found that the maximum outdoor air temperature is 35.9°C, the maximum temperature in Box 1 of the research concrete block is 31.3°C. The minimum outdoor air temperature is 24°C, the lowest temperature in Box 1, the research concrete block, is 23.2°C. The

maximum relative humidity of the outdoor air is 88%, the maximum relative humidity in Box 1 of the research concrete block is 91%. The minimum relative humidity of the outdoor air is 41.4%, the lowest relative humidity in Box 1, the research concrete block, is 63.6%. It was concluded that the concrete blocks from the research had the lowest indoor air temperature and the highest relative humidity in both cases. It can be seen that the concrete blocks from the research have a lower thermal conductivity (k) than the two types of concrete blocks from the market, and the relationship of the temperature is inversely proportional to the relative humidity in both cases. It can be confirmed that concrete blocks mixed with natural materials that have undergone the raw material preparation process according to the research process have low moisture absorption rates, resulting in lower thermal conductivity (k) in concrete blocks.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วย เนื่องด้วยการได้รับคำแนะนำและแนวทางในการดำเนินงานจากอาจารย์ ดร.สัทธา ปัญญาแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาริณี รามสูต ประธานกรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.นवलวรรณ ทวยเจริญ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ภายนอก ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร สำหรับการบริการทดสอบจุดหลอมเหลววัสดุเปลี่ยนสถานะ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี สำหรับการบริการทดสอบความต้านทานแรงอัดคอนกรีตและปริมาณความชื้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

ขอขอบคุณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ สำหรับการบริการทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อนหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ตามมาตรฐาน ASTM C 518 และค่าการหดแห้งของคอนกรีต

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษา

ขอขอบคุณ ผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม รวมทั้งเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ความรู้อบรมสั่งสอนด้วยความปรารถนาดีตลอดมา

นาย ศรัณยู สว่างเมฆ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ช
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	10
ขอบเขตการศึกษา.....	10
ขั้นตอนการศึกษา.....	10
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	14
คอนกรีตบล็อก	25
ปูนซีเมนต์.....	30
มวลผสมคอนกรีต.....	33
คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก.....	36
วัสดุเปลี่ยนสถานะ [Phase Change Materials (PCM)].....	43
วัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติ.....	48
ชนิดของพืชที่มีเส้นใยเซลลูโลสที่ผสมในคอนกรีตบล็อก.....	51

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	66
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	75
ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย	78
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	143
สถานที่ในการทำวิจัย	146
บทที่ 4 ผลการทดสอบ วิเคราะห์ และอภิปราย.....	148
ช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	148
ช่วงเตรียมวัสดุดิบ.....	159
ช่วงทดลองหาส่วนผสม.....	161
ช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.....	166
ช่วงทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และค่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	167
ช่วงทดสอบค่าดูดซึ่มความชื้น ทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณ ความชื้นในสถานะต่างๆ.....	176
การอภิปรายผล	220
การเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา.....	230
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	233
สรุปผลการวิจัยช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	233
สรุปผลการวิจัยช่วงเตรียมวัสดุดิบ.....	238
สรุปผลการวิจัยช่วงทดลองหาส่วนผสม.....	238
สรุปผลการวิจัยช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.....	239
การอภิปรายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในงานวิจัย	246
ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกจากการวิจัยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาด	250
การนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้	253

ปัญหาที่พบในการวิจัย.....	254
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	256
ภาคผนวก ก.....	258
ภาคผนวก ข.....	261
ภาคผนวก ค.....	273
รายการอ้างอิง.....	278
ประวัติผู้เขียน.....	284



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงข้อกำหนดปริมาณความชื้น ของมาตรฐานอุตสาหกรรม.....	4
ตารางที่ 2 แสดงค่า Vapor Permeance ของวัสดุอาคารและฟิล์ม (Building Materials and Films).....	19
ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งวัสดุตามค่า "Water Vapor Permeance เป็น 4 ระดับ	22
ตารางที่ 4 แสดงขนาดมาตรฐานคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก.....	27
ตารางที่ 5 แสดงข้อกำหนดความต้านแรงอัดต่ำสุดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 58-2533.....	29
ตารางที่ 6 แสดงข้อกำหนดปริมาณความชื้น ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม	29
ตารางที่ 7 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	32
ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, ค่าการนำความร้อน, ค่าการต้านทาน ความร้อน และความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน.....	40
ตารางที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของส่วนผสมคอนกรีตบล็อก	40
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบคุณสมบัติข้อดี - ข้อเสีย ของวัสดุชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้เป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM).....	45
ตารางที่ 11 Available media for TES	47
ตารางที่ 12 The physical properties of Robusta green coffee beans.....	62
ตารางที่ 13 องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่พบในกาแฟ (Patel et. Al, 2003).....	64
ตารางที่ 14 องค์ประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ (โลหะออกไซด์) ที่พบในกาแฟ (Patel et. Al, 2003)	65
ตารางที่ 15 แสดงสูตรอัตราส่วนผสมส่วนระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง	81
ตารางที่ 16 แสดงสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของปริมาณกาแฟและปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)	88
ตารางที่ 17 แสดงอัตราสูตรส่วนผสมในการทดลองขึ้นรูปทรงคอนกรีต.....	106

ตารางที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติเพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก.....	153
ตารางที่ 19 แสดงสูตรอัตราส่วนผสมส่วนระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง	155
ตารางที่ 20 แสดงการสรุปผลเปรียบเทียบการทดสอบจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะทั้ง 3 สูตร.....	157
ตารางที่ 21 แสดงการสรุปผลเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำของแต่ละสูตร	163
ตารางที่ 22 แสดงค่าต้านทานแรงอัดก่อนคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10x10x10 ซม.	165
ตารางที่ 23 แสดงขนาดมิติจากการชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3.....	167
ตารางที่ 24 แสดงพื้นที่หน้าตัดจากการชักตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3	168
ตารางที่ 25 แสดงค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3	168
ตารางที่ 26 แสดงผลการทดสอบการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกทดสอบสูตร C3	171
ตารางที่ 27 แสดงปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกประเภทไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533).....	172
ตารางที่ 28 แสดงค่าการหดตัวทางยาวของคอนกรีตบล็อกสูตร C3	172
ตารางที่ 29 แสดงค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3.....	173
ตารางที่ 30 แสดงคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3 เปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533).....	174
ตารางที่ 31 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ของคอนกรีตบล็อกสูตรC3.....	174
ตารางที่ 32 แสดงคุณสมบัติด้านความร้อนของคอนกรีตบล็อกสูตร C3.....	175
ตารางที่ 33 แสดงอัตราร้อยละการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด.....	178
ตารางที่ 34 แสดงอัตราร้อยละการดูดซึมความชื้นเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด.....	179
ตารางที่ 35 แสดงคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3 เปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533).....	242

ตารางที่ 36 แสดงราคาต้นทุนการผลิตวัสดุเปลี่ยนสถานะต่อ 1 กิโลกรัม	251
ตารางที่ 37 แสดงราคาต้นทุนต่อก้อนของการผลิตคอนกรีตบล็อกสูตร C3	252
ตารางที่ 38 แสดงราคาคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกจาก ท้องตลาด.....	252



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ลักษณะของ อิฐมวลเบา คอนกรีตบล็อก และอิฐมอญ	5
รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงความแตกต่างของ Sensible TES กับ Latent TES.....	6
รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะและความสามารถในการเก็บพลังงานของวัสดุแต่ละชนิด	7
รูปที่ 4 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365	13
รูปที่ 5 แสดงลักษณะวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคาร.....	14
รูปที่ 6 แสดงลักษณะความเสียหายที่เกิดจากน้ำซึมผ่านผนังเข้าในอาคาร.....	14
รูปที่ 7 ลักษณะของการดูดซึมน้ำผ่านผนังหรือพื้นอาคาร	15
รูปที่ 8 แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำบริเวณชั้นไม้ ของผนังที่ซ้อนทับกัน.....	15
รูปที่ 9 แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำของผนังที่ซ้อนทับกัน.....	16
รูปที่ 10 แสดงลักษณะของผนังที่ไม่ได้มีการใช้วัสดุอุดปิดอย่างเหมาะสม	16
รูปที่ 11 ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะการแพร่ของไอน้ำซึ่งแพร่จากบริเวณที่ความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure).....	17
รูปที่ 12 แสดงลักษณะของค่า Water Vapor Permeability.....	18
รูปที่ 13 แสดงลักษณะของค่า The Resistance to Water Vapor Diffusion Factor (μ -value)	19
รูปที่ 14 แสดงลักษณะของค่า Thermal Conductivity ที่เปลี่ยนไปตามปริมาณความชื้น ในวัสดุ	24
รูปที่ 15 แสดงลักษณะการแพร่ของไอน้ำที่ผนังภายนอกเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์.....	24
รูปที่ 16 แสดงลักษณะของคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก.....	26
รูปที่ 17 แสดงลักษณะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	30
รูปที่ 18 แสดงลักษณะของทรายหยาบ	34
รูปที่ 19 แสดงลักษณะของหินฝุ่น	34

รูปที่ 20	แสดงลักษณะของการนำความร้อนผ่านผนังราบ	38
รูปที่ 21	แสดงลักษณะของเครื่อง HFM 436/3 Lambda ที่ใช้หลักการแบบ Heat Flow Meter ..	42
รูปที่ 22	ประเภทของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM).....	43
รูปที่ 23	แสดงลักษณะของ Paraffin Wax เป็น Wax ที่สกัดจากปิโตรเคมี.....	48
รูปที่ 24	แสดงลักษณะของ Wax จากไขถั่วเหลือง Soy Wax ได้จากการสกัดน้ำมันถั่วเหลือง	49
รูปที่ 25	แสดงลักษณะของ Wax จากรังผึ้ง (Bee Wax)	49
รูปที่ 26	แสดงลักษณะของ Wax จากต้นปาล์ม (Palm Wax).....	49
รูปที่ 27	แสดงลักษณะของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว.....	51
รูปที่ 28	แสดงลักษณะมัดท่อลำเลียงของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว	52
รูปที่ 29	แสดงลักษณะของพืชใบเลี้ยงคู่.....	52
รูปที่ 30	แสดงลักษณะมัดท่อลำเลียงของพืชใบเลี้ยงคู่.....	54
รูปที่ 31	ลักษณะของเมล็ดกาแฟ	54
รูปที่ 32	ลักษณะของเมล็ดกาแฟคั่ว (Coffee Bean).....	55
รูปที่ 33	ลักษณะของเชอร์รี่กาแฟ (Coffee Cherry).....	55
รูปที่ 34	ลักษณะส่วนประกอบของเปลือกเมล็ดกาแฟ ส่วนที่ 1-3.....	56
รูปที่ 35	แสดงลักษณะส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ ส่วนที่ 3-5.....	56
รูปที่ 36	แสดงลักษณะส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ ส่วนที่ 6-12	57
รูปที่ 37	แสดงลักษณะของการลอกเปลือก (Pulping).....	58
รูปที่ 38	แสดงลักษณะโครงสร้างของเพคติน.....	59
รูปที่ 39	ลักษณะของกระดาษกาแฟ (Parchment).....	59
รูปที่ 40	แสดงลักษณะของโครงสร้างชั้นของเมล็ดกาแฟ	60
รูปที่ 41	องค์ประกอบของเมล็ดข้าว (Rice Paddy Composition)	62
รูปที่ 42	ลักษณะของแถบกำลังขยาย 1x1 เท่า.....	63
รูปที่ 43	ลักษณะรูปทรงของพื้นผิวแถบกำลังขยาย 30 เท่า.....	63

รูปที่ 44	แสดงลักษณะของพื้นผิวของแกลปที่มีความพรุน.....	64
รูปที่ 45	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	78
รูปที่ 46	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ต่อ).....	79
รูปที่ 47	แสดงภาพขณะกระทะเพื่อหลอมเหลววัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)	82
รูปที่ 48	แสดงวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์ม	82
รูปที่ 49	แสดงวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากถั่วเหลือง.....	82
รูปที่ 50	แสดงผงตะไบเหล็ก (Iron Powder).....	83
รูปที่ 51	แสดงการชั่งน้ำหนักภาชนะกระทะบนเครื่องชั่งดิจิทัล	83
รูปที่ 52	แสดงการชั่งน้ำหนักวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM).....	83
รูปที่ 53	แสดงส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)และผงตะไบเหล็ก (Iron Powder).....	84
รูปที่ 54	แสดงการหลอมเหลวส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และผงตะไบเหล็ก (Iron Powder).....	84
รูปที่ 55	แสดงส่วนผสมที่หลอมเหลวแล้วเสร็จ.....	84
รูปที่ 56	แสดงการปล่อยให้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เซ็ตตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	85
รูปที่ 57	แสดงลักษณะวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) หลังจากเซ็ตตัว.....	85
รูปที่ 58	แสดงการเตรียมทดสอบจุดหลอมเหลววัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM).....	85
รูปที่ 59	แสดงการบรรจุวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในภาชนะทดสอบจุดหลอมเหลว (PAN)	86
รูปที่ 60	แสดงลักษณะภาชนะทดสอบจุดหลอมเหลว (PAN).....	86
รูปที่ 61	แสดงการนำภาชนะทดสอบ (PAN) ที่บรรจุวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เข้าเครื่องทดสอบ DSC	86
รูปที่ 62	แสดงการเดินเครื่องทดสอบ DSC.....	87
รูปที่ 63	แสดงลักษณะผลทดสอบจากเครื่องทดสอบ DSC.....	87
รูปที่ 64	แสดงลักษณะของแกลป.....	88
รูปที่ 65	แสดงลักษณะของเปลือกกะลาเผา	89

รูปที่ 66	แสดงการซังวัสดุธรรมชาติ (แกลบและเปลือกกะลาเผา).....	89
รูปที่ 67	แสดงการซังวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์ม.....	89
รูปที่ 68	แสดงการซังวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากถั่วเหลือง	90
รูปที่ 69	แสดงการซังผงตะไบเหล็ก (Iron Powder)	90
รูปที่ 70	แสดงเครื่องผสม (Mixing) ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้	90
รูปที่ 71	แสดงการนำส่วนผสมเข้าเครื่องผสม (Mixing).....	91
รูปที่ 72	แสดงการหลอมเหลวส่วนผสมของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในเครื่องผสม (Mixing).....	91
รูปที่ 73	แสดงการนำวัสดุธรรมชาติ (แกลบและเปลือกกะลาเผา) คลุกเคล้าในเครื่องผสม (Mixing)	91
รูปที่ 74	แสดงการ Coating วัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในเครื่องผสม (Mixing).....	92
รูปที่ 75	แสดงลักษณะแกลบที่เซ็ดตัวแล้วหลังจากเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)	92
รูปที่ 76	แสดงลักษณะเปลือกกะลาเผาที่เซ็ดตัวแล้วหลังจากเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM).....	92
รูปที่ 77	แสดงการซังตวงน้ำยางพาราเพื่อนำไปเคลือบ Coating วัสดุธรรมชาติ.....	94
รูปที่ 78	แสดงการใส่น้ำยางพาราในเครื่องผสม (Mixing).....	94
รูปที่ 79	แสดงการใช้ไม้พายในการช่วยพลิกวัสดุธรรมชาติในเครื่องผสม (Mixing).....	94
รูปที่ 80	แสดงลักษณะแกลบหลังจากการเคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพารา.....	95
รูปที่ 81	แสดงลักษณะเปลือกกะลาเผาหลังจากการเคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพารา	95
รูปที่ 82	แสดงลักษณะการเทวัสดุธรรมชาติหลังจากการเคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพารา	95
รูปที่ 83	แสดงลักษณะวัสดุธรรมชาติหลังจากการเคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพารา.....	96
รูปที่ 84	แสดงการซังน้ำหนักแกลบที่เคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพาราบรรจุถุงโป่ง.....	96
รูปที่ 85	แสดงการซังน้ำหนักเปลือกกะลาเผาที่เคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพาราบรรจุ ถุงโป่ง.....	97
รูปที่ 86	แสดงการนำวัสดุธรรมชาติที่บรรจุในถุงโป่งใส่ในภาชนะกะละมัง	97
รูปที่ 87	แสดงการนำก้อนอิฐมาทับถุงโป่งเพื่อให้แน่นได้ทุกส่วน.....	97

รูปที่ 88	แสดงการเติมน้ำในภาชนะเพื่อแช่วัสดุวัสดุธรรมชาติ 24 ชั่วโมง	98
รูปที่ 89	แสดงลักษณะวัสดุวัสดุธรรมชาติหลังจากแช่น้ำ	98
รูปที่ 90	แสดงการชั่งน้ำหนักวัสดุธรรมชาติในถุงโปร่งทุก 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	98
รูปที่ 91	แสดงการเตรียมวัสดุธรรมชาติที่คัดเลือกเพื่อนำไปเคลือบ Coating กับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และน้ำยาล้าง.....	99
รูปที่ 92	แสดงการชั่งวัสดุธรรมชาติที่ถูกคัดเลือก	99
รูปที่ 93	แสดงการชั่งวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์มตามสูตรที่ผ่านการทดสอบ	100
รูปที่ 94	แสดงการชั่งวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากถั่วเหลืองตามสูตรที่ผ่านการทดสอบ	100
รูปที่ 95	แสดงการชั่งผงตะไบเหล็ก (Iron Powder) ตามสูตรที่ผ่านการทดสอบ	100
รูปที่ 96	แสดงการหลอมเหลวส่วนผสมต่างๆในเครื่องผสม (Mixing).....	101
รูปที่ 97	แสดงการเคลือบ Coating วัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในเครื่องผสม (Mixing)	101
รูปที่ 98	แสดงการนำวัสดุธรรมชาติมาผึ่งลมให้เซ็ดตัว.....	101
รูปที่ 99	แสดงการชั่งน้ำหนักน้ำยาล้างเพื่อเตรียมเคลือบ Coating วัสดุธรรมชาติ	102
รูปที่ 100	แสดงการเติมน้ำยาล้างในเครื่องผสม (Mixing) ที่มีวัสดุธรรมชาติอยู่ภายใน	102
รูปที่ 101	แสดงลักษณะการเดินเครื่องผสม (Mixing).....	102
รูปที่ 102	แสดงการนำวัสดุธรรมชาติมาผึ่งหลังบนแผ่นมุ้งลวดนำออกจากเครื่องผสม (Mixing) ...	103
รูปที่ 103	แสดงการเกลี่ยวัสดุธรรมชาติบนแผ่นมุ้งลวดให้ได้รับลมอย่างทั่วถึง	103
รูปที่ 104	แสดงการตากวัสดุธรรมชาติให้แห้งและเซ็ดตัว	103
รูปที่ 105	แสดงลักษณะวัสดุธรรมชาติหลังจากเซ็ดตัว	104
รูปที่ 106	แสดงการนำวัสดุธรรมชาติบรรจุถุงเพื่อป้องกันความชื้น.....	104
รูปที่ 107	แสดงลักษณะการจัดเก็บวัสดุธรรมชาติในร่มป้องกันความร้อนเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อก.....	104
รูปที่ 108	แสดงลักษณะแม่แบบคอนกรีตทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม.	108
รูปที่ 109	แสดงลักษณะของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	109

รูปที่ 110	แสดงลักษณะของหินฝุ่น.....	109
รูปที่ 111	แสดงลักษณะของทรายหยาบ.....	109
รูปที่ 112	แสดงลักษณะของวัสดุธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการ Encapsulation เรียบร้อยแล้ว....	110
รูปที่ 113	แสดงลักษณะการเตรียมส่วนผสมตามสูตรที่กำหนด	110
รูปที่ 114	แสดงลักษณะการคลุกส่วนผสมต่างๆตามสูตรให้เข้ากันก่อนใส่ในแม่พิมพ์.....	110
รูปที่ 115	แสดงลักษณะการคลุกส่วนผสมต่างๆกับน้ำให้เข้ากันเพื่อนำใส่แม่พิมพ์ที่เตรียมไว้.....	111
รูปที่ 116	แสดงการนำส่วนผสมที่ผสมเสร็จแล้วใส่ในแม่แบบคอนกรีตทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม.....	111
รูปที่ 117	แสดงการกระทุ้งให้แน่นและฉาบผิวก่อนคอนกรีตให้เรียบ.....	111
รูปที่ 118	แสดงลักษณะการนำก้อนคอนกรีตทดสอบพักไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้เซตตัว.....	112
รูปที่ 119	แสดงลักษณะของก้อนคอนกรีตทดสอบหลังถอดออกจากแม่พิมพ์.....	112
รูปที่ 120	แสดงการบ่มก้อนคอนกรีตทดสอบทั้ง 20 สูตร โดยการแช่น้ำ.....	113
รูปที่ 121	แสดงลักษณะการผึ่งลมก้อนคอนกรีตทดสอบที่ผ่านการบ่มน้ำ 3 วัน.....	113
รูปที่ 122	แสดงการนำคอนกรีตทดสอบซึ่งน้ำหนักก่อนทดสอบการดูดซึมน้ำ.....	114
รูปที่ 123	แสดงลักษณะการเตรียมคอนกรีตก่อนการทดสอบการดูดซึมน้ำ	114
รูปที่ 124	แสดงการนำคอนกรีตทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	115
รูปที่ 125	แสดงส่วนผสมต่างๆ ก่อนผสมให้เข้ากันสำหรับขึ้นรูปก้อนคอนกรีตทดสอบ.....	115
รูปที่ 126	แสดงการคลุกเคล้าส่วนผสมคอนกรีตให้เข้ากัน.....	115
รูปที่ 127	แสดงเตรียมแม่แบบคอนกรีตทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม.....	116
รูปที่ 128	แสดงการนำคอนกรีตที่ผสมแล้วใส่ในแม่พิมพ์.....	116
รูปที่ 129	ภาพที่ 3.84 แสดงการเตรียมคอนกรีตใส่ภาชนะกะละมัง	116
รูปที่ 130	แสดงการนำคอนกรีตทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 3 วัน	117
รูปที่ 131	แสดงการผึ่งคอนกรีตทดสอบ ก่อนนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัด	117
รูปที่ 132	แสดงลักษณะก้อนคอนกรีตที่จะนำไปทดสอบการต้านทานแรงอัด.....	117

รูปที่ 133	แสดงการเตรียมก้อนคอนกรีตเพื่อทดสอบการต้านทานแรงอัด	118
รูปที่ 134	แสดงการนำก้อนทดสอบเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก Compressive Strength	118
รูปที่ 135	แสดงการกดก้อนทดสอบด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก Compressive Strength จนกราฟ แสดงผลความต้านทานเริ่มลดลง	119
รูปที่ 136	แสดงการคำนวณผลการทดสอบด้วยโปรแกรมของเครื่องอัดไฮดรอลิก Compressive Strength	119
รูปที่ 137	การเตรียมส่วนผสมเพื่อขึ้นก้อนคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.....	120
รูปที่ 138	การเตรียมส่วนผสมเพื่อขึ้นก้อนคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.....	120
รูปที่ 139	แสดงการเดินเครื่องผสมเพื่อคลุกเคล้าส่วนผสมที่เตรียมไว้ให้เข้ากัน	121
รูปที่ 140	แสดงการลำเลียงส่วนผสมขึ้นสายพานเพื่อเตรียมเข้าเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก	121
รูปที่ 141	แสดงการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกจากแม่พิมพ์เหล็กขนาด 70 x 190 x 390 มม.....	122
รูปที่ 142	แสดงการนำคอนกรีตบล็อกออกจากแม่พิมพ์นำไปผึ่งลม.....	122
รูปที่ 143	แสดงการนำคอนกรีตบล็อกไปบ่มขึ้น 3 วันและหุ้มคอนกรีตบล็อก	122
รูปที่ 144	แสดงหลังจากการบ่มขึ้นนำไปผึ่งลม 28 วัน	123
รูปที่ 145	แสดงลักษณะก้อนคอนกรีตบล็อกจริงเพื่อนำไปทดสอบในงานวิจัยขั้นต่อไป	123
รูปที่ 146	แสดงการวัดขนาดความกว้างและความยาวของก้อนคอนกรีตบล็อก.....	124
รูปที่ 147	แสดงการวัดขนาดหนาของก้อนคอนกรีตบล็อก	124
รูปที่ 148	แสดงการวัดขนาดหนาของเปลือกก้อนคอนกรีตบล็อก.....	125
รูปที่ 149	แสดงการชั่งน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อก.....	125
รูปที่ 150	แสดงการนำคอนกรีตบล็อกเข้าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด	125
รูปที่ 151	แสดงการเริ่มเดินเครื่องกดก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อก	126
รูปที่ 152	แสดงการกดก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อก	126
รูปที่ 153	แสดงลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่แตกร้าวหลังจากกดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก Compressive Strength.....	126
รูปที่ 154	แสดงการคำนวณผลทดสอบการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก	127

รูปที่ 155	แสดงการนำคอนกรีตบล็อกเข้าตู้อบความร้อน 24 ชั่วโมง.....	127
รูปที่ 156	แสดงการตั้งเวลาอบความร้อนคอนกรีตบล็อก 24 ชั่วโมง	127
รูปที่ 157	แสดงการนำคอนกรีตบล็อกออกจากตู้อบนำมาพักไว้ให้เย็น.....	128
รูปที่ 158	แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกก่อนนำไปแช่น้ำเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ.....	128
รูปที่ 159	แสดงลักษณะก่อนคอนกรีตบล็อกหลังแช่น้ำครบ 24 ชั่วโมง	128
รูปที่ 160	แสดงการนำคอนกรีตขึ้นจากน้ำนำมาพักไว้.....	129
รูปที่ 161	แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก	129
รูปที่ 162	แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกหลังจากแช่น้ำเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนแช่น้ำ	129
รูปที่ 163	แสดงการชั่งตวงส่วนผสมตามสูตรที่ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกจริงเพื่อส่งทดสอบ	130
รูปที่ 164	แสดงการเตรียมแม่พิมพ์ก่อนทดสอบขนาด 30 x 30 x 1.5 ซม.....	130
รูปที่ 165	แสดงการชั่งตวงส่วนผสมตามสูตรที่ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกจริง	131
รูปที่ 166	แสดงการคลุกเคล้าส่วนผสมตามสูตรให้เข้ากัน.....	131
รูปที่ 167	แสดงการเทส่วนผสมเข้าแม่พิมพ์และกระทุ้งให้แน่น.....	131
รูปที่ 168	แสดงลักษณะการบ่มขึ้น 7 วันและนำไปผึ่งลม 28 วัน	132
รูปที่ 169	แสดงลักษณะก่อนคอนกรีตทดสอบเพื่อส่งทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อน (k value).....	132
รูปที่ 170	แสดงการแบ่งเส้นชั้นคอนกรีตมีความห่างชั้นละ 1 ซม.	133
รูปที่ 171	แสดงการแบ่งชั้นคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด.....	133
รูปที่ 172	แสดงภาชนะในการทดสอบการดูดซึมน้ำขึ้น.....	133
รูปที่ 173	แสดงการนำคอนกรีตบล็อกตั้งขึ้นแช่น้ำลึก 2 ซม.....	134
รูปที่ 174	แสดงเครื่องทดสอบความชื้น Moisture Meter รุ่น MM05-2 ยี่ห้อ Richmoto.....	134
รูปที่ 175	แสดงลักษณะการวัดค่าความชื้นทุก ๆ 1 ชั่วโมงที่ผิวคอนกรีตบล็อกตลอด 24 ชั่วโมง..	134
รูปที่ 176	แสดงแบบกล่องทดสอบและวัสดุในการทำกล่องทดสอบ.....	135

รูปที่ 177	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (Data logger)	135
รูปที่ 178	แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดสอบ.....	136
รูปที่ 179	แสดงการก่อคอนกรีตบล็อกของกล่องทดสอบ	136
รูปที่ 180	แสดงการฉาบคอนกรีตบล็อกหน้ากล่องทดสอบ.....	137
รูปที่ 181	แสดงลักษณะของกล่องทดสอบที่สร้างแล้วเสร็จ 1.....	137
รูปที่ 182	แสดงด้านหลังของกล่องทดสอบที่สร้างแล้วเสร็จ 2.....	138
รูปที่ 183	แสดงการติดตั้งระบบฉีดน้ำแบบ Spray จำนวน 5 จุด.....	138
รูปที่ 184	แสดงการติดตั้งระบบตั้งเวลาเปิด-ปิดน้ำ	139
รูปที่ 185	แสดงกล่องทดสอบที่แล้วเสร็จ	139
รูปที่ 186	แสดงการทดสอบระบบฉีดน้ำหน้ากล่องทดสอบ	139
รูปที่ 187	แสดงเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365.....	140
รูปที่ 188	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น	140
รูปที่ 189	แสดงการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นแล้วเสร็จ.....	140
รูปที่ 190	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายนอกกล่องทดสอบ ...	141
รูปที่ 191	แสดงการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายนอกกล่องทดสอบแล้วรูปที่ 192 เสร็จ.....	141
รูปที่ 193	แสดงการเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	142
รูปที่ 194	แสดงการใช้โปรแกรมจาก (Data logger) และ Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล	142
รูปที่ 195	แสดงลักษณะของแกลบ.....	153
รูปที่ 196	แสดงลักษณะของเปลือกกะลาเผา	154
รูปที่ 197	แสดงผลการทดสอบจุดหลอมเหลวสูตรที่ 1	156
รูปที่ 198	แสดงผลการทดสอบจุดหลอมเหลวสูตรที่ 2	156
รูปที่ 199	แสดงผลการทดสอบจุดหลอมเหลวสูตรที่ 3.....	157

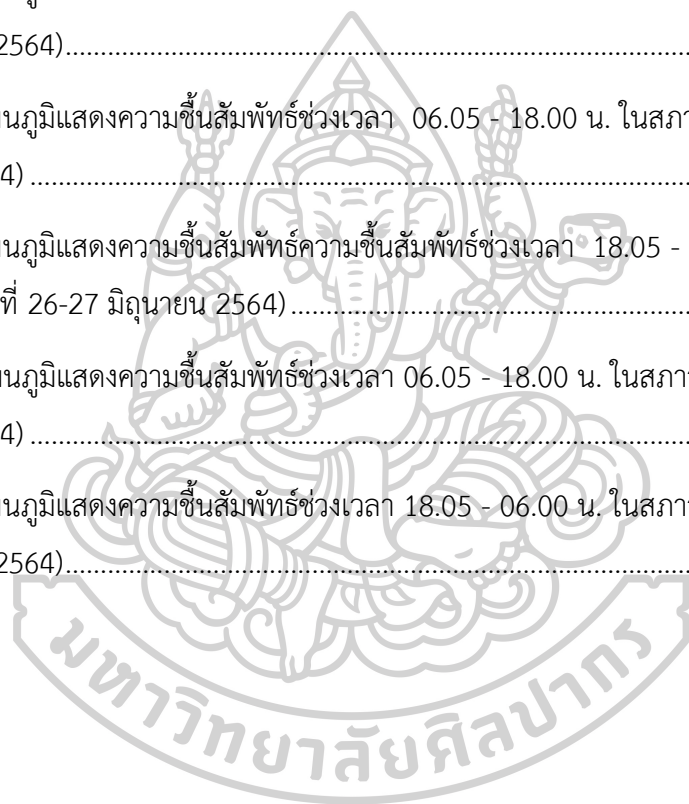
รูปที่ 200 แสดงลักษณะวัสดุเปลี่ยนสถานะสูตรที่ 3.....	158
รูปที่ 201 แสดงการนำวัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตรหลังผ่านกระบวนการ Coating Mixing มาทดสอบการดูดซึมน้ำ	159
รูปที่ 202 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำหลังจากผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM).....	160
รูปที่ 203 แสดงก่อนทดสอบคอนกรีตบล็อก 20 สูตร.....	161
รูปที่ 204 แสดงการนำก่อนทดสอบคอนกรีตบล็อกทดสอบการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง	161
รูปที่ 205 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตทดสอบ 24 ชั่วโมง	162
รูปที่ 206 แสดงสรุปผลเปรียบเทียบการปริมาณการดูดซึมน้ำของแต่ละสูตร.....	164
รูปที่ 207 แผนภูมิแสดงค่าความต้านทานแรงอัดก่อนทดสอบส่วนผสมคอนกรีตบล็อก สูตรต่าง ๆ	165
รูปที่ 208 แสดงคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม. ที่ผลิตได้.....	166
รูปที่ 209 แสดงพื้นที่หน้าตัดสุทธิคอนกรีตบล็อกกลวง.....	167
รูปที่ 210 แสดงพื้นที่หน้าตัดรวมคอนกรีตบล็อกกลวง	168
รูปที่ 211 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3 ทั้ง 5 ก้อน	169
รูปที่ 212 แผนภูมิ แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาตรคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3 ทั้ง 5 ก้อน	169
รูปที่ 213 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3 ทั้ง 5 ก้อน	170
รูปที่ 214 แสดงค่าการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกทดสอบสูตร C3	171
รูปที่ 215 แผนภูมิแสดงค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3.....	173
รูปที่ 216 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 กับค่ามาตรฐานกระทรวงพลังงานและCIBSE Guide A : 2015.....	175
รูปที่ 217 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก 3 ชนิด	177
รูปที่ 218 แผนภูมิแสดงอัตราการย่อยละการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด.....	178

รูปที่ 219	แผนภูมิแสดงอัตราร้อยละของการดูซึมความชื้นเฉลี่ยในคอนกรีตบล็อก แต่ละชนิด ..	179
รูปที่ 220	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิสูงสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-23 มิถุนายน 2564)	180
รูปที่ 221	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิต่ำสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-23 มิถุนายน 2564)	181
รูปที่ 222	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)	182
รูปที่ 223	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. กลางวัน (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)	183
รูปที่ 224	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ ช่วงเวลา 18.00 - 06.00 น. กลางคืน (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)	184
รูปที่ 225	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)...	185
รูปที่ 226	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 21 มิถุนายน 2564).....	186
รูปที่ 227	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-22 มิถุนายน 2564).....	187
รูปที่ 228	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 22 มิถุนายน 2564).....	187
รูปที่ 229	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 22-23 มิถุนายน 2564).....	188
รูปที่ 230	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 23 มิถุนายน 2564).....	188
รูปที่ 231	อุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 23 - 24 มิถุนายน 2564)..	189
รูปที่ 232	แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564).....	190
รูปที่ 233	แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564).....	191

รูปที่ 234 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์เฉลี่ยของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564).....	192
รูปที่ 235 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ ช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ช่วงกลางวัน (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564).....	193
รูปที่ 236 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ ช่วงเวลา 18.00 - 06.00 น. ช่วงกลางคืน (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564).....	194
รูปที่ 237 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์ช่วงเวลา 3 วัน ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 21-24 มิถุนายน 2564).....	195
รูปที่ 238 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 21 มิถุนายน 2564)	196
รูปที่ 239 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 21-22 มิถุนายน 2564).....	197
รูปที่ 240 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 22 มิถุนายน 2564)	197
รูปที่ 241 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 22-23 มิถุนายน 2564).....	198
รูปที่ 242 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 23 มิถุนายน 2564)	198
รูปที่ 243 แผนภูมิแสดงความชันสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 23-24 มิถุนายน 2564).....	199
รูปที่ 244 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิสูงสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	200
รูปที่ 245 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิต่ำสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	201
รูปที่ 246 แผนภูมิที่แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	202

รูปที่ 247 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. กลางวัน (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	203
รูปที่ 248 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. กลางวัน (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	204
รูปที่ 249 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	205
รูปที่ 250 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.00-18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25 มิถุนายน 2564).....	206
รูปที่ 251 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-26 มิถุนายน 2564)	207
รูปที่ 252 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 26 มิถุนายน 2564)	207
รูปที่ 253 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 26-27 มิถุนายน 2564).....	208
รูปที่ 254 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 27 มิถุนายน 2564)	208
รูปที่ 255 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 27-28 มิถุนายน 2564)	209
รูปที่ 256 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	209
รูปที่ 257 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	210
รูปที่ 258 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564).....	211
รูปที่ 259 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น ช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ช่วงกลางวัน (วันที่ 25 -28 มิถุนายน 2564).....	213

รูปที่ 260 แผนภูมิแสดงการขึ้นสัมพันธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น ช่วงเวลา 18.00 - 06.00 น. ช่วงกลางคืน (วันที่ 25 -28 มิถุนายน 2564)	214
รูปที่ 261 แผนภูมิแสดงการขึ้นสัมพันธ์ช่วงเวลา 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (ช่วงวันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)	215
รูปที่ 262 แผนภูมิแสดงการขึ้นสัมพันธ์ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25 มิถุนายน 2564)	216
รูปที่ 263 แผนภูมิแสดงการขึ้นสัมพันธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-26 มิถุนายน 2564).....	217
รูปที่ 264 แผนภูมิแสดงการขึ้นสัมพันธ์ช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 26 มิถุนายน 2564)	218
รูปที่ 265 แผนภูมิแสดงการขึ้นสัมพันธ์การขึ้นสัมพันธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 26-27 มิถุนายน 2564).....	218
รูปที่ 266 แผนภูมิแสดงการขึ้นสัมพันธ์ช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 27 มิถุนายน 2564)	219
รูปที่ 267 แผนภูมิแสดงการขึ้นสัมพันธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 27-28 มิถุนายน 2564).....	220



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical rainy climates) คือ มีฝนตกชุกตลอดทั้งปี จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความชื้นในอากาศสูง ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งปี อยู่ที่ 72-74% (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป. : 49-63) ซึ่งความชื้นที่เกิดขึ้นมีผลต่ออาคาร ปรีชญา (ปรีชญา มัทธนะทวิ และ ทยากร จารุชัยมนตรี, 2559) ได้กล่าวว่า วิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธีคือ (1) Liquid Flow ความชื้นในสถานะของเหลวที่เข้ามาในอาคาร เช่น น้ำฝนที่มาจากรางระบายน้ำฝนที่อุดตันและไหลล้นเข้ามาในอาคาร การเดินท่อน้ำในผนังและเกิดปัญหาท่อชำรุดทำให้น้ำซึมผ่านผนังเข้าในอาคาร ตลอดจนสถานะน้ำท่วม เป็นต้น (2) Capillary Suction เช่น การดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนเล็ก ๆ ที่อยู่ในวัสดุที่ใช้ทำเป็นผนังหรือพื้นอาคารส่วนที่สัมผัสกับดินที่ชุ่มน้ำ ที่เรียกว่า “Rising Damp” และการดูดซึมน้ำบริเวณขึ้นไม้ ของผนังที่ซ้อนทับกัน เป็นต้น (3) Air movement เช่น อากาศที่รั่วซึมผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนของผนังที่ไม่ได้มีการใช้วัสดุอุดปิดอย่างเหมาะสม ช่องเจาะที่บริเวณผนัง เช่น ปลั๊กไฟ และ รอยต่อระหว่างผนังกับวัสดุผนังหลังคา (4) Vapor Diffusion การแพร่ของความชื้นที่ผ่านวัสดุรอบอาคาร โดยการแพร่ของไอน้ำซึ่งแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure) โดยในอากาศที่มีความชื้นจะมีความดันไอน้ำที่มากกว่าอากาศที่แห้ง การแพร่ผ่านของไอน้ำที่ผ่านวัสดุจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่านอกจากนี้การแพร่มิติทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

Hygroscopic material หมายถึง สารที่ดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ดี เช่น ซิลิกาเจลโพรพิลีนไกลคอล น้ำตาล นมผง เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.) การสะสมความชื้นในวัสดุ Moisture Storage โดยวัสดุที่เป็น Hygroscopic Material จะมีความสามารถดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในอากาศได้ โดยวัสดุจะดูดซับความชื้นจนเกิดสมดุลความชื้น (Moisture Equilibrium) ซึ่งขึ้นกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในขณะนั้น โดยปริมาณความชื้นในวัสดุ (Moisture Content) จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น การเกิดความชื้นในวัสดุ (Moisture region) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง (ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล, 2552: 49-63) คือ

1. Sorption Moisture (or Hygroscopic) Region ช่วงนี้จะเริ่มต้นตั้งแต่สถานะที่แห้ง (Dry State) ไปจนถึงสถานะสมดุลของความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 95%

2. Capillary Water Region ช่วงนี้จะต่อเนื่องจากช่วงท้ายของ Sorption Region ไปจนถึงการอิ่มตัวของน้ำ (Free Water Saturate) ในช่วงนี้รูพรุนของวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะถูกเติมเต็มด้วยน้ำจนถึงจุดอิ่มตัว

3. Super Saturated Region ช่วงนี้จะต่อเนื่องจากช่วงอิ่มตัวของน้ำ ไปจนถึงช่องว่างภายในวัสดุทั้งหมดเต็มไปด้วยน้ำ ในช่วงนี้ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเท่ากับ 100% เสมอ (ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล , 2552)

จากการศึกษา เรื่อง ความชื้นในวัสดุที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่าความชื้นในวัสดุที่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากน้ำที่อยู่ในวัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงกว่าอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างของวัสดุ เนื่องมาจากการแพร่ของไอน้ำที่ผนังภายนอกเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ผนังภายนอกที่มีวัสดุชั้นนอกสุดเป็นวัสดุที่มีรูพรุน เช่น อิฐ เมื่อถูกฝนวัสดุจะดูดซับน้ำไว้ภายใน หลังจากนั้นถ้าผนังส่วนนี้ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ น้ำที่ดูดซับไว้ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำจากวัสดุผนังส่วนนี้ไปยังบริเวณที่ติดกัน ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ต่ำกว่า

วัสดุที่เป็น Hygroscopic Material ที่อยู่ภายในอาคารสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศและคายความชื้นออกสู่อากาศที่อยู่แวดล้อมวัสดุนั้นได้ โดยการดูดซับและการคายความชื้นนี้มีผลให้เกิดการหน่วงความชื้นของอากาศภายในห้อง ทำให้ความชื้นภายในอาคารไม่แตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลามีการอธิบายพฤติกรรมการหน่วงความชื้นของวัสดุ (Moisture Buffering of Material) ไว้ดังนี้ เมื่ออุณหภูมิของอากาศภายในห้องสูงขึ้น (ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง) อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ไอน้ำจากในวัสดุจะแพร่ออกมาสู่ภายในห้อง ในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิภายในห้องต่ำลง (ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น) ไอน้ำภายในอากาศจะถูกดูดซับเข้าไปในวัสดุ จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องมีค่าค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ในขณะที่วัสดุคายไอน้ำออกมานั้น จะเกิดการดึงเอาความร้อนแฝงที่อยู่ในอากาศ และเมื่อวัสดุดูดซับความชื้นจะมีการปล่อยความร้อนออกสู่อากาศภายในห้อง ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิในห้องมีค่าที่ค่อนข้างคงที่กว่าการที่ไม่มีวัสดุที่เป็น Hygroscopic Material อยู่ภายในห้อง ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสามารถในการหน่วงความชื้นของวัสดุคือ ค่าการดูดซับ (Sorption) ความชื้นของวัสดุ และ ค่า Vapor Permeability ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ โดยทั่วไปจะไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นทำให้ภายในอาคารมีค่าการนำความร้อนที่สูงผ่านเข้ามาในอาคาร เกิดสภาวะไม่สบายต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากเพื่อลดความชื้นในระบบปรับอากาศ ความเสียหายที่เกิดจากความชื้นในผนังสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ (1) มีผลโดยตรงกับโครงสร้างอาคาร และ (2) มีผลต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่อาศัยในกรณีของอาคารนั้น เชื่อว่าเส้นสายที่เกาะอยู่ตามผนังบ้านและอาคารจะ

ปล่อยสารพิษ Mycotoxin เข้าไปทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และอิฐซึ่งเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตที่เราใช้ในการก่อผนังและจะละลายเอาเกลือโซเดียมในเตรทออกมา หากปล่อยให้ความชื้นไปถึงแกนกลาง เหล็กก็จะเกิดสนิมและผุกร่อนอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพนั้น อาจเคยได้ยินคำว่า “Sick Building Syndrome (SBS)” ซึ่งได้รับการกล่าวถึงกันมากในต่างประเทศ แปลเป็นภาษาไทยคือ “อาการตึกป่วย” หมายถึงอากาศที่ไม่บริสุทธิ์ภายในอาคารเกิดขึ้นจากอากาศที่สกปรกและการระบายอากาศที่ไม่ดีพอ หากเกิดเชื้อราภายในอาคาร ก็จะเกิดกลิ่นเหม็นอับ ผู้ที่อยู่อาศัยก็จะเริ่มเกิดอาการผิดปกติตั้งแต่ระดับเล็ก ๆ เช่น หายใจติดขัด คันตามผิวหนัง ไปจนถึงระดับรุนแรง เช่น ผู้ที่มีภาวะภูมิแพ้ก็อาจเกิดอาการหอบหืดเป็นต้น แต่อาการเหล่านี้ไม่ใช่เกิดขึ้นฉับพลัน แต่จะค่อย ๆ ก่อตัวขึ้น และหากความชื้นไม่เหมาะสมในอาคารจะทำให้ระบบหายใจอ่อนแอจนทำให้เสียชีวิต ในงานสถาปัตยกรรมผนังอาคารเป็นส่วนที่ป้องกันสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิ ความชื้น สภาพอากาศ การเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างผนังให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างสภาวะน่าสบายในที่พักอาศัยและควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร (Deepcleanexpert, ม.ป.ป.)

ช่วงของสภาวะสบาย (Comfort Zone) เป็นช่วงอากาศหนึ่ง ซึ่งคนส่วนมากรู้สึกพอใจ และยอมรับสภาพอากาศนั้นได้ โดยช่วงสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิระหว่าง 21–28 องศาเซลเซียส (ในเขตร้อนจะเป็นช่วง 24–30 องศาเซลเซียส) และมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 30–70 % จะเป็นช่วงของสภาวะสบาย (กิจชัย จิตจรรยาวิช, 2544: 175-181)

ปัจจุบันการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยในประเทศไทยให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก เพราะสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายและวางแผนด้านการใช้พลังงานในอนาคตได้ จากการศึกษาข้อมูลด้านวัสดุก่อสร้างอาคารที่นิยมทั่วไปในท้องตลาด พบว่า คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างผนัง เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก คอนกรีตบล็อกยังมีข้อดีตรงที่สามารถทาสีหรือต่อเติมได้โดยไม่มีผลกับตัวโครงสร้าง (Yotsawat S, 2558)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533 ได้แบ่งคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก 2 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกกลวง (Hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) และ คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก (Hollow nonloadbearing concrete masonry unit)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533 ให้ความหมายของ คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก ไว้ดังนี้ คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก (Hollow nonloadbearing concrete masonry unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกกลวงใช้สำหรับผนังที่ออกแบบโดยไม่รับน้ำหนักบรรทุก นอกจากน้ำหนักตัวเอง คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก

ตามมาตรฐานนี้ แบ่งตามความหนาแน่นเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น และประเภทที่ 2 คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น จากการศึกษามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533

ตารางที่ 1 แสดงข้อกำหนดปริมาณความชื้น ของมาตรฐานอุตสาหกรรม

การหดตัวทางยาว (ร้อยละ)	ความชื้นสูงสุดร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	น้อยกว่า 50	50 - 75	มากกว่า 75
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.03	35	40	45
มากกว่า 0.03 - 0.045	30	35	40
ใกว่า 0.045	25	30	35

หมายเหตุ 1) ทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม วิธีการทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (ในกรณีที่ยังไม่ได้ประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าวให้เป็นไปตาม ASTM C 426)

2) อาศัยสถิติการประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด

ที่มา: “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533,”
ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 117, ตอนที่ 119 (10 กรกฎาคม 2533) : 10

คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักมีลักษณะเป็นก้อนคอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่าง ๆ จะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ มีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน มีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำแต่ยังด้อยกว่าอิฐมวลเบา โดยคอนกรีตบล็อก มีค่าการนำความร้อน 0.436-0.456 วัตต์ต่อเมตร- เคลวิน อิฐมอญมีค่าการนำความร้อน 1.1-1.2 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน และ อิฐมวลเบามีค่าการนำความร้อน 0.1-0.2 วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน (ทดสอบโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ) คอนกรีตบล็อกมีลักษณะเป็นรูกลวงมีช่องอากาศอยู่ภายในทำให้เกิดความเป็นฉนวนแต่เนื่องจากส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ หิน กรวดและน้ำเป็นตัวนำความร้อนและทำให้ คอนกรีตบล็อกมีน้ำหนักค่อนข้างมาก จึงมีการนำเทคโนโลยีมาพัฒนากรรมวิธีการผลิตเพื่อให้คอนกรีตบล็อกเบาลงมีค่าการนำความร้อนต่ำโดยใช้วัสดุมวลเบาที่มีการนำความร้อนต่ำทดแทนวัสดุมวลรวมเดิม แต่ยังมีข้อเสียในเรื่องความแข็งแรงที่ลดลงและกรรมวิธีการผลิตมีราคาสูง

ดังนั้นจึงมีการวิจัยอิฐบล็อกที่มีน้ำหนักเบา มีค่าการนำความร้อนต่ำ มีค่าความแข็งแรงได้มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลายชิ้นงานวิจัย มีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกโดยใช้วัสดุธรรมชาติที่มีน้ำหนักเบาเป็นส่วนผสมทดแทนวัสดุเดิม เช่น กากน้ำตาล ฟางข้าว ชังข้าวโพด แกลบ ชี้เถ้า และมีการศึกษาโดยนำเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติต่างๆที่มีเส้นใยเซลลูโลส เช่น เส้นใยผักตบชวา เส้นใยปาล์ม เส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยเปลือกมะพร้าวมาผสมในคอนกรีตบล็อก เพื่อพัฒนาคุณสมบัติให้ดีขึ้น (นิตยร์ตี ดอเลาะ, 2552: 48-62)

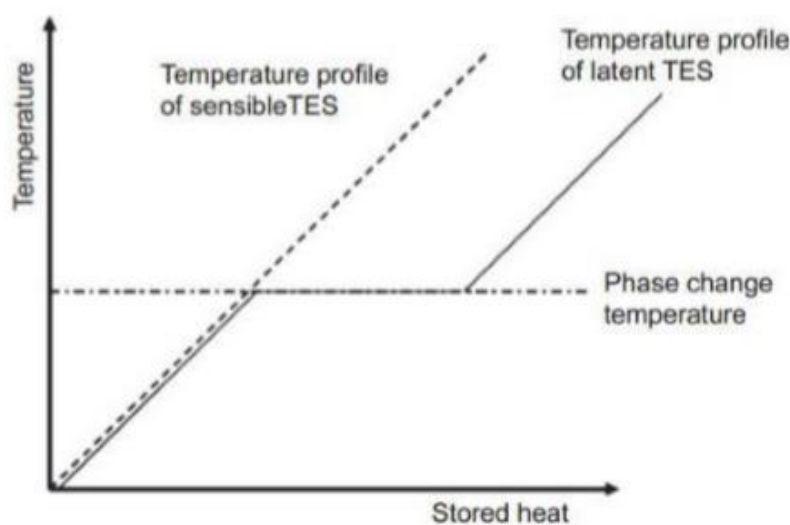


รูปที่ 1 ลักษณะของ อิฐมวลเบา คอนกรีตบล็อก และอิฐมอญ

จากการทบทวนเอกสารถึงขั้นตอนวิธีการผลิตคอนกรีตบล็อกซึ่งได้แยกประเด็นและสรุปความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่าง ๆ พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยเซลลูโลสก็คือการดูดซึมน้ำมากของเส้นใยเซลลูโลสทำให้วัสดุมีความชื้น (1, 2, 3) โดยน้ำจะถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในตัวคอนกรีตบล็อกและฟองอากาศที่อยู่ภายในบล็อกทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุจากการทดสอบการดูดซึม ความชื้นของคอนกรีตบล็อกมีอัตราการดูดซึมความชื้นเฉลี่ยที่ 17-19 เปอร์เซ็นต์ และผลจากห้องทดลองพบว่าถ้าคอนกรีตบล็อกดูดซึมความชื้นมากกว่า 20% จะทำให้ความร้อนผ่านผนังเป็น 2 เท่าเนื่องจากความชื้นทุก ๆ 5% จะส่งผลให้ความเป็นฉนวนลดลง 25% (NOAA national weather service: heat index) ซึ่งคอนกรีตบล็อกที่มีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีจะต้องมีอัตราดูดซึมความชื้นต่ำเมื่อความร้อนผ่านเข้าวัสดุนั้นจะสูญเสียพลังงานและอุณหภูมิจะลดลงเกิดสภาวะน่าสบายในอาคาร (สมชาย มณีวรรณ, สุริยงค์ ประชาเขียว และคณะ, 2550)

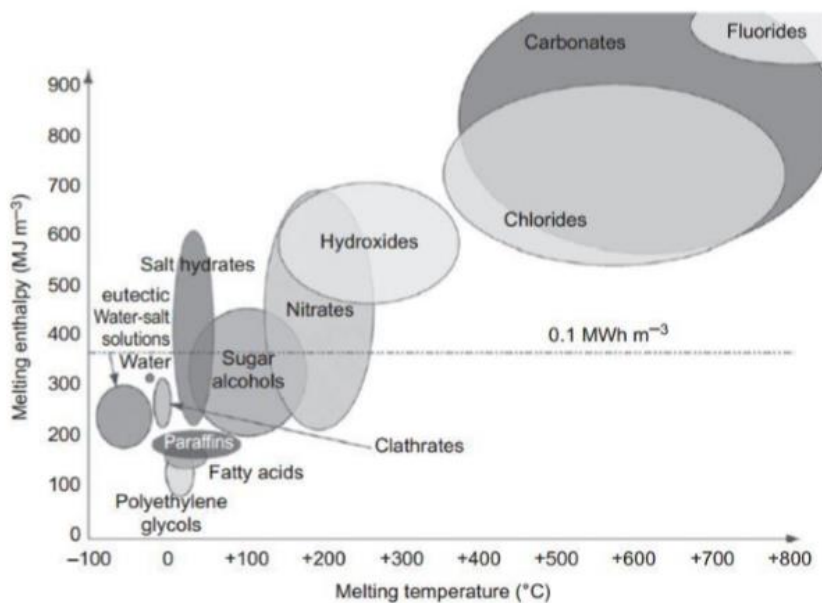
จากทฤษฎีการดูดซึมความชื้นการแพร่ผ่านของไอน้ำที่ผ่านวัสดุจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า นอกจากนี้การแพร่ยังมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอีกด้วย จากทฤษฎีการดูดซึมความชื้นพบว่าสิ่งที่ป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าไปในวัสดุคือการที่ต้องทำให้ความดันไอน้ำภายในวัสดุสูงกว่าความดันไอน้ำภายนอกหรือทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเพื่อป้องกันการแพร่ของความชื้นเข้าไปในวัสดุและลดรูปพุนภายในของวัสดุเพื่อลด Capillary Suction ของน้ำที่จะเข้าไปในเนื้อวัสดุด้วย

ปัจจุบันได้มีแนวความคิดการพัฒนาวัสดุประกอบอาคารที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารจากความร้อนที่มีผลต่ออาคารโดยการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (วัสดุเปลี่ยนสถานะ) เนื่องจากเป็นวัสดุสะสมพลังงานหรือวัสดุสะสมอุณหภูมิ (Thermal Energy Storage Material: TES) คือ วัสดุที่มีความสามารถในการเก็บพลังงานความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในวัสดุสูงขึ้นมีความหนาแน่นในเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น โดยมีการทำงาน 3 ขั้นตอนหลักคือ การเก็บพลังงาน (charging) การสะสมพลังงาน (storing) และการปล่อยพลังงาน (Discharging) โดยขั้นตอนทั้งหมดสามารถเกิดขึ้นแบบซ้ำ ๆ หลาย ๆ รอบตามแต่ลักษณะการนำ TES ไปประยุกต์ใช้ รูปแบบของ TES ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่สนใจ คือ การสะสมความร้อนแฝง (Latent Thermal storage) โดยทั่วไปเมื่อวัสดุรับพลังงานจนถึงจุดที่เปลี่ยนสถานะ เช่น จากของแข็งหลอมเหลวไปสู่ของเหลว ในช่วงที่เกิดการหลอมเหลว (Phase change) วัสดุนั้น ๆ จะมีความสามารถในการเก็บพลังงานความร้อนและความเย็นในปริมาณมากกว่าการเก็บพลังงานในช่วงที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะหลายเท่า โดยอุณหภูมิในขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะนั้นเรียกว่า “อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะ” (Phase-change temperature) โดยที่อุณหภูมินี้จะไม่เปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งแตกต่างจากการเก็บพลังงานความร้อนโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (Sensible thermal storage) (รูปที่ 2) สามารถเรียกวัสดุที่สะสมพลังงานโดยการเปลี่ยนสถานะว่า “วัสดุเปลี่ยนสถานะ” (Phase change material: วัสดุเปลี่ยนสถานะ) (Harald Mehling และ Luisa F. Cabeza, 2008) วัสดุเปลี่ยนสถานะ มีคุณสมบัติที่ต่างกันไปตามแต่ชนิดของวัสดุ (รูปที่ 3) ในปัจจุบันได้มีการนำคุณสมบัติในการสะสมพลังงานของ วัสดุเปลี่ยนสถานะ มาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรมหลายรูปแบบเพื่อควบคุมอุณหภูมิวัสดุให้ใกล้เคียงอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ เช่น วัสดุก่อสร้าง สิ่งทอ และเฟอร์นิเจอร์ต่าง



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงความแตกต่างของ Sensible TES กับ Latent TES

ที่มา: (Harald Mehling และ Luisa F. Cabeza, 2008)



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะและความสามารถในการเก็บพลังงานของวัสดุแต่ละชนิด

ที่มา: (Harald Mehling และ Luisa F. Cabeza, 2008)

ในการศึกษาวิจัยที่ใช้คุณสมบัติการสะสมพลังงานหรือสะสมอุณหภูมิ ประเภทวัสดุเปลี่ยนสถานะจะนำมาใช้ผสมเป็นส่วนประกอบของวัสดุอาคารเป็นส่วนมาก และมีรูปแบบการนำไปใช้เป็น 2 แนวทาง คือแนวทางที่ 1 จะนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (วัสดุเปลี่ยนสถานะ) มาผสมในวัสดุก่อสร้างอาคารในรูปแบบในลักษณะบรรจุใน Microcapsule จากงานวิจัยของ Schossing ได้มีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ มาผสมในวัสดุก่อสร้างอาคารได้ในรูปแบบในลักษณะบรรจุใน Microcapsule แนวทางที่ 2 คือการใช้ในรูปแบบที่ผสมเข้าไปเนื้อวัสดุโดยตรงเช่นงานวิจัยของ D. Snoeck และคณะ (D. Snoeck, B. Priem และคณะ, 2016: 225-239) ได้ศึกษาทดลองของการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะผสมในคอนกรีตซีเมนต์พอร์ตแลนด์โดยตรง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีตเพื่อเป็นวัสดุโครงสร้าง พบว่า การนำความร้อนของคอนกรีตจะลดลงและคุณสมบัติความเป็นฉนวนของคอนกรีตจะดีขึ้นให้คอนกรีตสูญเสียความแข็งแรงในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งผลที่ได้มีความต่างกันด้านคุณสมบัติทางกลวัสดุ ซึ่งมีงานวิจัยของ Ahmed Hassan และคณะ (Ahmed Hassan, Mohammad Shakeel Laghari และคณะ, 2016: 1046-1078) พบว่า วัสดุเปลี่ยนสถานะมีศักยภาพในการสร้างประสิทธิภาพด้านการสะสมความร้อนแฝงในวัสดุ อย่างไรก็ตามการรวมวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยตรงเข้ากับองค์ประกอบก่อสร้างจะทำลายประสิทธิภาพเชิงโครงสร้าง การใช้

Microencapsulation วัสดุเปลี่ยนสถานะในวัสดุก่อสร้างช่วยแก้ปัญหาคุณสมบัติเชิงกล การบ่มตัว และปัญหาการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ดีที่สุด

ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงการใสสารเปลี่ยนสถานะ (phase change material) หลายชนิดเพื่อเป็นส่วนประกอบของวัสดุอาคาร มีทั้งประเภท inorganic compound (เช่น salt-hydrate) หรือ ประเภท organic compound (เช่น paraffin waxes และ fatty acid) ซึ่งถูกระบุว่ามีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจาก salt-hydrate อาจมีการแยกตัวของเกลือหลังจากวัฏจักรการเปลี่ยนสถานะไประยะเวลาหนึ่ง ในทางตรงข้าม paraffin วัสดุเปลี่ยนสถานะ ได้ถูกนำมาพิจารณาและใช้ในงานวิจัยอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะในช่วงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ อีกทั้ง paraffin มีจุดหลอมเหลวที่ 50–70 °C เป็นสารในกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (alkane hydrocarbon) ซึ่งอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะขึ้นอยู่กับความยาวของ carbon chain ในโมเลกุล ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติในการควบคุมให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนสถานะที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภทได้ แต่เนื่องจาก paraffin เป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ได้มาจากกากส่วนที่เหลือจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตสูง ซึ่งมีผลต่อสภาพแวดล้อมในอนาคตได้ (ศุภย์ข่าวพลังงาน, 2564)

งานวิจัยนี้ได้สนใจวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ได้จากธรรมชาติไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ วัสดุเปลี่ยนสถานะที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน (Palm wax) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 70-80 °C เป็น วัสดุเปลี่ยนสถานะ ที่ได้จากพืช (Vegetables Wax) ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันปาล์ม แต่เนื่องจากอุณหภูมิจุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างสูงอาจจะไม่เปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยขณะนำไปใช้งาน ซึ่งจากทฤษฎีวัสดุเก็บความร้อนแฝง (Latent heat storage materials) หรือเรียกว่า วัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase change material, PCM) คือ ระบบเก็บความร้อนที่ใช้สารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบเก็บสะสมความร้อนสัมผัส ข้อดีของการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยในช่วงการบรรจุและถ่ายเทความร้อนและความจุความร้อนสูงกว่าวัสดุเก็บความร้อนสัมผัสแต่วัสดุเปลี่ยนสถานะส่วนใหญ่มีค่าการนำความร้อนต่ำทำให้อัตราการบรรจุและปล่อยความร้อนต่ำ (สมชาย เจริญจิตต์สวัสดิ์, 2558) การที่จะสามารถลดจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะได้นั้นต้องมีการผสมสารอื่น ๆ ลงไปเรียกว่าสารยูเทคติก (Eutectic) เช่น สารที่มีจุดหลอมเหลวน้อยกว่าหรือสารที่สามารถนำความร้อนได้ พบว่า วัสดุเปลี่ยนสถานะ ที่ได้จากไขถั่วเหลือง (Soybean wax) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 50-60 °C สามารถนำมาผสมกับ วัสดุเปลี่ยนสถานะ จากปาล์มน้ำมันได้เพื่อลดจุดหลอมเหลวให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานในภูมิอากาศของประเทศไทยได้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกผสมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะจากไขปาล์มน้ำมันและไขถั่วเหลือง เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร พบว่าการจะป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าไปในวัสดุคือการทำให้ความดันไอน้ำภายในวัสดุสูงกว่าความดันไอน้ำภายนอกหรือทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเพื่อป้องกันการแพร่ของความชื้นเข้าไปในวัสดุและลดรูพรุนภายในของวัสดุเพื่อลด Capillary Suction ของน้ำที่จะเข้าไปในเนื้อวัสดุ นอกจากนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภท paraffin เป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลดการดูดซึมความชื้น เนื่องจากมีสมรรถนะในการสะสมพลังงานหรือสะสมอุณหภูมิ (Thermal Energy Storage Material : TES) โดยการทำให้อุณหภูมิในวัสดุสูงขึ้นมีความหนาแน่นในเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความชื้นที่จะเข้ามาในเนื้อวัสดุและประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานในอาคาร แต่วัสดุเปลี่ยนสถานะประเภท Paraffin นั้นเป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จึงส่งผลโดยตรงต่อสภาวะโลกร้อน เพราะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ได้จากพืช (Vegetables Wax) มาเป็นสารทดแทน Paraffin เพื่อให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานเพื่อพัฒนาสู่ผลิตภัณฑ์ก่อสร้างสีเขียว (Green Buildings Materials) โดยมีสมมติฐานว่า การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันและไขถั่วเหลืองมาใช้เตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนผสมในคอนกรีตบล็อกโดยวิธี Encapsulation method จะสามารถลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติได้ โดยมีเกณฑ์พิจารณาการเลือกวัสดุธรรมชาติที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกคือวัสดุธรรมชาติที่ได้มาต้องมาจากแหล่งธรรมชาติ มีความทนทาน ต้นทุนในการขนส่งและการจัดการต่ำ สามารถลดปริมาณของเสียที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ มีการจัดการที่ปราศจากขั้นตอนเกี่ยวกับสารเคมี มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี มีคุณสมบัติด้านพลังงาน จากการศึกษาข้อมูลพบว่า วัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลากาแฟ มีคุณสมบัติเข้ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จึงนำวัสดุธรรมชาติทั้ง 2 ชนิดมาศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านองค์ประกอบและคุณสมบัติการดูดซึมความชื้น ก่อนคัดเลือกนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่สามารถลดความชื้นเพื่อให้ค่าการนำความร้อนเข้าสู่อาคารลดลง และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ใช้งาน และเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่ทำจากวัสดุธรรมชาติเพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ส่งผลต่อ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อก
3. ศึกษาความสัมพันธ์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล การนำความร้อน การดูดซับความชื้นของวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C518
4. ศึกษาความสัมพันธ์ของการเตรียมวัสดุธรรมชาติ และการขึ้นรูปที่ดีส่งผลทำให้ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำ

ขอบเขตการศึกษา

1. คอนกรีตบล็อกที่ทำการศึกษาคือชนิดไม่รับน้ำหนัก (Hollow non-load-bearing concrete masonry unit) ขนาด 70 x 190 x 390 มม. ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.58-2533)
2. ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกที่ได้จากงานวิจัยเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C518
3. ศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกที่ได้จากงานวิจัยเปรียบเทียบการดูดซึมความชื้นและความสามารถในการลดความร้อนเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่กำหนดตามห้องตลาด 2 ชนิด

ขั้นตอนการศึกษา

1. ช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
 - 1.1 ศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารที่ส่งผลทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุประกอบอาคารและผลกระทบที่เกิดขึ้น
 - 1.2 ศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่าง ๆ
 - 1.3 ศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก
 - 1.4 ศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในด้านสะสมพลังงานเพื่อป้องกันความชื้นในวัสดุ
 - 1.5 ศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาประยุกต์ใช้กับวัสดุธรรมชาติที่จะส่งผลให้ Moisture Content ในเนื้อวัสดุที่จะนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างอาคารลดลง

2. ช่วงเตรียมวัตถุดิบ

2.1 เตรียมวัตถุดิบโดยการนำวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา ผ่านกระบวนการเคลือบผิววัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing

2.2 กำหนดสูตรเพื่อทำการเคลือบ (Coating) วัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตรด้วยวัสดุ น้ำยางพาราอีกชั้นเพื่อสร้างความตึงผิวเคลือบผิววัสดุธรรมชาติ

2.3 นำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพตามอัตราส่วนสูตรต่าง ๆ มาทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาว่าสูตรใดดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซ้ำที่สุกและคายน้ำเร็วที่สุดก่อนนำไปสู่กระบวนการขั้นต่อไปก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

3. ช่วงทดลองหาส่วนผสม

3.1 คัดเลือกหาสูตรส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกที่มีการนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพแล้วไปทดแทนส่วนผสมซึ่งมี ปูนซีเมนต์ ทราย หิน เป็นส่วนประกอบหลัก

3.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) และพิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลอง งานวิจัยนี้ได้สูตรการทดลองมาจากทฤษฎีการออกแบบแบบเอ็กซ์ทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices) เป็นการออกแบบการทดลองแบบที่มีข้อจำกัดสัดส่วน (Design with constraints on proportion) โดยกำหนดสัดส่วนของวัสดุธรรมชาติออกเป็น 5 สูตรทดลอง คือ 10%, 20%, 30%, 40%, 50% และแบ่งส่วนผสมในการทดลองแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ขนาดทดลองของคอนกรีตบล็อก คือ 10x10x10 ซม.

3.3 คัดเลือกหาสูตรที่การดูดซึมน้ำน้อยที่สุด จำนวน 10 สูตร โดยการนำไปชั่งน้ำหนักก่อนและหลังนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง วัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง

3.4 นำสูตรที่ที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดนำไปขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10x10x10 ซม. สูตรละ 3 ก้อนรวมทั้งหมดเป็น 50 ก้อนนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดให้ได้ความแข็งแรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) เพื่อให้ได้สูตรที่มีความแข็งแรงในการนำไปขึ้นรูปทรงคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

4. ช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

4.1 ผลิตคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. โดยใช้เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกระบบกึ่งไฮดรอลิกแบบ 4 ก้อน

4.2 นำคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้จากสูตรงานวิจัยไปทำการทดสอบหาค่าต่างๆตามมาตรฐานที่กำหนด

5. ช่วงทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

5.1 ทดสอบหาค่าต้านทานแรงอัดและปริมาณความชื้นโดยการดูดกลืนน้ำและหดตัวทางยาวตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

5.2 ทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อนหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ตามมาตรฐาน ASTM C 518 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมาตรฐานของกระทรวงพลังงานและ CISB Guide A:2015

6. ช่วงทดสอบค่าดูดซึมความชื้น ความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสถานะต่างๆ

6.1 หลังจากได้คอนกรีตบล็อกกลวงขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. ที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุดแล้ว นำไปทดสอบค่าดูดซึมความชื้นเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอนกรีตบล็อกชนิดอื่น ๆ ที่จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ

6.2 การทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบความสามารถในการดูดซึมความชื้นในสถานะต่างๆ โดยทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองไว้เป็น 2 กรณีศึกษา คือในสถานะปกติและสถานะที่มีความชื้นเกิดขึ้น เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดความร้อนและคุณสมบัติในการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัยและคอนกรีตบล็อกที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

กรณีที่ 1 (ในสถานะปกติ) ทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองขนาด $0.80 \times 0.8 \times 0.8$ ม. ซึ่งผนังขนาด 0.80×0.8 ม. เหมาะสมกับจำนวนคอนกรีตบล็อกขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. ที่นำมาก่อผนังจำนวน 8 ก้อน โดยวางซ้อนกัน 4 ชั้นจำนวน 2 แถว ฉาบเรียบหนา 1.5 ซม. ซึ่งจำนวนกล่องผนังทดลองต้นแบบจะมีอยู่ 3กล่อง คือ คอนกรีตบล็อกแบบที่ 1 คอนกรีตบล็อกแบบที่ 2 และคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัย

กรณีที่ 2 (ในสถานะที่ความชื้นเกิดขึ้น) ทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองขนาด $0.80 \times 0.8 \times 0.8$ ม. ซึ่งผนังขนาด 0.80×0.8 ม. เหมาะสมกับจำนวนคอนกรีตบล็อกขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. ที่นำมาก่อผนังจำนวน 8 ก้อน โดยวางซ้อนกัน 4 ชั้นจำนวน 2 แถว ฉาบเรียบหนา 1.5 ซม. ซึ่งจำนวนกล่องผนังทดลองต้นแบบจะมีอยู่ 3กล่อง คือ คอนกรีตบล็อกแบบที่ 1 คอนกรีตบล็อกแบบที่ 2 และคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัย ทำการติดตั้งระบบฉีดน้ำแบบ Spray ที่มีระบบตั้งเวลาเปิด-ปิด ห่างจากผนังคอนกรีตบล็อก 1 ฟุต จำนวน 5 หัวฉีด บริเวณด้านบนบนซ้าย-ขวา ด้านล่างซ้าย-ขวา และตรงกลาง โดยหัวฉีดจะทำการปล่อยน้ำตลอด 24 ชั่วโมง

6.3 เก็บข้อมูลแต่ละช่วงเวลาในสภาวะต่างๆ เก็บข้อมูลโดยเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365 โดยเก็บข้อมูลจากการติดตั้งเครื่องไว้วางกลางกล่องทดสอบทั้ง 3 กล่องทดสอบ และติดตั้งเครื่องไว้วางบริเวณภายนอกกล่องทดสอบอีกจำนวน 1 ชุด ทำการเก็บบันทึกข้อมูลในช่วงเวลาที่กำหนดทุก 10 นาที จากนั้นใช้โปรแกรมจาก (Data logger) และ Microsoft Excel ในการวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆ ที่จำหน่ายตามท้องตลาด



รูปที่ 4 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365

7. ช่วงสรุปผลการทดลองในด้านต่างๆ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อสรุปผลงานวิจัย โดยอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นกับงานวิจัย ดังนี้

- 7.1 วิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร
- 7.2 ความสัมพันธ์ของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ส่งผลต่อ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อก
- 7.3 ความสัมพันธ์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล การนำความร้อน การดูดซับความชื้นของวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- 7.4 ความสัมพันธ์ของการคัดเลือก การเตรียมวัสดุธรรมชาติ และการขึ้นรูปที่ดีส่งผลทำให้ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ
2. เป็นแนวทางการศึกษาคุณสมบัติวัสดุเปลี่ยนสถานะจากวัสดุธรรมชาติเพื่อทดแทน Parafin และวิธีการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยเซลลูโลสจากพืช
3. เป็นแนวทางการศึกษาวิธีการเตรียมวัสดุและการขึ้นรูปที่ดีส่งผลทำให้ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำ

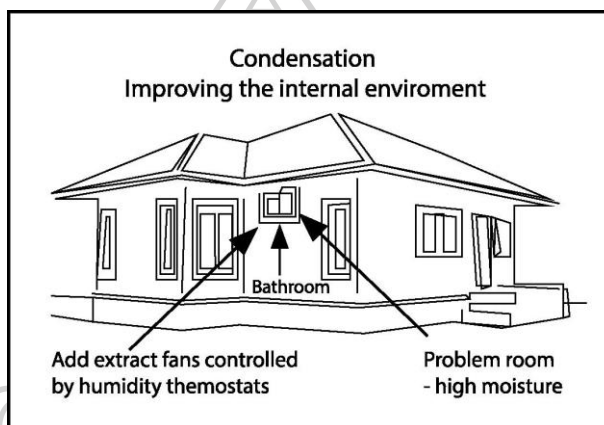
บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร เป็นการศึกษาเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. วิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคาร



รูปที่ 5 แสดงลักษณะวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคาร

1.1 Liquid Flow

ความชื้นในสถานะของเหลวที่เข้ามาในอาคาร เช่น น้ำฝนที่มาจากรางระบายน้ำฝนที่อุดตันและไหลล้นเข้ามาในอาคาร การเดินท่อน้ำในผนังและเกิดปัญหาท่อชำรุดทำให้น้ำซึมผ่านผนังเข้าในอาคาร ตลอดจนสถานะน้ำท่วม เป็นต้น



Condensation on window



Black mould on wall



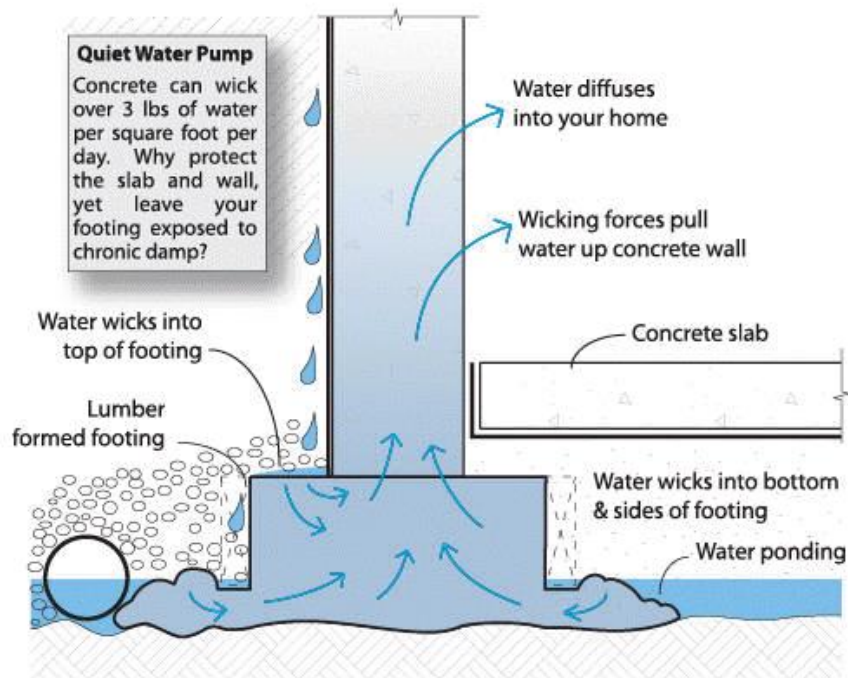
Taking specific damp meter readings

รูปที่ 6 แสดงลักษณะความเสียหายที่เกิดจากน้ำซึมผ่านผนังเข้าในอาคาร

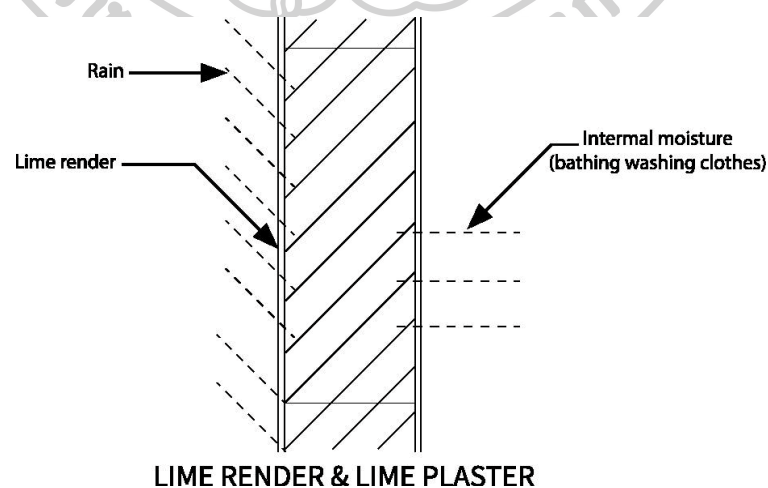
ที่มา: <http://www.1stassociated.co.uk>

1.2 Capillary Suction

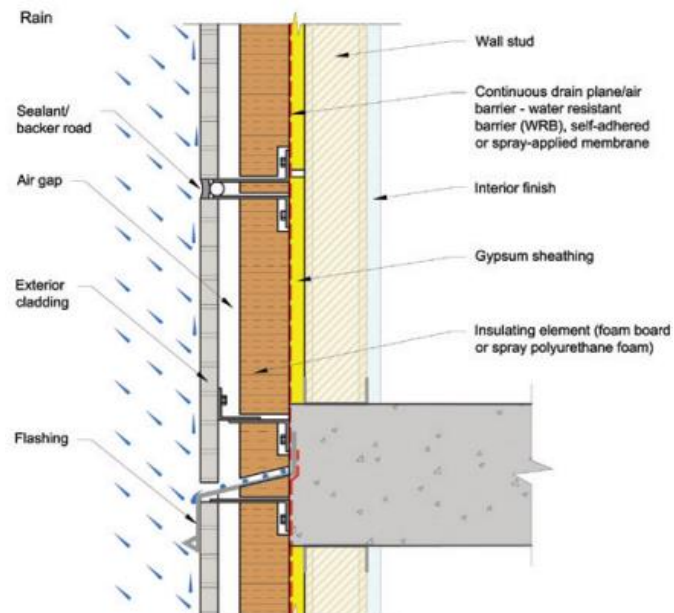
Capillary Suction เช่น การดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนเล็ก ๆ ที่อยู่ในวัสดุที่ใช้ทำเป็นผนังหรือพื้นอาคารส่วนที่สัมผัสกับดินที่ชุ่มน้ำ ที่เรียกว่า "Rising Damp" และการดูดซึมน้ำบริเวณชั้นไม้ ของผนังที่ซ้อนทับกัน เป็นต้น



รูปที่ 7 ลักษณะของการดูดซึมน้ำผ่านผนังหรือพื้นอาคาร
ที่มา: www.buildblock.com



รูปที่ 8 แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำบริเวณชั้นไม้ ของผนังที่ซ้อนทับกัน



รูปที่ 9 แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำของผนังที่ซ้อนทับกัน

ที่มา: <https://www.epa.gov>

1.3 Air movement

Air movement เช่น อากาศที่รั่วซึมผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนของผนังที่ไม่ได้มีการใช้วัสดุอุดปิดอย่างเหมาะสม ช่องเจาะที่บริเวณผนัง เช่น ปลั๊กไฟ และ รอยต่อระหว่างผนังกับวัสดุผนังหลังคา



รูปที่ 10 แสดงลักษณะของผนังที่ไม่ได้มีการใช้วัสดุอุดปิดอย่างเหมาะสม

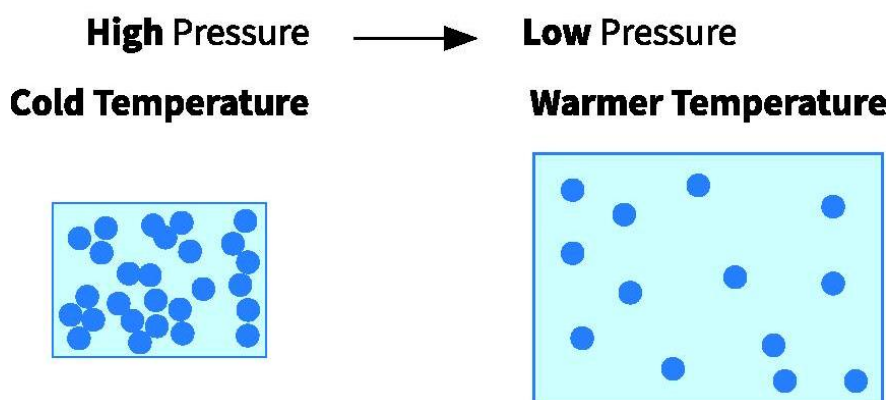
ที่มา: <https://www.epa.gov/sites/production/files/moisture-control.pdf>

1.4 Vapor Diffusion

การแพร่ของความชื้นที่ผ่านวัสดุรอบอาคาร โดยการแพร่ของไอน้ำซึ่งแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure)

2. คุณสมบัติในการให้ไอน้ำแพร่ผ่านได้ของวัสดุ

ในอากาศที่มีความชื้นจะมีความดันไอน้ำที่มากกว่าอากาศที่แห้ง การแพร่ผ่านของไอน้ำที่ผ่านวัสดุจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า นอกจากนี้การแพร่ยังมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

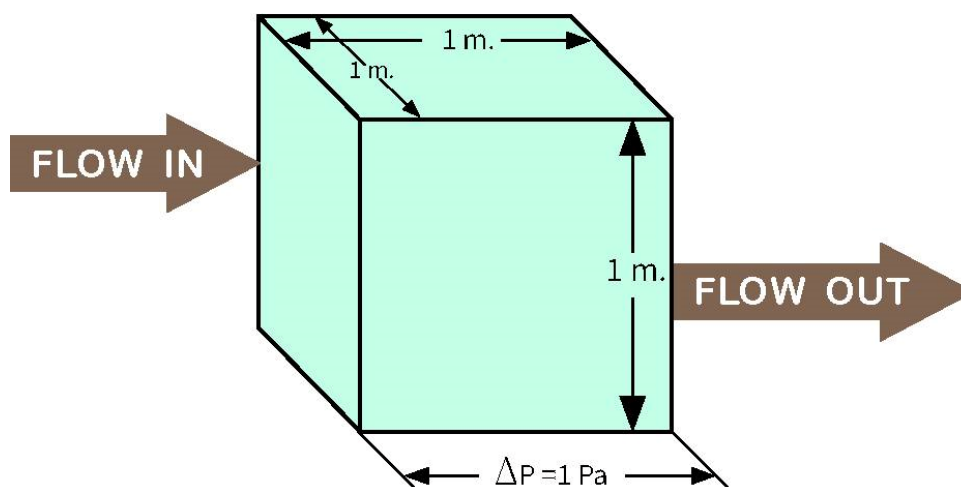


รูปที่ 11 ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะการแพร่ของไอน้ำซึ่งแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure)

3. คุณสมบัติของวัสดุในการให้ไอน้ำแพร่ผ่านได้มากหรือน้อย

3.1 Water Vapor Permeability (δ)

คือ ปริมาณไอน้ำ [ng] ที่ผ่านวัสดุที่มีพื้นที่ หนึ่งหน่วย [m^2] และมีความหนา หนึ่งหน่วย [m] ในช่วงเวลาหนึ่งหน่วย [s] ซึ่งเกิดขึ้นจากความแตกต่างของ ความดันไอน้ำที่ผิวของ วัสดุทั้งสองด้านที่มีค่าหนึ่งหน่วย [Pa] ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นที่กำหนดไว้ มีหน่วยเป็น [ng/Pa·s·m] ค่านี้เป็นคุณสมบัติของวัสดุ ค่าที่สูงแสดงว่าไอน้ำสามารถผ่านวัสดุนั้นได้ดีกว่าค่าที่ต่ำ



รูปที่ 12 แสดงลักษณะของค่า Water Vapor Permeability

3.2 Water Vapor Permeance

Water Vapor Permeance มีค่าเท่ากับค่า Water Vapor Permeability หารด้วยความหนาของวัสดุ ค่า Vapor Permeance มีหน่วยเป็น $[\text{ng}/\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2]$ ค่า Water Vapor Permeance จะลดลงเมื่อเพิ่มความหนาของวัสดุ วัสดุที่มีค่านี้สูงแสดงว่าไอน้ำสามารถแพร่ผ่านวัสดุนั้นได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่านี้ต่ำ กรณีที่ค่านี้ใช้หน่วยเป็น IP-Unit คือ "perm" โดย 1 perm คือ ปริมาณน้ำ [grain] ที่แพร่ผ่านวัสดุที่มีพื้นที่หนึ่งตารางฟุต โดยมีค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำเท่ากับหนึ่งนิ้วปรอทในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง $[1 \text{ perm} = 1 \text{ gr}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2 \cdot \text{in}\cdot\text{Hg}]$ โดย $\text{perm} = 57.2 \text{ ng}/\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2$ การแปลงค่าตามสมการนี้ใช้ได้เฉพาะในกรณีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 0°C

3.3 Water Vapor Resistivity

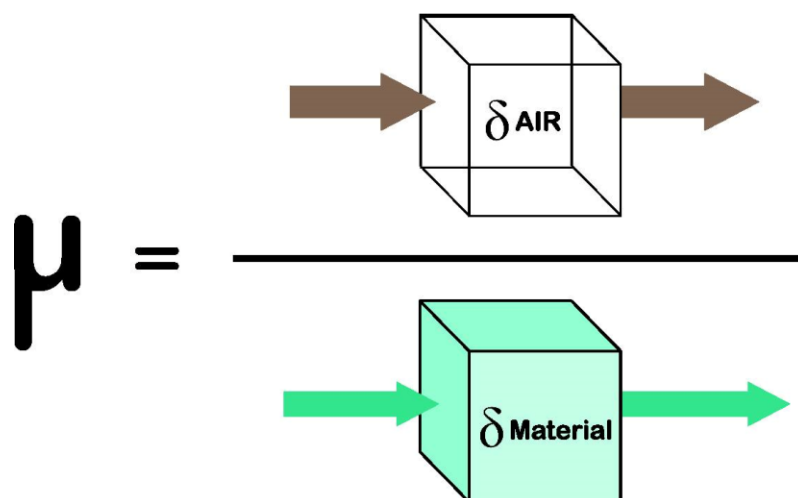
Water Vapor Resistivity มีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่า Water Vapor Permeability มีหน่วยเป็น $[\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}/\text{ng}]$

3.4 Water Vapor Resistance

ค่าการต้านทานการแพร่ไอน้ำของวัสดุ มีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่า Water Vapor Permeance มีหน่วยเป็น $[\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2/\text{ng}]$

3.5 The Resistance to Water Vapor Diffusion Factor (μ -value)

อัตราส่วนระหว่างค่า Water Vapor Permeability ของอากาศหนึ่ง กับค่า Water Vapor Permeability ของวัสดุ [ไม่มีหน่วย] ค่านี้บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการแพร่ไอน้ำของวัสดุนั้นๆ ว่ามีค่าเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับค่าการต้านทานการแพร่ของไอน้ำของอากาศหนึ่งที่มีความหนาเท่ากัน วัสดุชนิดเดียวกันจะมีค่า μ -value ที่เท่ากัน วัสดุที่มีค่านี้สูงแสดงว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการต้านทานการแพร่ของไอน้ำได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่านี้ต่ำ



รูปที่ 13 แสดงลักษณะของค่า The Resistance to Water Vapor Diffusion Factor (μ -value)

3.6 The Resistance to Water Vapor Diffusion Factor (μ -value) Diffusion-equivalent Air Layer Thickness (Sd-value)

ค่าความหนาของอากาศที่นิ่ง (Motionless Air Layer) ที่สามารถต้านทานการแพร่ของไอน้ำได้เท่ากับค่าการต้านทานการแพร่ของไอน้ำของวัสดุที่มีความหนา d และมีค่า Resistance to Water Vapor Diffusion Factor เท่ากับ μ โดย Sd-Value มีค่าเท่ากับ μ คูณกับความหนา (d) ของวัสดุ ($Sd\text{-value} = \mu \times d$) มีหน่วยเป็น [m] วัสดุชนิดเดียวกันที่มีความหนาที่ต่างกันจะมีค่า Sd-value ที่ต่างกัน

ตารางที่ 2 แสดงค่า Vapor Permeance ของวัสดุอาคารและฟิล์ม (Building Materials and Films)

Material	Thickness	Thickness	Permeance	Permeance
	in	mm	gr/hr·ft ² ·in.Hg.	ng/Pa·s·m ²
Concrete	8.000	203	0.40	23
Brick masonry	4.000	100	0.80	46
Concrete block, hollow	8.000	203	2.40	137
Gypsum wallboard	0.375	10	50.00	2860

Material	Thickness	Thickness	Permeance	Permeance
	in	mm	gr/hr-ft ² · in.Hg.	ng/Pa·s·m ²
Hardboard (Tempered)	0.125	3	5.00	286
Wood, sugar pine	1.000	25	0.4 to 5.4	23 to 309
Plywood (Douglas fir, exterior glue)	0.250	6	0.70	40
Plywood (Douglas fir, interior glue)	0.250	6	1.90	109
Sheet, glass fiber with acylic resin	0.056	1	0.12	6.9
Sheet, glass fiber with polyester resin	0.480	12	0.05	2.9
Aluminum foil (Thick)	0.0010	0.03	0	0
Aluminum foil (Thin)	0.0004	0.01	0.05	2.9
Polyethelene (6 mil)	0.0060	0.15	0.06	3.4
Polyethelene (8 mil)	0.0080	0.20	0.04	2.3
Polyethelene (10 mil)	0.0100	0.25	0.03	1.7
Polyvinylchloride (PVC)	0.0040	0.10	0.8 to 1.4	46 to 80
Polyester	0.0076	0.19	0.08	4.6
Cellulose Acetate	0.0100	0.25	4.6	263
Vapor retarder paint	0.0031	0.08	0.45	26
Primer seater	0.0012	0.03	6.28	360
Vinyl-acrylic primer	0.0016	0.04	8.62	493
Semi-gloss, vinyl- acrylic enamel	0.0240	0.61	6.61	378
Exterior acylic hoouse and trim	0.0017	0.04	5.47	313
Flat paint (2 coats) on insulation board	-	-	4.00	229

Material	Thickness	Thickness	Permeance	Permeance
	in	mm	gr/hr-ft ² ·in.Hg.	ng/Pa·s·m ²
Two coats of enamel on smooth plaster	-	-	0.5 to 1.5	29 to 86
Primers + sealer, on insulation board	-	-	0.9 to 2.1	51 to 120
Primers + flat oil paint on plaster	-	-	1.6 to 3.0	91 to 172

Vapor Permeance of Some Building Materials. Building Science Corporation
APRIL 15, 2013

ที่มา : <https://www.buildingscience.com/documents/information-sheets/info-312-vapor-permeance-some-materials>

4. การหน่วงการแพร่ของไอน้ำ (Vapor Retarder) ผ่านวัสดุ

การหน่วงการแพร่ของไอน้ำผ่านวัสดุ มีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องสองคำ ได้แก่ "Vapor Retarder" และ "Vapor Barrier" โดยมีคำจำกัดความ ดังนี้

4.1 " Vapor Retarder " คือ วัสดุ (Element) ที่ออกแบบและติดตั้งในองค์อาคาร (Assembly) เพื่อหน่วงการเคลื่อนที่ของน้ำโดยการแพร่ของไอน้ำ โดยแบ่ง Vapor Retarder ได้เป็น 3 Class ดังนี้ คือ

Class I Vapor Retarder : 0.1 perm or less

Class II Vapor Retarder : 1.0 perm or less and greater than 0.1perm

Class III Vapor Retarder : 1.0 perm or less and greater than 1.0perm

4.2 "Vapor Barrier" คือ Vapor Retarder ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Class I

Joseph Lstiburek (Joseph Lstiburek, 2006) ได้แบ่งวัสดุตามค่า "Water Vapor Permeance เป็น 4 ระดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งวัสดุตามค่า "Water Vapor Permeance เป็น 4 ระดับ

ระดับ (Class)	ค่า Water Vapor Permeance (a) [perm]	ตัวอย่างวัสดุ
Vapor impermeable ไอน้ำผ่านไม่ได้	$a \leq 0.1$	Rubber membranes, polyethylene film, glass,
Vapor semi-impermeable กึ่งไอน้ำผ่านไม่ได้	$0.1 < a \leq 0.1$	aluminum foil, sheet metal, oil-based paints, vinyl wall coverings, and foil-facer insulating sheathings
Vapor semi-permeable กึ่งไอน้ำผ่านได้	$1.0 < a \leq 10$	Plywood, OSB, unfaced expanded polystyrene (EPS), fiberfaced isocyanurate, heavy asphalt impregnated building papers, the paper and bitumen facing on most fiberglass batt insulation and most latex-based paints.
Vapor permeable ไอน้ำผ่านได้	$a > 10$	Unpainted gypsum board and plaster, unfaced fiberglass insulation, cellulose insulation, unpainted stucco, lightweight asphalt impregnated building papers, asphalt impregnated building fiber board, exterior gypsum sheathings, cement sheathings

ที่มา: (Joseph Lstiburek, 2006: 4)

วัสดุที่เมื่อเกิดรูรั่วจะทำให้ความสามารถในการต้านทานการแพร่ไอน้ำของวัสดุนั้นลดลงไปได้ ตัวอย่างเช่น Bitumen Membrane ที่มีความหนา 2.7 มม. ถ้าไม่มีรูเจาะมีค่า Sd-value โดยเฉลี่ยเท่ากับ 137.1 m เมื่อมีขนาดรูเจาะ (Percentage of perforation) 0.0476% ค่า Sd-value โดยเฉลี่ยจะลดลงเหลือเพียง 41.4 m

ปริมาณความชื้นที่แพร่ผ่านวัสดุในช่วงเวลาหนึ่ง สามารถคำนวณได้ตามสมการนี้

$$W_{vp} = A \times \text{Perm} \times (P_h - P_d) \quad [\text{ng/s}]$$

$$W_{vp} = \text{Vapor Permeance Load} \quad [\text{ng/s}]$$

$$\text{Perm} = \text{Water Vapor Permeance} \quad [\text{ng/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}]$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวของวัสดุ} \quad [\text{m}^2]$$

$$P_h = \text{แรงดันไอน้ำทางด้านที่มีความชื้น} \quad [\text{Pa}]$$

$$P_d = \text{แรงดันไอน้ำทางด้านที่แห้ง} \quad [\text{Pa}]$$

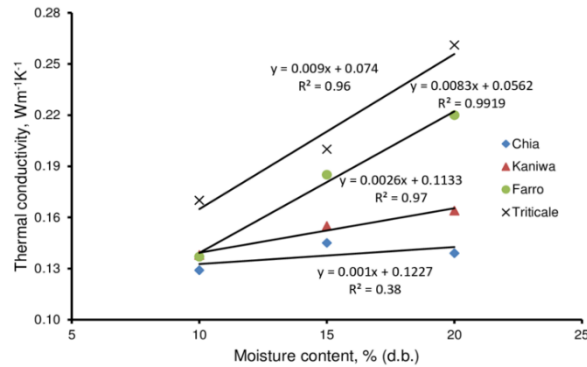
5. Moisture Storage

วัสดุที่เป็น Hygroscopic Material เช่น ไม้ แผ่นยิปซัม สามารถดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในอากาศได้ โดยวัสดุจะดูดซับความชื้นจนเกิดสมดุลความชื้น (Moisture Equilibrium) ซึ่งขึ้นกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในขณะนั้น โดยปริมาณความชื้นในวัสดุ (Moisture Content) จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น การเกิดความชื้นในวัสดุ (Moisture region) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

- 1) Sorption Moisture (or Hygroscopic) Region ช่วงนี้จะเริ่มต้นตั้งแต่สภาวะที่แห้ง (Dry State) ไปจนถึงสภาวะสมดุลของความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 95%
- 2) Capillary Water Region ช่วงนี้จะต่อเนื่องจากช่วงท้ายของ Sorption Region ไปจนถึงการอิ่มตัวของน้ำ (Free Water Saturate) ในช่วงนี้รูพรุนของวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะถูกเติมเต็มด้วยน้ำจนถึงจุดอิ่มตัว
- 3) Super Saturated Region ช่วงนี้จะต่อเนื่องจากช่วงอิ่มตัวของน้ำ ไปจนถึงช่องว่างภายในวัสดุทั้งหมดเต็มไปด้วยน้ำ ในช่วงนี้ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเท่ากับ 100% เสมอ

6. ความชื้นในวัสดุที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ความชื้นในวัสดุที่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำที่อยู่ในวัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงกว่าอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างของวัสดุ

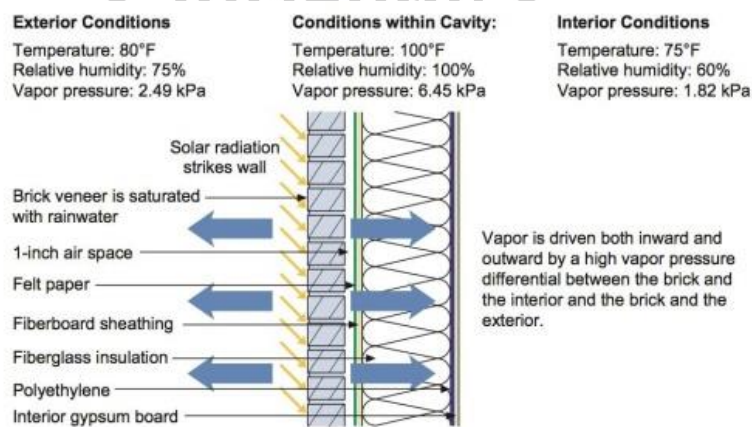


รูปที่ 14 แสดงลักษณะของค่า Thermal Conductivity ที่เปลี่ยนไปตามปริมาณความชื้นในวัสดุ

ที่มา: <https://www.researchgate.net>

7. การแพร่ของไอน้ำที่ผนังภายนอกเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์

ผนังภายนอกที่มีวัสดุชั้นนอกสุดเป็นวัสดุที่มีรูพรุน เช่น อิฐ เมื่อถูกฝนวัสดุจะดูดซับน้ำไว้ในภายหลังจากนั้นถ้าผนังส่วนนี้ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ น้ำที่ดูดซับไว้ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำจากวัสดุผนังส่วนนี้ไปยังบริเวณที่ติดกัน ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยทิศทางการแพร่กระจายของไอน้ำเกิดขึ้นได้สองทิศทาง คือ แพร่ออกไปที่อากาศภายนอก และแพร่เข้าไปในช่องว่างอากาศภายในผนังหรือวัสดุที่อยู่ชั้นถัดไป ในกรณีของห้องปรับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิผิวภายในที่ต่ำ ถ้ามีการติดตั้งแผ่นวัสดุป้องกันไอน้ำ เช่น แผ่น Polyethylene ที่ด้านหลังของแผ่นยิปซัมทำให้ไอน้ำไม่สามารถแพร่ผ่านไปยังแผ่นยิปซัมซึ่งอยู่ติดกับอากาศภายในห้องได้สะดวก ไอน้ำส่วนนี้จะเกิดการสะสมควบแน่นเป็นหยดน้ำที่บริเวณแผ่นป้องกันไอน้ำภายในผนัง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาเชื้อราขึ้นในผนังได้



รูปที่ 15 แสดงลักษณะการแพร่ของไอน้ำที่ผนังภายนอกเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์
ที่มา : <https://buildingscience.com>

8. การหน่วงความชื้นของวัสดุ (Moisture Buffering of Material)

วัสดุที่เป็น Hygroscopic Material ที่อยู่ภายในอาคารสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศ และคายความชื้นออกสู่อากาศที่อยู่แวดล้อมวัสดุนั้นได้ โดยการดูดซับและการคายความชื้นนี้มีผลให้เกิดการหน่วงความชื้นของอากาศภายในห้อง ทำให้ความชื้นภายในอาคารไม่แตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลา (Steeman et al., 2010) ได้อธิบายพฤติกรรมของการหน่วงความชื้นของวัสดุ (Moisture Buffering of Material) ไว้ดังนี้ เมื่ออุณหภูมิของอากาศภายในห้องสูงขึ้น (ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง) อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ไอน้ำจากในวัสดุจะแพร่ออกมาสู่ภายในห้องในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิภายในห้องต่ำลง (ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น) ไอน้ำภายในอากาศจะถูกดูดซับเข้าไปในวัสดุ จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องมีค่าค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ ในขณะที่วัสดุคายไอน้ำออกมานั้น จะเกิดการดึงเอาความร้อนแฝงที่อยู่ในอากาศ และเมื่อวัสดุดูดซับความชื้นจะมีการปล่อยความร้อนออกมาสู่อากาศภายในห้อง ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิในห้องมีค่าที่ค่อนข้างคงที่มากกว่าการที่ไม่มีวัสดุที่เป็น Hygroscopic Material อยู่ภายในห้อง

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสามารถในการหน่วงความชื้นของวัสดุคือ ค่าการดูดซับ (Sorption) ความชื้นของวัสดุ และ ค่า Vapor Permeability ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ โดยทั่วไปจะไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าชื้นสัมพัทธ์

คอนกรีตบล็อก

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อกกลวง ได้แก่ นิยาม ประเภท และลักษณะขนาด

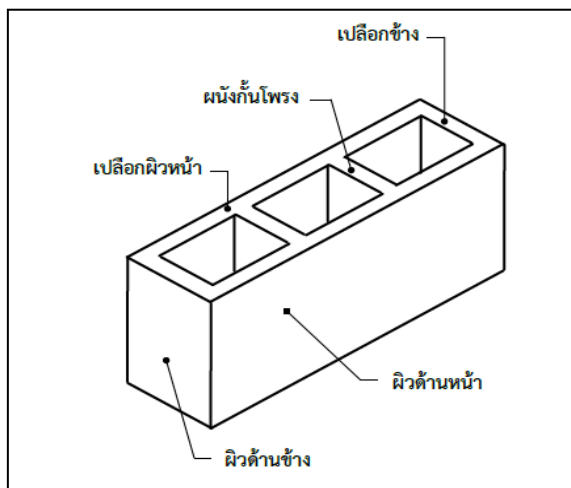
1. นิยามของคอนกรีตบล็อกกลวง

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มีความหมายดังต่อไปนี้

คอนกรีตบล็อกกลวง (Hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) หมายถึง ก้อนคอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วย หรือไม่มีก็ได้สำหรับก่อผนังหรือกำแพงโดยมีโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน มีร่องหรือไม่มีก็ได้ และมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิน้อยกว่า 75% ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน ใช้สำหรับผนังที่ออกแบบโดยไม่รับน้ำหนักบรรทุก นอกจากน้ำหนักตัวเอง

คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก (Hollow nonloadbearing concrete masonry unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกกลวงใช้สำหรับผนังที่ออกแบบโดยไม่รับน้ำหนักบรรทุก นอกจากน้ำหนักตัวเอง

เปลือก (Shell) หมายถึง ผนังภายนอกของคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก ทั้งเปลือกผิวหน้าและเปลือกข้าง



รูปที่ 16 แสดงลักษณะของคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก

ที่มา: “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533,”

ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 117, ตอนที่ 119 (10 กรกฎาคม 2533): 2

2. ประเภทคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานนี้ แบ่งตามความหนาแน่นเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น และประเภทที่ 2 คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น

3. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มม. ขนาดของคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักให้มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 1 โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มม.

ตารางที่ 4 แสดงขนาดมาตรฐานคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก

ขนาดที่ทำ หนา × สูง × ยาว (มม.)
70 × 190 × 140
90 × 190 × 140
140 × 190 × 140
190 × 190 × 140
70 × 190 × 190
90 × 190 × 190
140 × 190 × 190
190 × 190 × 190
70 × 190 × 290
90 × 190 × 290
140 × 190 × 290
190 × 190 × 290
70 × 190 × 390
90 × 190 × 390
140 × 190 × 390
190 × 190 × 390

ที่มา: “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533,”
ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 117, ตอนที่ 119 (10 กรกฎาคม 2533) : 8

4. วัสดุผลิตคอนกรีตบล็อก

4.1 ปูนซีเมนต์ให้ใช้อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

- 4.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ควรเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ข้อกำหนดคุณภาพมาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่มที่ 1
- 4.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม ควรเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม มาตรฐานเลขที่ มอก.80

4.2 มวลผสมคอนกรีต

ควรเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มวลผสมคอนกรีตมาตรฐานเลขที่ มอก. 566 ยกเว้นเกณฑ์กำหนดการคัดขนาดของมวลผสมคอนกรีต

4.3 ส่วนผสมอื่น ๆ

ตัวทำฟองอากาศ สี สาร กันน้ำ ฯลฯ ที่นำมาใช้ ควรเป็นสารที่เหมาะสมสำหรับใช้กับคอนกรีตและควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

5. คุณสมบัติที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อนต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก อย่างถูกต้องหรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร รอยร้าว เล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีการผลิตตามปกติหรือรอยปริเล็กน้อย เนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุ อ่างในการไม่ยอมรับ

5.1.2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้เป็นอย่างดี

5.1.3 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าว หรือตำหนิอื่น ๆ ถ้าในการสังเคราะห์หนึ่งมีก้อนซึ่งมี รอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มม. เป็นจำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจ พิสูจน์

5.2 ลักษณะทั่วไป

ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อน ต้องเป็นไปตามตารางที่ 5 การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการ ทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีตมาตรฐานเลขที่ มอก.109

ตารางที่ 5 แสดงข้อกำหนดความต้านแรงอัดต่ำสุดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 58-2533

ความต้านแรงอัดต่ำสุด เมกะพาสคัล(เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	
ค่าเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
2.5	2.0

ที่มา: “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533,”
ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 117, ตอนที่ 119 (10 กรกฎาคม 2533) : 10

5.3 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทที่ 1 ควบคุมความชื้น)
ความชื้นของคอนกรีตบล็อกจะต้องเป็นไปตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงข้อกำหนดปริมาณความชื้น ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

การหดตัวทางยาว (ร้อยละ)	ความชื้นสูงสุดร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	น้อยกว่า 50	50 - 75	มากกว่า 75
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.03	35	40	45
มากกว่า 0.03 - 0.045	30	35	40
ใหญ่กว่า 0.045	25	30	35

หมายเหตุ

- ทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม วิธีการทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (ในกรณีที่ยังไม่ได้ประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าวให้เป็นไปตาม ASTM C 426)
- อาศัยสถิติการประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด

ที่มา: “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533,”
ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 117, ตอนที่ 119 (10 กรกฎาคม 2533) : 10

ปูนซีเมนต์

มาตรฐานอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ ได้กล่าวว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “ปูนซีเมนต์” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง ได้จากการบดปูนเม็ดกับแคลเซียมซัลเฟตรูปใดรูปหนึ่งหรือหลายรูป

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือ ปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่งที่นิยมใช้แพร่หลายทั่วโลกในงานก่อสร้าง ปัจจุบัน เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตปูนมอร์ตาร์ และปูนสูตรพิเศษประเภทต่างๆ มีส่วนผสมหลัก คือ หินปูน หินดินดาน ดินลูกรัง และทราย รวมถึงการเพิ่มสารอื่นๆ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของปูนซีเมนต์ เช่น ยิปซัม สารปอซโซลาน สารลดน้ำ เป็นต้น การผลิตเริ่มต้นด้วยการบดวัตถุดิบให้เป็นผงละเอียด และนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงจนได้เม็ดปูนซีเมนต์ซึ่งจะถูกนำไปบดเป็นปูนซีเมนต์ผง เพื่อบรรจุในถุงหรือขนส่งทางยานพาหนะต่อไป



รูปที่ 17 แสดงลักษณะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ซึ่งชนิดนี้จะใช้กับงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งจะเป็นปูนปอร์ตแลนด์แบบพื้นฐาน งานที่ใช้ก็จะเป็นงาน คานคอนกรีต เสาอาคารทั่วไป ถนน สะพาน ฯลฯ

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความทนซัลเฟตปานกลางหรือเกิดความร้อนปานกลางขณะทำปฏิกิริยากับน้ำ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลงหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสอง จะเป็นปูนชนิดที่มีความทนทานต่อซัลเฟตปานกลาง โดยมากจะใช้กับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ในพื้นที่โดนน้ำเค็มที่มีระดับค่อนข้าง อย่างเช่น งานตอม่อสะพาน เขื่อน เป็นต้น

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการค่าความต้านแรงอัดสูงได้เร็ว คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดแข็งตัวเร็วหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม ปูนชนิดนี้จะแข็งตัวและรับแรง ได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ซึ่งจะใช้กับงานที่ต้องการความเร็วหรืองานเร่งด่วนเป็นพิเศษ คือต้องทำเสร็จเร็ว ถอด รื้อ เร็ว อย่างงาน งานทำเสาเข็ม พื้นสำเร็จรูป เป็นต้น

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความร้อนต่ำขณะทำปฏิกิริยากับน้ำ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดความร้อนต่ำหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสี่ ปูนชนิดนี้จะใช้งานสำหรับงานคุณสมบัติพิเศษ อย่าง เชื้อนก้น้ำ ที่ต้องควบคุมอุณหภูมิที่จะเกิดขึ้นระหว่างน้ำกับปูน ด้วยการออกแบบให้เกิดความร้อนในการแข็งตัวน้อย ซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตที่สร้างนั้นจะไม่แตกหรือร้าวง่าย ดังนั้นจึงจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ชนิดเกิดความร้อนต่ำ

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เมื่อต้องการความทนซัลเฟตสูง คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดต้านทานซัลเฟตได้สูงหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้า ปูนชนิดนี้จะมีคุณสมบัติต้านทานต่อซัลเฟตสูง ซึ่งพื้นที่ในการก่อสร้างที่มีซัลเฟต ที่สูง จะเป็นพวก งานตอม่อหรือเสาในบริเวณที่อยู่ใกล้ชายทะเล หรือ สภาพดินที่เค็ม

1.2 องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์เป็นสิ่งสำคัญที่ควรศึกษาเพื่อให้สามารถเข้าใจถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของปูนซีเมนต์และเลือกใช้ปูนซีเมนต์ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับงานซึ่งออกไซด์หลัก (Major Oxides) ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกา (SiO₂) อลูมินา (Al₂O₃) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) ออกไซด์ทั้ง 4 ชนิดนี้ รวมกันได้ร้อยละกว่า 90 ของปูนซีเมนต์ ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง (Minor Oxides) ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์อัลคาไล (Na₂O และ K₂O) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอมของส่วนประกอบอื่นซึ่งจะจัดรวมอยู่ในรูปของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue)

ตารางที่ 7 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก
CaO	60.0 - 67.0
SiO ₂	17.0 - 25.0
Al ₂ O ₃	3.0 - 8.0
Fe ₂ O ₃	0.5 - 6.0
MgO	0.1 - 1.8
Na ₂ O	0.1 - 1.8
K ₂ O	0.1 - 1.8
SO ₃	0.5 - 3.0
สารประกอบอื่นๆ	0.5 - 3.0
การสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (LOI)	0.1 - 3.0
กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง	0.20 - 0.75

ที่มา: (ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2549)

2. ปูนซีเมนต์ผสม

ปูนซีเมนต์ผสมหรือปูนซีเมนต์ซิลิกา (Mixed Cement หรือ Silica Cement) ได้จากการบดปูนเม็ดกับวัสดุเฉื่อยจำพวกทราย ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกา หรือบดร่วมกับหินปูนที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา ปริมาณวัสดุเฉื่อยที่ใช้ประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 โดยน้ำหนักทำให้ปูนซีเมนต์ มีราคาถูกลง ระยะเวลาการก่อตัวนานขึ้น การเย็นน้ำตาและการหดตัวเมื่อแห้งน้อยลง จึงช่วยลดการแตกร้าวของผิว เหมาะสำหรับใช้ในงานปูนก่อหรือปูนฉาบเพราะจะได้มีเวลาในการทำงานนานขึ้น แต่ข้อควรระวังสำหรับปูนซีเมนต์ประเภทนี้ คือ มีกำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุต้นๆ จึงไม่ควรใช้ในการก่อสร้างอาคารหลัก เช่น พวงเสา คาน พื้น หรือรากฐานของอาคาร นอกจากนี้อายุการใช้งานของอาคารจะน้อยกว่าที่ควรจะเป็นเพราะมีเนื้อปูนน้อยกว่าปกติ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตจำหน่ายในประเทศไทย เช่น ปูนตราเสือ ปูนตราที่พีไอเอสเขียว เป็นต้น

มวลผสมคอนกรีต

หินย่อย กรวด และทราย ที่ใช้ในงานก่อสร้าง รวมเรียกว่า วัสดุผสม (Aggregates) ซึ่งเป็นพวกแร่ธาตุเฉื่อย (Inert Materials) ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เทสต์ วัสดุผสมอาจได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินอัคนี หินชั้นและหินแปร หรือทำเทียมขึ้นเช่นวัสดุผสมตะกรันเตาถลุง ซึ่งเป็นกากหรือตะกรันที่ได้จากการหล่อโลหะ แล้วนำมาบดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ วัสดุผสมอาจเรียกว่าเป็นตัวแทรก (Filler Materials) ในเนื้อคอนกรีตก็ได้เพราะในเนื้อคอนกรีตมีหิน ทราย ผสมอยู่เป็นส่วนใหญ่ประมาณสามในสี่ส่วน และโดยที่ราคาของวัสดุผสมถูกกว่าของปูนซีเมนต์ ดังนั้น วัสดุผสมจึงมีส่วนทำให้ได้คอนกรีตราคาถูกลง

1. มวลผสม

1.1 มวลผสมละเอียด

มวลผสมละเอียด หมายถึง ทรายซึ่งเป็นวัสดุผสมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. มวลผสมที่เล็กกว่านี้ เรียกว่า ฝุ่น (Silt หรือ Clay)

ทราย ปกติเป็นหินชั้นที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยการแปรรูปหรือกะเทาะแบ่งส่วนมาจากหินและกรวด เช่น ถูกกระแสน้ำในลำธารแม่น้ำพัดพาไหลสลับกลับไปกลับมาจนแตกละเอียดเป็นผง และมีขนาดต่างกัน แร่ธาตุที่ประกอบเป็นทรายส่วนมากเป็นควอร์ตหรือไมกา ทรายที่เกิดขึ้นเองบนบกที่ขุดได้บนพื้นดิน เรียกว่า "ทรายบก" ที่เกิดจากลำธารแม่น้ำ เรียกว่า "ทรายแม่น้ำ" ที่เกิดจากทะเลเรียกว่า "ทรายน้ำเค็ม" ทรายที่ใช้ในงานคอนกรีต ได้แก่ ทรายละเอียดเม็ดเล็ก (ทรายอยุธยา) ขนาด 0.5 - 1.5 มม. ใช้ในงานปูนก่อ ปูนฉาบ ทรายเม็ดกลาง (ทรายอ่างทอง) ขนาด 1 - 2 และ 3 มม. ใช้ในงานเทคอนกรีต ปูนก่อที่ต้องรับแรง ปูนฉาบผนังใต้ดิน พื้น คาน และงานคอนกรีตทั่วไป ทรายหยาบเม็ดใหญ่ (ทรายราชบุรี สิงห์บุรี) ขนาด 2-4 มม. ใช้งานคอนกรีตเทพื้น ฐานราก ฯลฯ และในในที่ที่ต้องการให้รับแรงอัดมากๆ

1.2 มวลผสมหยาบ

มวลผสมหยาบ เป็นวัสดุที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม.ขึ้นไป หรือที่ไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้แก่ กรวด หินย่อย หรือหินโม่

หินย่อยที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น ใช้ทำคอนกรีตทำถนน ส่วนมากกระเบิดเอามาจากภูเขา หินที่ระเบิดออกมา มีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 38 x 50 ซม. แล้วจึงนำมาย่อยด้วยเครื่องย่อยหินอีกทีหนึ่ง แหล่งผลิตหินในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดสระบุรี ลพบุรี ราชบุรี ซึ่งหินย่อยที่ได้ส่วนใหญ่เป็นหินปูน



รูปที่ 18 แสดงลักษณะของทรายหยาบ



รูปที่ 19 แสดงลักษณะของหินฝุ่น

2. คุณสมบัติของมวลผสม

คุณสมบัติทางกายภาพของมวลผสมมีอิทธิพลต่อคุณภาพของคอนกรีต สัดส่วนผสมของคอนกรีต และราคาของคอนกรีต หิน ทราย ที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตต้องสะอาด แข็งแกร่ง ทนทาน มีเหลี่ยมคม ไม่ขยายตัวมาก มีสารหรือสิ่งสกปรกที่ทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพน้อยที่สุด มีส่วนขนาดละเอียดอยู่ในพิสัยที่กำหนดสิ่งต่างๆ ดังกล่าว จะช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่น สม่ำเสมอ คุณภาพดี และประหยัด วัสดุผสมที่ไม่ควรนำมาใช้ทำคอนกรีต ได้แก่ วัสดุผสมที่อ่อนป่นง่าย พรุน และแยกเป็นชั้น ๆ

2.1 ความแข็งแรง (Strength)

มวลผสมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดอัดได้ไม่น้อยกว่ากำลังรับแรงอัดที่ต้องการของคอนกรีต หินที่ใช้ทำคอนกรีตโดยทั่วไปถ้าเป็นหินที่มีได้ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงโดยสภาพดินฟ้าอากาศจะดีพอสำหรับผสมคอนกรีตเพราะกำลังรับแรงอัดของหินทั่วไปสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก ความต้านทานแรงอัดของหินมีค่าประมาณ 700 - 3,500 กก./ตร.ม

2.2 ความทนทานต่อการสึกกร่อน (Abrasion Resistance)

ความทนทานต่อการสึกกร่อน (Abrasion Resistance) เป็นตัวชี้บอกถึงคุณภาพของ หินที่จะนำมาใช้งาน หินที่ดีต้องทนทานต่อการกระแทกและเสียดสีมากๆได้

2.3 ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับความพรุน และอำนาจการดูดซึมน้ำของมวลผสม มวลผสมต้องมีรูพรุนพอที่จะดูดซึมน้ำ มีช่องว่างพอที่จะให้น้ำขยายตัวได้ในอากาศหนาว มิฉะนั้น จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

2.4 ความคงตัวต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability)

มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยา กับเคมีของปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในบางพื้นที่มวลบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkalies) ในปูนซีเมนต์ เกิดเป็นวัณและขยายตัว ก่อให้เกิดรอยร้าวโดยทั่วไปในคอนกรีตซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Alkalies-Aggregate Reaction (AAR)

2.5 ลักษณะของผิว (Particle Shape and Surface Texture)

ลักษณะของผิว (Particle Shape and Surface Texture) มีความสำคัญต่อการควบคุม "ความสามารถเทได้" ของคอนกรีตที่ผสมใหม่ๆ มวลผสมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแฉ่งมีเหลี่ยมคม วัสดุก้อนกลมช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่า วัสดุผสมที่มีก้อนเป็นแฉ่งเป็นมุม แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนกับซีเมนต์พลอสต่ำกว่า วัสดุผสมที่มีผิวหยาบหรือด้านจะช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

2.6 ความสะอาด (Cleanliness)

มวลผสมต้องสะอาดปราศจากสิ่งสกปรกหรือสารที่จะทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพ

2.7 ความลดหลั่นของขนาดหรือส่วนขนาดละเอียด (Gradation)

มวลผสมที่ใช้ผสมทำคอนกรีต ต้องมีความลดหลั่นของขนาดตามเกณฑ์กำหนด ซึ่งจะช่วยให้มวลผสมนั้นเรียงตัวกันได้แน่นและมีช่องว่างน้อย ช่วยให้ทำงานได้ง่าย ปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะต้องใช้นั้นน้อยลง คือ เพียงพอที่จะเคลือบผิวมวลผสมทั้งหมด และเติมเต็มช่องว่างที่เหลืออยู่เพื่อเชื่อมให้วัสดุยึดติดกัน ทำให้คอนกรีตมีราคาถูกลง

3. น้ำ

น้ำเป็นส่วนผสมสำคัญในการทำคอนกรีต นอกจากนี้ยังมีบทบาทที่สำคัญต่องานคอนกรีตด้านอื่น เช่น ใช้น้ำในการบ่มคอนกรีต เพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดได้สมบูรณ์ขึ้นและในกรณีที่มวลรวมมีความสกปรกจะใช้น้ำล้างมวลรวมให้มีความสะอาดพอสำหรับนำไปใช้ทำคอนกรีต ปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำมักจะไม่เกิดขึ้นบ่อยนักเนื่องจากน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่มีคุณภาพอยู่ในชั้นดี เช่น น้ำประปา เป็นต้น กฎทั่วไปสำหรับงานคอนกรีต คือ ควรเป็นน้ำจืดที่สะอาด หรือน้ำจืดที่ดื่มได้ อย่างไรก็ตามหากไม่แน่ใจว่าน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตมีคุณภาพดีพอหรือไม่ ก็ต้องทำการทดสอบก่อน

คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

1. การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

การหดตัวแบบแห้งจะเกิดขึ้นในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และอยู่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นต่ำ ทำให้บริเวณผิวดินคอนกรีตที่สัมผัสอากาศสูญเสียความชื้นภายในช่องว่างคาпилลารี (Capillary Pore) และเกิดการแตกร้าวจากการหดตัว การหดตัวที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ แม้จะทำให้คอนกรีตเปื่อยขึ้นขึ้นมาใหม่

การแตกร้าวของคอนกรีตเกิดจากการหดตัวแบบแห้ง โดยจะเกิดขึ้นกับบริเวณผิวสัมผัสอากาศที่มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นภายในช่องว่างคาпилลารี เนื่องจากการสูญเสียน้ำโดยการระเหยไปกับอากาศ ทำให้เกิดแรงดึงในช่องว่างคาпилลารีสูงขึ้น และปริมาตรของคอนกรีตลดลงอยู่ในสภาวะถูกยึดรั้ง ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวแบบแห้ง คือ การสูญเสียน้ำออกจากคอนกรีตไปสู่บรรยากาศแวดล้อม

2. การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

การดูดซึมน้ำเป็นสมบัติที่ใช้บอกปริมาณช่องว่างในเนื้อวัสดุ หรือความพรุนของวัสดุซึ่งแสดงอยู่ในรูปร้อยละของน้ำหนักที่ดูดซึมอยู่ภายในวัสดุโดยแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้ง ดังสมการ

$$WA = \left(\frac{MW - MD}{MD} \right) \times 100 \quad [1]$$

เมื่อ WA คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

NW คือ มวลของวัสดุที่เปียก (kg)

MD คือ มวลของวัสดุที่แห้ง (kg)

3. ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับวัสดุวิศวกรรมเมื่อไม่มีแรงภายนอกมากระทำและไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาใด ๆ โดยทั่วไปความหนาแน่นของสารมักจะบอกเป็นความหนาแน่นมวลเชิงปริมาตร ดังสมการ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad [2]$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นมวลเชิงปริมาตร (kg/m^3)

m คือ มวลของสารหรือวัสดุ (kg)

v คือ ปริมาตรของสารหรือวัสดุ (m^3)

4. การนำความร้อน (Conduction)

กระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการนำความร้อน ได้แก่ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในตัวกลาง การนำความร้อนนั้นสามารถมองได้ว่าเป็นการส่งถ่ายพลังงานของอนุภาคสารที่มีพลังงานสูงกว่า ไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า เมื่ออนุภาคทั้งสองมากระทบกัน พลังงานที่ถูกส่งถ่ายคือพลังงานความร้อน และกระบวนการดังกล่าวที่เรียกว่า "การนำความร้อน" การถ่ายเทความร้อนนี้เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับทิศทางที่อุณหภูมิลดลง

4.1 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance.C)

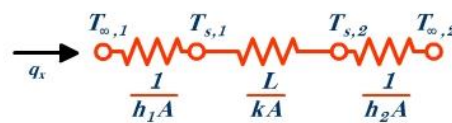
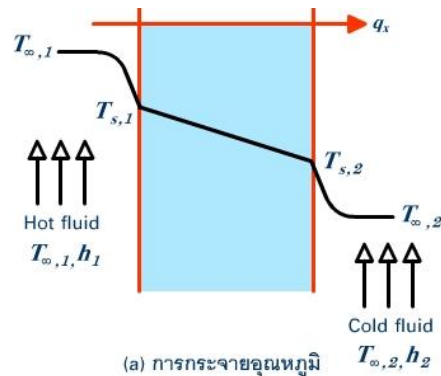
ค่าการนำความร้อนของวัสดุใด ๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน กับความหนาแน่นของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$C = \frac{k}{\Delta X} \quad [3]$$

เมื่อ C คือ ค่าการนำความร้อน โดยมีหน่วยเป็น $\text{W/m}^2\text{K}$

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน W/m.K

ΔX คือ ความหนาของวัสดุ โดยมีหน่วยเป็น m .



รูปที่ 20 แสดงลักษณะของการนำความร้อนผ่านผนังราบ

ที่มา: <http://cw.rmuti.ac.th>

4.2 ค่าการต้านทานความร้อน (Resistance, R)

ค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุใด ๆ คือ ส่วนกลับของค่าความนำความร้อน ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R = \text{หรือ} \frac{\Delta X}{k} \quad [4]$$

เมื่อ R คือ ค่าการต้านทานความร้อนมีหน่วยเป็น $\text{m}^2 \text{K/W}$

C คือ ค่าการนำความร้อนมีหน่วยเป็น $\text{W/m}^2 \text{K}$

ΔX คือ ความหนาของชิ้นวัสดุมีหน่วยเป็น m.

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity – $\text{W/m}\cdot\text{K}$)

4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity: k)

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือ ค่า “k-Value” สามารถบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุเพียงชนิดเดียว โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาจาก จุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วย หนึ่งหน่วยความหนา ในทิศทางที่ความร้อนไหลผ่าน และหน่วยวัดอุณหภูมิเป็น $\text{W/m}\cdot\text{K}$ หรือ $\text{W/m}\cdot\text{C}$ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-Value) ของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกันมาก เช่น ฉนวนใยแก้วมีค่า $0.03 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ของทองแดงมีค่า $384 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก การจะหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก ควรเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก เพราะเนื่องจากคอนกรีตบล็อกนั้นเป็นวัสดุเฉพาะที่มีลักษณะพิเศษที่ไม่เหมือนวัสดุอื่น ๆ ดังนี้

1) **โพรงอากาศ** คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่มีรูกลวงเป็นโพรงอากาศ โดยมีผนังกันโพรงเป็นตัวเชื่อมเปลือกทั้ง 2 ด้านเข้าด้วยกัน โดยจำนวนของโพรงอากาศที่มีระบุไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2533 ที่มีตั้งแต่ 1 – 3 ช่อง แต่ที่มีในท้องตลาดส่วนใหญ่จะเป็น 3 ช่อง คอนกรีตบล็อกที่มีจำนวนโพรงอากาศน้อยกว่าจะทำให้ได้ตัวต้านความร้อนใหญ่กว่าคอนกรีตบล็อกที่มีจำนวนโพรงอากาศมากกว่า ซึ่งคอนกรีตบล็อกที่มีจำนวนโพรงอากาศมากกว่าก็จะมีเปลือกกันโพรงเป็นตัวนำความร้อนมากกว่าตามไปด้วย

2) **ความหนาเปลือก** ความหนาเปลือกของคอนกรีตบล็อกนั้นระบุไว้ว่าต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 12 มม. ซึ่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปจะมีความหนาเปลือกที่แตกต่างกันตามแต่ผู้ผลิต ความหนาของเปลือกนั้นนอกจากจะส่งผลต่อค่าน้ำหนัก และความต้านแรงอัด ยังส่งผลต่อการนำความร้อน อีกด้วย โดยคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาเปลือกที่มากกว่าก็จะส่งผลให้การนำความร้อนได้ต่ำกว่า คอนกรีตบล็อกที่มีความหนาเปลือกที่น้อยกว่า

3) **ขนาด** ขนาดของคอนกรีตบล็อกที่ต่างกันก็มีส่วนทำให้การนำความร้อนมีค่าต่างกัน เพราะเนื่องจากขนาดคอนกรีตบล็อกที่ใหญ่ขึ้นก็จะส่งผลให้โพรงอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ

4) **ความหนาแน่น** ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก ไม่ได้มีระบุไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2533 แต่ความหนาแน่นนั้นส่งผลโดยตรงต่อการนำความร้อนของวัสดุ เพราะว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำการนำความร้อนก็จะมีค่าต่ำกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง

ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, ค่าการนำความร้อน, ค่าการต้านทานความร้อน และความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน

รายการ	Conductivity.k (W/m.K)	Conductance.C (W/ m ² K)	Resistance. R (m ² K/W)	Density (kg/m ³)
ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณใน การออกแบบอาคาร ฯลฯ พ.ศ. 2552	0.546	-	-	2210
CIBSE Guide A 2015 - Dense Aggregate Concrete	2.06	-	-	2400
MECHANICAL AND ELECTRICAL EQUIPMENT FOR BUILDING - 2 or 3 core. 200 mm core	-	5.1 - 5.8	0.20 - 0.17	2020-2180
MAC ² - 8 in.	-	-	1.9 (hrft ^{2.0} F/Btu) = 0.33	1.9 (Lb/ft ³) = 2162
NCMA ³ - 4 in.	-	-	1.6 (hrft ^{2.0} F/Btu) = 0.28	135 (Lb/ft ³) = 2162
1) CIBSE The Chartered Institution of Building Service Engineers 2) MAC Masonry Advisory Council 3) NCMA National Concrete Masonry Association				

ตารางที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของส่วนผสมคอนกรีตบล็อก

รายการ	ปูนซีเมนต์	ทราย	หิน
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-k)	0.72	1.74	1.83

ที่มา: The (The Chartered Institution of Building Services Engineers, 2015: 3-37)

วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

หลักการวัดค่าสภาพนำความร้อน (Thermal conductivity) สามารถพิจารณาได้จากค่าสภาพนำความร้อน (Thermal conductivity, K-Value) ซึ่งบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ โดยวัดค่าอัตราปริมาณความร้อนไหล ต่อหน่วยเวลาจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่านมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน (W/m.K) นอกจากนี้ความเป็นฉนวนกัน ความร้อนสามารถพิจารณาได้จากค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance, R-Value) ซึ่งขาคำนวณจากอัตราส่วน ของความหนาต่อค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร - เคลวิน ต่อวัตต์ (m² .K/W) ฉนวนกันความร้อน ที่ดีต้องมีค่าสภาพนำความร้อนที่ต่ำ และมีค่าความต้านทาน ความร้อนสูง ค่าสภาพนำความร้อน (k) สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (1)

$$K = Q / A \times L / \Delta T \quad [5]$$

หน่วย วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน (W/m.K) (1)

โดย k = สภาพนำความร้อน หน่วย วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน (W/m.K)

Q = ความร้อนที่ไหลผ่านต่อพื้นที่ผิวตัวอย่าง หน่วย วัตต์(W)

A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน หน่วย ตารางเมตร (m²)

L = ความหนาของชิ้นทดสอบ หน่วยเมตร (m)

ΔT = อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิววัสดุด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำ หน่วยเคลวิน (K)

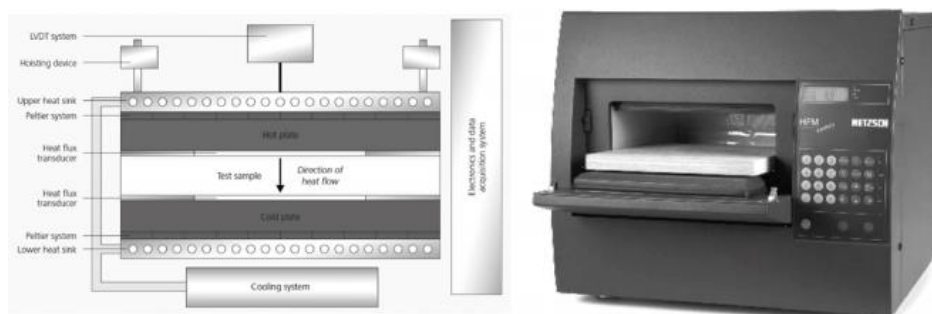
ค่าความต้านทานความร้อน (R) สามารถคำนวณได้ จากสมการที่ (2) $k L R = R$ 1 U= รูปที่ 2 ขั้นตอนการถ่ายเทความร้อนเมื่ออนุภาคได้รับความร้อน โมเลกุลสั่นสะเทือนและถ่ายเทพลังงานให้โมเลกุลที่อยู่ติดกัน $k = Q L$

$$R = L / K \text{ หน่วย ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์}(m^2 .K/ W) (2)$$

และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfercoefficient, U-value)คือส่วนกลับของค่าความ ต้านทานความร้อน

$$U = 1 / R \text{ หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน } (W/m^2 .K) (3)$$

การทดสอบแบบ Heat Flow Meter การทดสอบหาค่าสภาพนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนกันความร้อน แบบ Heat Flow Meter ตามมาตรฐาน ASTM C 518, ISO 8301, BSEN 12667 และ JIS A 1412 ใช้หลักการของการถ่ายเทความร้อนคือพลังงาน ความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปบริเวณที่มี อุณหภูมิต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3 (a) ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ ชิ้นทดสอบจะนำมาไว้ในสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิ 22 ± 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 50 ± 10 อย่างน้อย 24 ชั่วโมง โดยมวลของชิ้นทดสอบ มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 1 หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบ ใส่เข้าเครื่องทดสอบโดยวางอยู่ระหว่างแผ่นความร้อนและ แผ่นความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3 (b) จากนั้นตั้งค่าอุณหภูมิ ให้แตกต่างกัน (ΔT) ระหว่างแผ่นอุณหภูมิความร้อนและ แผ่นความเย็น ภายในเครื่องทดสอบมีฉนวนล้อมรอบตลอด แนวความหนาของแผ่นอุณหภูมิและชิ้นทดสอบเพื่อให้ป้องกัน การสูญเสียความร้อน เครื่องจะวัดแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากเซ็นเซอร์วัดฟลักซ์ที่ติดอยู่กับผิวของแผ่นอุณหภูมิทั้งสองโดยการ วัดการไหลของความร้อนและอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างแผ่น ทั้งสอง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady-state condition) ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์บริการโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม ให้บริการทดสอบหาค่าสภาพนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนสำหรับฉนวนกันความร้อนคอมโพสิต ด้วยเครื่อง NETZSCH HFM 436 เป็นการทดสอบแบบ HeatFlow Meter โดยตัวอย่างต้องมีขนาดกว้าง 300 มม. ยาว 300 มม. และความหนาอยู่ในช่วง 6 -80 มม.

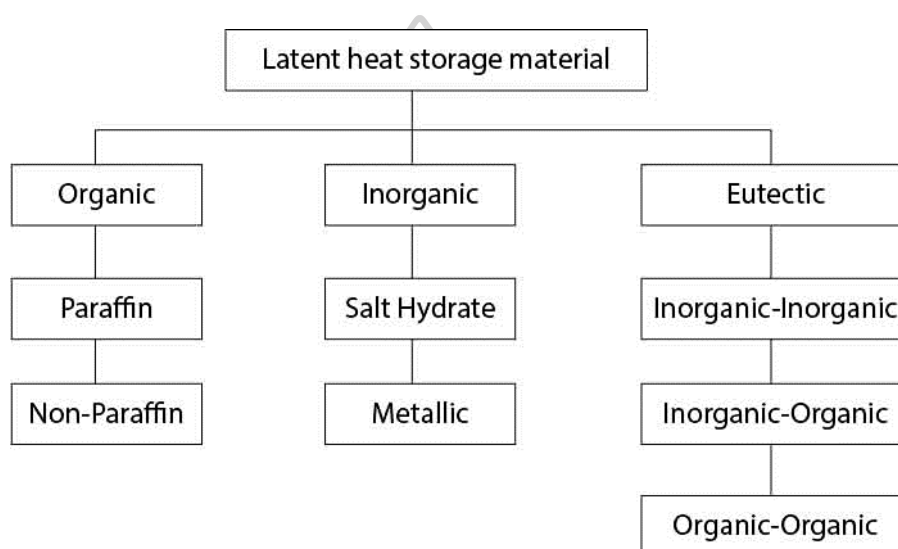


รูปที่ 21 แสดงลักษณะของเครื่อง HFM 436/3 Lambda ที่ใช้หลักการแบบ Heat Flow Meter

ที่มา: (American Society for Testing and Material, 2010: 152-166)

วัสดุเปลี่ยนสถานะ [Phase Change Materials (PCM)]

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเรื่อง วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จำนวนมากเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน ในหลายๆด้าน แต่ปัจจัยหลักที่ควรมีการศึกษา คือ ชนิดของ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และช่วง อุณหภูมิของการหลอมเหลวของ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เพื่อจะได้นำมาใช้งานได้ถูกต้องและ เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการใช้ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สารอินทรีย์(organic) , สารอนินทรีย์ (inorganic) และสารยูเทกติก (eutectic) หรือสารหลาย องค์ประกอบชนิดอื่น



รูปที่ 22 ประเภทของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

ที่มา: (กันยรัตน์ โหละสุด, ประสงค์ วงศ์วิชา และคณะ, 2551)

วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) นั้นมีหลากหลายประเภท เช่น Paraffin , Non- Paraffin และ Eutectic เป็นต้น ฉะนั้นการเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จึงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติทางเคมีและ ทางกายภาพที่เหมาะสมกับงานที่ใช้ เช่น คุณสมบัติในการกักเก็บปริมาณความร้อนที่เหมาะสม มีช่วง ของการหลอมเหลวที่เหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้ ไม่เป็นพิษ ใช้งานง่ายในสภาพความกดดัน บรรยากาศ มีความเสถียรและทนทานต่อการเสื่อมสภาพ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและระบบที่ใช้งาน และสามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยไม่มีการเสื่อมสภาพเมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานาน

การศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานความร้อน ทำการทดลองโดยการนำ Paraffin technical grade ที่ผ่านการใช้งานในการกักเก็บความร้อนในท่อ รูปแบบต่างๆ มาทดสอบด้วยวิธี Differential Scanning Calorimetry (DSC) มีวิธีการทดลองโดย ใส่ Paraffin ในถาด 2 ถาด ถาดแรกคือ Paraffin ใช้แล้ว ถาดที่สองคือ Paraffin ใหม่ ให้ความร้อน

โดยการควบคุมให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากัน พบว่า ช่วงอุณหภูมิหลอมละลายลดลง 0.2°C และความจุความร้อนเพิ่มขึ้น 2.3% เนื่องมาจากการปนเปื้อนระหว่างการทำงานรวมทั้งได้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงข้อดีข้อเสียของวัสดุชนิดต่าง ๆ การนำมาใช้เป็นวัสดุกักเก็บความร้อนโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนเฟส phase change material (วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)) มีดังนี้

1) Parafin เป็น Wax ที่เป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งกลั่นแยกออกจากน้ำมันดิบ มีชื่อสามัญว่า Parafin Wax (Paraffin wax) สูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ จำนวนคาร์บอนในห่วงโซ่โมเลกุล 19 - 36 อะตอม ($\text{C}_{19} - \text{C}_{36}$) ในสภาวะปกติมีลักษณะเป็นของแข็ง มีสีเหลืองอ่อนถึงขาว จุดหลอมเหลวประมาณ 47 - 64 องศาเซลเซียส จุดเดือดประมาณ 150 - 275 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในน้ำ สามารถใช้ประโยชน์ได้มากมาย และมีหลายสถานะด้วยกัน Parafin มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้เป็นวัสดุกักเก็บความร้อน สำหรับการกักเก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อดี: มีความร้อนในการหลอมเหลวสูง , เกิด Super Cooling น้อย , มีความดันไอต่ำ , ไม่เกิดการแยกเฟสเป็นชั้นๆ และมีราคาที่เหมาะสมคุ้มค่า

ข้อเสีย: นำความร้อนต่ำ (สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการใส่ Metallic fitters หรือ finned tube) และปริมาตรเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะ ต้องเลือกรูปแบบของภาชนะให้เหมาะสม

2) กรดไขมัน (Fatty acid) เป็นกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) ซึ่งมีหางเป็นโซ่แบบอะลิฟาติกยาว มีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว (saturated) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated) กรดไขมันจะมีคาร์บอน อย่างน้อย 8 อะตอม และส่วนใหญ่จะเป็นจำนวนเลขคู่ มีคุณสมบัติค่อนข้างดี มีความร้อนในการหลอมเหลวใกล้เคียง Parafin แต่มีข้อเสียคือ ราคาแพงกว่า Parafin

3) ของผสม Eutectic เป็นของผสมจำพวกเกลือ มีจุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็งที่แน่นอน มีคุณสมบัติค่อนข้างดี ใช้ในการกักเก็บพลังงานความร้อน แต่เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะที่มีอุณหภูมิต่ำ - กลาง

4) น้ำ

ข้อดี: มีคุณสมบัติที่ดีมากและเหมาะสมที่สุดในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ มีค่าความร้อนจำเพาะสูง ราคาถูก หาง่าย

ข้อเสีย: ต้องใช้ฉนวน และถึงรับแรงดันที่ราคาค่อนข้างสูง

5) **ปิโตรเลียม** เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอันสลับซับซ้อน ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ในชั้นหินใต้ผิวโลก มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ ไฮโดรเจน และ คาร์บอน ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์สารจำนวนมากทับถมกันในหินตะกอน ภายใต้ความร้อนและความดันมหาศาล เมื่อนำมากลั่นจำได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ก๊าซหุงต้ม น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ยางมะตอย รวมทั้งเคมีภัณฑ์ต่างๆ เช่น ปุ๋ยเคมี ยาปราบศัตรูพืช พลาสติก และยางสังเคราะห์ เป็นต้น เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุก็เก็บความร้อน จะมีข้อดี ข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี: ความดันไอต่ำกว่าน้ำ ดำเนินงานได้ที่อุณหภูมิสูง

ข้อเสีย: มีราคาสูง

6) **โลหะ** คือ วัสดุที่ประกอบด้วยธาตุโลหะที่มีอิเล็กตรอนอิสระผสมอยู่มากมาย นั่นคือ อิเล็กตรอนเหล่านี้ไม่ได้เป็นของอะตอมใดอะตอมหนึ่งโดยเฉพาะ ทำให้มีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีมาก , ผิวของโลหะที่ขัดเรียบและเป็นมันวาว โลหะมีความแข็งแรงพอสมควรและสามารถแปรรูปได้จึงถูกใช้งานในด้านโครงสร้างอย่างกว้างขวาง สามารถดำเนินงานในการใช้งานเพื่อกักเก็บอุณหภูมิได้ที่อุณหภูมิสูงมากถึง 1400 องศาเซลเซียส แต่มีราคาแพง (S.M. Hasnain, 1998: 1127-1138)

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบคุณสมบัติข้อดี - ข้อเสีย ของวัสดุชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้เป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

ชนิดวัสดุ	ข้อดี	ข้อเสีย
Parafin	<ul style="list-style-type: none"> - ความร้อนในการหลอมเหลวสูง - เกิด Super Cooling น้อย - ความดันไอน้ำต่ำ - ไม่เกิดการแยกเฟส - ราคาเหมาะสมคุ้มค่า 	<ul style="list-style-type: none"> - นำความร้อนต่ำ - ปริมาตรเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก <p>เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะ (ข้อเสียทั้ง 2 ข้อ สามารถแก้ไขได้)</p>
กรดไขมัน	<ul style="list-style-type: none"> - ความร้อนในการหลอมเหลวสูง ใกล้เคียง Parafin 	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาสูงกว่า Parafin
ของผสม Eutectic	<ul style="list-style-type: none"> - มีจุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็งที่แน่นอน 	<ul style="list-style-type: none"> - เหมาะสมกับการกักเก็บความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ-กลาง
น้ำ	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าความร้อนจำเพาะสูง - ราคาถูก หาได้ง่าย - เหมาะสมที่สุดในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องใช้ฉนวนและถังรับแรงดัน ทำให้สิ้นเปลือง

ชนิดวัสดุ	ข้อดี	ข้อเสีย
ปิโตรเลียม	- ความดันไอลดกว่าน้ำ - ดำเนินงานได้ที่อุณหภูมิสูง	- ราคาสูง
โลหะ	- เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดีมาก - ดำเนินงานได้ที่อุณหภูมิสูงมาก ถึง 1400 องศาเซลเซียส	- ราคาสูง

TES (Thermal Energy Storage) คือ การจัดเก็บชั่วคราวของพลังงานที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำเพื่อใช้ในภายหลัง ตัวอย่างเช่น การจัดเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนในช่วงกลางวัน การกักเก็บความร้อนในช่วงฤดูร้อนสำหรับใช้งานในช่วงฤดูหนาว การกักเก็บของน้ำแข็งในช่วงฤดูหนาวเพื่อเป็นที่ระบายความร้อนในช่วงฤดูร้อนและกักเก็บรักษาความร้อนหรือความเย็นที่สร้างด้วยระบบไฟฟ้าในช่วงเวลาไม่พีก เพลิ่งฟอสซิล เพื่อใช้ในช่วงพีกในเวลาต่อมา พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เหมือนกับพลังงานจากเชื้อคือ ไม่สามารถใช้ได้ตลอดเวลา แม้ไหลระบายความร้อนมีค่าเข้าใกล้ระดับความร้อนสูงของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จึงเป็นกลไกสำคัญที่จะชดเชยความไม่ตรงกันของความพร้อมและความต้องการนี้

ระบบการกักเก็บพลังงานความร้อน (TES Thermal Energy Storage) คือสิ่งจำเป็นต่อระบบกำลังของพลังงานแสงอาทิตย์เพราะการป้อนพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบมีความผันผวนซึ่งเกิดจากปัจจัยหลายๆอย่าง เนื่องจากประเภทของการกักเก็บพลังงานมีความหลากหลาย การเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของพลังงานแสงอาทิตย์ และธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความสะทกสะท้านในช่วงนั้น ๆ เช่น กลางวัน กลางคืน หน้าหนาว หน้าร้อน (Ibrahim Dincer และ Sadik Dost, 1996: 547-557)

การเปลี่ยนแปลงของบางวัสดุจะมีสมบัติอย่าง การหด , การสีกกร่อน เข้ามาเป็นปัจจัยส่วนนี้จึงทำให้เกิดการแบ่งชั้นภายในภาชนะบรรจุตามลำดับ ความแปรปรวนของของแข็งที่ใช้กักเก็บพลังงานเกิดจากขนาดของวัสดุ การออกแบบที่ดีขนาดของของแข็งควรมีความหลากหลายเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีในการกักเก็บพลังงานความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนระหว่างอากาศและของแข็งจะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อวัสดุที่ใช้ในการกักเก็บพลังงานราคาถูก

ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) เป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปแต่สถานะยังคงเดิม เช่น น้ำมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อถูกเพิ่มปริมาณความร้อนเข้าไป ทำให้น้ำนั้นมีอุณหภูมิสูง และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 100 องศาเซลเซียส หรือเรียกว่า “จุดเดือดของน้ำ” ปริมาณความร้อนน้ำทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด เรียกว่า “ความร้อนสัมผัส”

ความร้อนแฝง (latent heat storage) คือ ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ทำให้สารหนึ่งๆ (หรือดึงออกจากสาร) แล้วทำให้สารนั้นเปลี่ยนแปลงสถานะภายใต้อุณหภูมิคงที่ ชนิดของวัสดุ คือน้ำ/น้ำแข็ง , เกลือไฮเดรต และพอลิเมอร์อื่นๆ ความหนาแน่นของพลังงานสำหรับความร้อนแฝงในการกักเก็บมีค่ามากกว่าความร้อนสัมผัสในการกักเก็บ ซึ่งเกิดจากในอุปกรณ์ขนาดเล็กกว่าแสงมากกว่าและการกักเก็บสูญเสียต่ำอย่างไรก็ตาม แต่การใช้ความจุความร้อนแฝงของวัสดุก็กักเก็บจะแปรผันกับปริมาตรกักเก็บที่เล็กกว่า การกักเก็บที่อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ตัวสะสมสามารถให้ประสิทธิภาพมากที่สุดและความร้อนสูญเสียมีค่าน้อยสุด ประโยชน์สำคัญของความร้อนแฝงกักเก็บใน วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จะให้พลังงานสูง

ความร้อนจากปฏิกิริยาเคมี (calorimetry) คือ พลังงานความร้อนของสารเชื้อเพลิง ขณะสารเชื้อเพลิงเผาไหม้จะปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา

ตารางที่ 11 Available media for TES

Category	Storage Duration	Storage Technology
Sensible Heat	Short term	-rock bins
		-earth beds
		-water tank
	Annual	-solar ponds
		-large tanks
		-earth
		-rock beds
Latent Heat	Short term	-salt hydrates
		Organic materials
Chemical Heat		-chemical heat
		-pump

ที่มา : Mehling (Harald Mehling และ Luisa F. Cabeza, 2008)

ตารางนี้แสดงความสามารถของตัวกลางที่ใช้กักเก็บพลังงานความร้อนโดยทั่วไป ซึ่งพบว่าความร้อนสัมผัสพบได้ทั้งในการกักเก็บในช่วงเวลาสั้นๆ และแบบรายปีและความร้อนแฝงพบแค่ในการกักเก็บพลังงานในช่วงสั้น ๆ เท่านั้น

วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในอุดมคติควรมีเป็นไปตามเงื่อนไข ดังนี้

- 1) มีอุณหภูมิในการเปลี่ยนเฟสที่เหมาะสม
- 2) ความร้อนแฝงมีค่าสูง
- 3) ค่าใช้จ่ายต่ำ
- 4) พร้อมสำหรับใช้งาน
- 5) ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ
- 6) มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเหมือนกัน (ไม่มีการระบายความร้อนย่อยหรือการแยกตัวกัน)
- 7) มีอายุยาวนานโดยการเปลี่ยนสถานะซ้ำไปซ้ำมา

วัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติ

Wax จัดเป็นไขมันประเภทหนึ่งที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าไขมันปกติที่เราบริโภคมาก Wax ธรรมชาติได้จากพืชหรือแมลง เช่น ขี้ผึ้ง , Shellac , Wax จากใบต้นปาล์มคาร์นาวาบา (Carnauba wax หรือ Brazil Wax) และได้จากสารสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งกินได้ Wax เหล่านี้ได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (USFDA) ให้เป็นวัตถุเจือปนอาหารประเภท GRAS (Generally Recognized as Safe) ซึ่งมีหลักฐานการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่พิสูจน์ได้ว่ามีความปลอดภัยต่อการบริโภคและสามารถใช้ในมนุษย์ได้

ลักษณะของ Wax แต่ละประเภท

- 1) Paraffin Wax เป็น Wax ที่สกัดจากปิโตรเคมี



รูปที่ 23 แสดงลักษณะของ Paraffin Wax เป็น Wax ที่สกัดจากปิโตรเคมี

ที่มา: <https://thai.alibaba.com/product-detail/best-wholesale-websites-fully-refined-paraffin-wax-price-food-grade-paraffin-wax-60282561098.html>

2) Wax จากไขถั่วเหลือง (Soy Wax) ได้จากการสกัดน้ำมันถั่วเหลือง



รูปที่ 24 แสดงลักษณะของ Wax จากไขถั่วเหลือง Soy Wax ได้จากการสกัดน้ำมันถั่วเหลือง

3) Wax จากรังผึ้ง (Bee Wax)



รูปที่ 25 แสดงลักษณะของ Wax จากรังผึ้ง (Bee Wax)

ที่มา: https://ghana.tradeford.com/gh332272/natural-yellow-white-bee-wax-pellets_p398875.html

4) Wax จากต้นปาล์ม (Palm Wax) ได้มาจากการสกัดน้ำมันปาล์มจากปาล์มธรรมชาติ



รูปที่ 26 แสดงลักษณะของ Wax จากต้นปาล์ม (Palm Wax)

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับราคาไขถั่วเหลืองจะมีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ Parafin พบว่า ไขถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่ทำจากพืชสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และสามารถปลูกทดแทนทรัพยากรได้เมื่อเทียบกับ Parafin ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม ดังนั้นไขถั่วเหลืองจึงถือเป็นวัตถุดิบ “สีเขียว” ไขถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบจากพืชไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถปลูกทดแทนได้ (Dorothy Bunny Bowen, 2005) ลักษณะของไขถั่วเหลือง เป็นพืชที่ทำมาจากน้ำมันถั่วเหลือง หลังการเก็บเกี่ยวมีการทำความสะอาด ปีบ และรีดเป็นสะเก็ด น้ำมันสกัดจากระบบไฮโดรเจนเพื่อแยกประเภทไขมันให้เหลือแต่ไขมันที่สามารถแข็งตัวได้ในอุณหภูมิห้อง สำหรับเศษเปลือกถั่วเหลืองยังสามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้อีกด้วย กระบวนการไฮโดรเจนจะแปลงบางส่วนของกรดไขมันในน้ำมันพืชถั่วเหลืองจุดหลอมเหลวของน้ำมันทำให้เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องได้ อายุการใช้งานนานกว่า Parafin SOY WAX หรือ ไขถั่วเหลือง ผลิตจาก น้ำมันถั่วเหลืองปลอดภัยต่อสุขภาพ (เนื่องจากไม่มีสารพิษ โทลูอินและเบนซีน) ไม่มีกลิ่นน้ำมัน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ส่วนคาร์นูบาร์Wax (Carnauba wax) เป็นไขที่ได้จากใบของปาล์มคาร์นูบาร์ (Copernicia prunifera) ซึ่งขึ้นเฉพาะทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล มีลักษณะเป็นเกล็ดสีเหลืองน้ำตาล แข็งและเปราะ คาร์นูบาร์เป็นไขธรรมชาติที่แข็งที่สุด ประกอบด้วยกรดไขมันกว่า 80% ที่มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 82-86°C ไม่ละลายในน้ำและเอทานอล มีความบริสุทธิ์สูง จัดเป็นWaxที่แข็งที่สุดมีส่วนผสมหลักเป็นกรดคาร์นูบิก คาร์นูบาร์Wax Carnauba จะแข็งมากเมื่อมันอยู่ในรูปธรรมชาติ ซึ่งเมื่อนำมาทำWaxจะต้องนำมาบดกับน้ำมัน หรือ Solvent Naptha เพียง1/3 ของ Carnauba ที่มีคุณภาพดีสำหรับการทำWax เกรดของ Carnauba จะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และสีของมัน และที่ ๆ มันเจริญเติบโต ถ้ามาจากตอนเหนือของบราซิลจะมีคุณภาพสูง yellow wax จะมีความบริสุทธิ์สูงสุดและคุณภาพดีที่สุด บางโรงงานจะทำการกรอง yellow wax อีกครั้งให้มีความบริสุทธิ์สูงสุดเป็น white wax เพื่อให้ความใสและสะท้อนความเงางามได้ยอดเยี่ยม และเนื่องจาก Carnauba ทำมาจากต้นปาล์มในประเทศบราซิล ซึ่งมีความร้อนและความชื้นสูงเป็นพิเศษทำให้มันมีคุณสมบัติปกป้องรังสี UV , ความร้อน , ความชื้น , การกัดกร่อน และมลภาวะจากธรรมชาติได้ดีมาก ซึ่งอาจจะไม่คงทนเท่า Wax แบบสังเคราะห์ (Synthetic) ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศ ยิ่งความร้อน ความชื้นสูง ความคงทนจะยิ่งน้อยลง

ชนิดของพืชที่มีเส้นใยเซลลูโลสที่ผสมในคอนกรีตบล็อก

1. พืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่

สามารถแบ่งพืชโดยการจำแนกจากใบเลี้ยง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) และ พืชใบเลี้ยงคู่ (Dicotyledon) โดยใบเลี้ยงของพืชนี้จะทำหน้าที่สะสมอาหารเพื่อเลี้ยงต้นอ่อนขณะงอก และเป็นส่วนที่งอกออกมาจากเมล็ดตามหลังราก หรืออาจจะพร้อม ๆ กันกับราก ใบเลี้ยงเดี่ยวของพืชบางชนิดยังมาพร้อมกับคลอโรฟิลล์ตั้งแต่เริ่มทำให้มันสามารถเริ่มการสังเคราะห์ด้วยแสง เตรียมเป็นพลังงานให้กับต้นพืชได้เติบโต แต่เมื่อสารอาหารที่สะสมอยู่ในใบหมดไป และต้นโตพอที่จะมีใบแท้ (Foliage leaf) ออกมาแล้ว ใบเลี้ยงก็จะเริ่มแห้งเหี่ยวหลุดไปในที่สุด (Plook Creator, 2560)

1.1 พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon)

พืชใบเลี้ยงเดี่ยวคือ พืชที่เมื่อใบแรกแทงออกมาจากเมล็ด มีใบเดี่ยว และเมื่อเติบโตขึ้นจะเห็นลำต้นเป็นข้อปล้องอย่างชัดเจน ได้แก่ พืชจำพวกหญ้า ข้าว ข้าวโพด อ้อย ไม้ พืชเหล่านี้จะมีใบเรียงตัวเป็นเลขคี่หรือใบเดี่ยว เส้นบนใบจะเรียงตัวแบบขนานไปตามแนวยาวของใบ ลำต้นมักเรียวยาว และเป็นพืชล้มลุกเป็นส่วนใหญ่ พืชในกลุ่มนี้มีระบบรากฝอย แน่นหนาว่าพวกมันมีดอก และจำนวนกลีบดอกของพืชกลุ่มนี้จะมี 3 กลีบหรือทวีคูณของ 3



รูปที่ 27 แสดงลักษณะของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

ที่มา: (Plook Creator, 2560)

พืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีมัดท่อลำเลียงแบบกระจาย นั่นแปลว่า หากนำต้นพืชมาตัดขวางจะเห็นท่อลำเลียงกระจายไปทั่ว ที่สำคัญคือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยวไม่มีการเจริญออกด้านข้าง กล่าวคือ ไม่มีกิ่งก้านสาขาออกด้านข้าง อายุของพืชกลุ่มนี้จะสั้นอาจมีอายุเพียง 1 ปีหรือมากกว่านั้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม พืชกลุ่มนี้โตได้ไวกว่าพืชใบเลี้ยงคู่มาก หากเป็นพืชกลุ่มการเกษตรก็จะเป็นกลุ่มที่ให้ผลผลิตได้รวดเร็ว เช่น อ้อย ข้าวโพด ข้าว ซึ่งใช้เวลาไม่ถึง 1 ปีก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้แล้ว



รูปที่ 28 แสดงลักษณะมัดท่อลำเลียงของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

ที่มา: (Plook Creator, 2560)

1.2 พืชใบเลี้ยงคู่ (Dicotyledon)

พืชใบเลี้ยงคู่จะงอกออกจากเมล็ดพร้อมกับใบเลี้ยง 2 ใบ และเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะเห็นข้อและปล้องในส่วนของลำต้นไม่ชัดเจน เนื่องจากมันมักจะมีเปลือกแข็งห่อหุ้ม และยังมีการเจริญเติบโตออกด้านข้าง มีกิ่งก้านสาขา แผ่ทุกทิศทางเพื่อเก็บเกี่ยวแสงแดดได้มากกว่า รากของพืชใบเลี้ยงคู่เป็นระบบรากแก้ว และนั่นทำให้ต้นของพืชใบเลี้ยงคู่มีความมั่นคงมากกว่า ทั้งยังมีอายุยาวนานกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยวด้วย



รูปที่ 29 แสดงลักษณะของพืชใบเลี้ยงคู่

ที่มา: (Plook Creator, 2560)

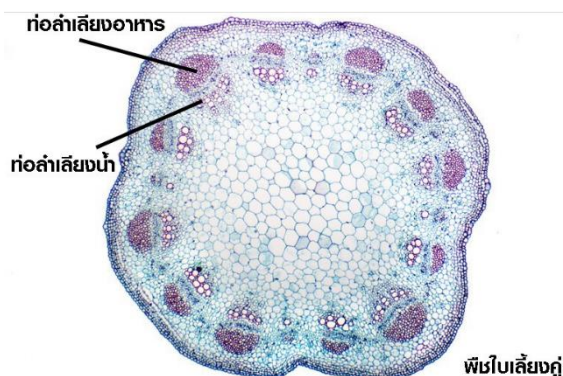
แกนกลางของลำต้นพืชกลุ่มนี้จะไม่มีท่อลำเลียง แต่จะเป็นเนื้อไม้ซึ่งมีความแข็งแรงคงทน ส่วนท่อลำเลียงจะจัดเรียงเป็นวงอย่างมีระเบียบอยู่รอบลำต้น ส่วนใบของพืชกลุ่มนี้มีลักษณะกว้าง มีการแตกแขนงเป็นร่างแหออกจากแกนกลางของใบ จำนวนของกลีบดอกจะมี 4 - 5 กลีบ หรือทวีคูณของ 4 - 5 หากปลูกพืชใบเลี้ยงคู่เพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต ส่วนใหญ่มักต้องใช้เวลา นานกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยวถึงจะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ทั้งนี้ยังมีความแตกต่างกันอีกมากระหว่างพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่ อย่างเช่น ลักษณะโครงสร้างของเกสร หรือปากใบ (Stomata) แต่มันยากที่จะสังเกตเห็นชัด

ดี
ตาเปล่า

ว

ย





รูปที่ 30 แสดงลักษณะมัดท่อลำเลียงของพืชใบเลี้ยงคู่
ที่มา: (Plook Creator, 2560)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเหมาะสมที่จะนำมาทำวิจัย เนื่องจากมีท่อลำเลียงอาหารและน้ำ โดยมีมัดท่อลำเลียงแบบกระจายขึ้นไปทางตั้งทำให้มีช่องว่างที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ในการวิจัยนี้ และนิยมนำไปทำวิจัยการใช้เส้นใยพืชผสมกับคอนกรีตบล็อกเพื่อลดน้ำหนักและคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตบล็อก

2. ส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ

ผลกาแฟ หรือ เชอรี่กาแฟ นั้นจะมีรูปร่างหน้าตาและสีแตกต่างกันไปตามชนิดของต้นกาแฟ เช่นต้นกาแฟบางชนิดอาจจะมีผลเชอรี่ทรงรีและมีสีแดงหรือสีเหลืองทรงกลม แต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นเชอรี่กาแฟสีไหนหรือชนิดไหนก็จะมีส่วนประกอบหลักเหมือนกัน ซึ่งรูปร่างหน้าตาของเชอรี่กาแฟนั้นจะเป็นดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 31 ลักษณะของเมล็ดกาแฟ

ที่มา: <https://www.coffeefavour.com/chemical-compounds-in-coffee/>

เมล็ดกาแฟ (Coffee Bean) อเมสิตของผลเชอร์รี่จากต้นไม้พุ่มในวงศ์ *Coffea* ผลกาแฟที่สุกแล้วตอนอยู่บนต้นจะเป็นผลไม้สีแดง ก่อนจะนำไปแปรรูปเป็นเมล็ดกาแฟด้วยการปอกเปลือกนอกออกแล้วนำไปตากแห้งก่อนจะเข้าสู่กระบวนการคั่วกาแฟ



รูปที่ 32 ลักษณะของเมล็ดกาแฟคั่ว (Coffee Bean)

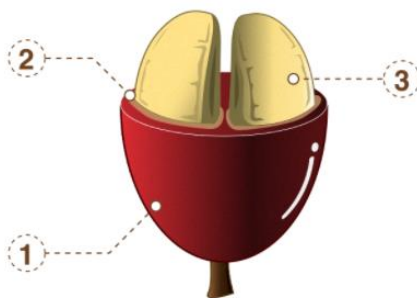
ที่มา: <https://farm.co.th/>



รูปที่ 33 ลักษณะของเชอร์รี่กาแฟ (Coffee Cherry)

ที่มา: <https://farm.co.th/>

โดยทั่วไปแล้วภายในของเชอร์รี่กาแฟจะประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อหลายชั้นซึ่งมีน้ำตาลและทำหน้าที่แตกต่างกัน



รูปที่ 34 ลักษณะส่วนประกอบของเปลือกเมล็ดกาแฟ ส่วนที่ 1-3

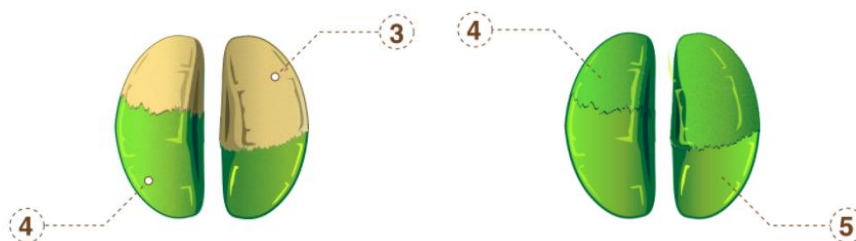
ที่มา: <https://beanshere.com/posts/coffee-cherry-physiology-3/>

1) **ผิว หรือ เปลือก** หรือ ชื่อทางวิทยาศาสตร์ อีพิการ์ป (อีพิ = ชั้นนอกสุด, คาร์ป = ผลไม้) โดยสีของผิวจะแตกต่างกันตามชนิดของกาแฟ หรือระดับความสุกของกาแฟ ซึ่งเริ่มจากสีเขียวไปจนถึงสีแดงเมื่อผลกาแฟสุก นับได้ว่าเป็นเนื้อเยื่อชั้นแรกที่คอยปกป้องเมล็ดกาแฟ

2) **มิวซีเลจ หรือ เมโซคาร์ป** (เมโซ = กลาง, คาร์ป = ผลไม้) หรือที่เรา รู้จักกันว่าเมือก เป็นชั้นเนื้อเยื่อหุ้มกะลาไว้ มีลักษณะลื่นและหวาน ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายชนิด เช่น น้ำตาล และโปรตีน ซึ่งจะเป็ นวัตถุดิบสำคัญสำหรับการโพรเสสกาแฟ โดยที่สารอินทรีย์เหล่านี้จะเป็นอาหารให้จุลินทรีย์เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ หรือ อื่น ๆ ในระหว่างกระบวนการหมักซึ่งจะทำให้เกิดสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่ส่งผลต่อรสชาติของกาแฟ เช่น กรดอะซิติก

3) **พาร์ชเมนต์ หรือ เอนโดคาร์ป** (เอนโด = ข้างใน, คาร์ป = ผลไม้) หรือเรียกกันว่ากะลา โดยจะเป็นชั้นในสุดของผลกาแฟ ทำหน้าที่ปกป้องเมล็ดกาแฟที่อยู่ด้านในทั้งก่อนและหลังจากการโพรเสสภายหลังจากการโพรเสสเสร็จสิ้น กะลาจะมีลักษณะคล้ายกับกระดาษแห้ง และเปราะ

4) **สเปิร์มโมเดิร์ม หรือ เทสด้า หรือ ซิลเวอร์สกิน** เป็นเนื้อเยื่อบาง ๆ ห่อหุ้มเมล็ดกาแฟ และเป็นจุดเริ่มต้นของเมล็ดกาแฟ

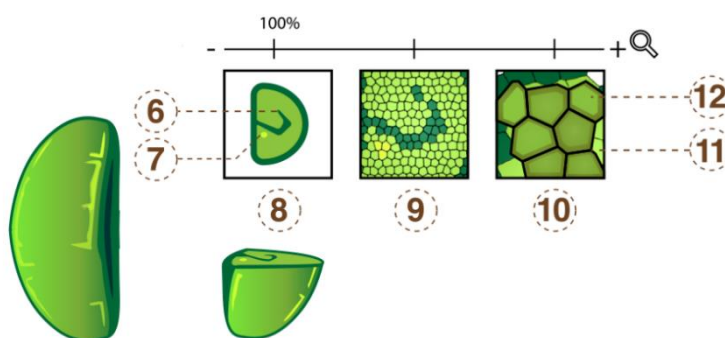


รูปที่ 35 แสดงลักษณะส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ ส่วนที่ 3-5

ที่มา: <https://beanshere.com/posts/coffee-cherry-physiology-3/>

5) เอนโดสเปิร์ม หรือ กาแฟสาร เป็นส่วนที่ใช้สะสมอาหารสำหรับเอ็มบริโอซึ่งเป็นส่วนที่สะสมสารอาหารต่างๆที่จะถูกนำไปใช้โดยเอ็มบริโอสำหรับการเจริญเติบโตเป็นต้นกาแฟต้นใหม่ และก็ยังเป็นส่วนสำคัญต่อรสชาติของกาแฟ เพราะสารอินทรีย์ที่ถูกสะสมไว้สำหรับเอ็มบริโอจะถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นรสชาติของกาแฟระหว่างกระบวนการคั่ว

6) ร่องของเมล็ดกาแฟ หรือ กรู๊ฟ หรือ คัท เป็นบริเวณที่ไม่ได้ส่งผลต่อรสชาติ แต่เกิดจากกระบวนการเติบโตของเมล็ดกาแฟ



รูปที่ 36 แสดงลักษณะส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ ส่วนที่ 6-12

ที่มา: <https://beanshere.com/posts/coffee-cherry-physiology-3/>

7) เอ็มบริโอ หรือตัวอ่อน ไม่ได้มีลักษณะเป็นชั้นเหมือนชั้นอื่น ๆ แต่จะเป็นส่วนเล็ก ๆ อยู่ก่อนไปทางปลายของเมล็ดกาแฟ แต่เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดที่สามารถส่งผลต่อการคงอยู่ของเมล็ดกาแฟโดยเอ็มบริโอมีหน้าที่จะต้องเติบโตไปเป็นต้นกาแฟต้นใหม่ ถ้าเอ็มบริโอตายก็จะทำให้เมล็ดกาแฟนั้นเริ่มเสื่อมสภาพไปด้วย ซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไมถึงต้องมีเนื้อเยื่อหลาย ๆ ชั้นคอยปกป้องชั้นส่วนสำคัญชั้นนี้

8) แสดงภาพตัดขวางก่อนมาทางข้างล่างของเมล็ดกาแฟ ซึ่งจะเห็นร่องตรงกลางของเมล็ดกาแฟ และ เอ็มบริโอได้ชัดขึ้น

9) ถ้าเพิ่มกำลังขยายเข้าไปก็เริ่มเห็นโครงสร้างของเซลล์ ซึ่งจะเห็นเป็นรูเล็ก ๆ มากมายที่เกิดจากผนังเซลล์ (11) ของเซลล์แต่ละเซลล์

10) เมื่อเพิ่มกำลังขยายมากขึ้นก็เห็นโครงสร้างของเซลล์ได้ชัดเจนมากขึ้น โดยจะเห็นเป็นในส่วนของเซลล์มีชีวิต (12) อยู่ภายในผนังเซลล์ (11); ซึ่งเป็นโครงสร้างแข็งแรงล้อมรอบเซลล์พืช ซึ่งเซลล์เหล่านี้ (12) เป็นแหล่งกักเก็บสารอินทรีย์ต่างๆ ที่จะกลายเป็นรสชาติของเมล็ดกาแฟ (SIRICHAJ, 2559)

การแปรรูปผลผลิตกาแฟ

การเลือกผลกาแฟที่มีคุณภาพ เกษตรกรจะใช้มือคอยเก็บผลกาแฟที่สมบูรณ์ โดยจะเลือกเก็บผลกาแฟที่สุกแล้วเต็มที่ โดยกาแฟจะมีสีแดงลักษณะคล้ายเชอรี่ เรียกว่า กาแฟเชอรี่ (Coffee Cheery)

การแปรรูปผลผลิตกาแฟโดยวิธีเปียก (Wet Method or Wash Method) เป็นวิธีการที่นิยมกันแพร่หลาย สุดท้ายจะได้เปลือกกะลากาแฟออกมา

- 1) การปอกเปลือก (Pulping)
- 2) การกำจัดเมือก (demucilaging)
- 3) การตากหรือการทำแห้ง (Drying)
- 4) การบรรจุ (Packing)
- 5) การสีกาแฟกะลา (Hulling)



รูปที่ 37 แสดงลักษณะของการปอกเปลือก (Pulping)

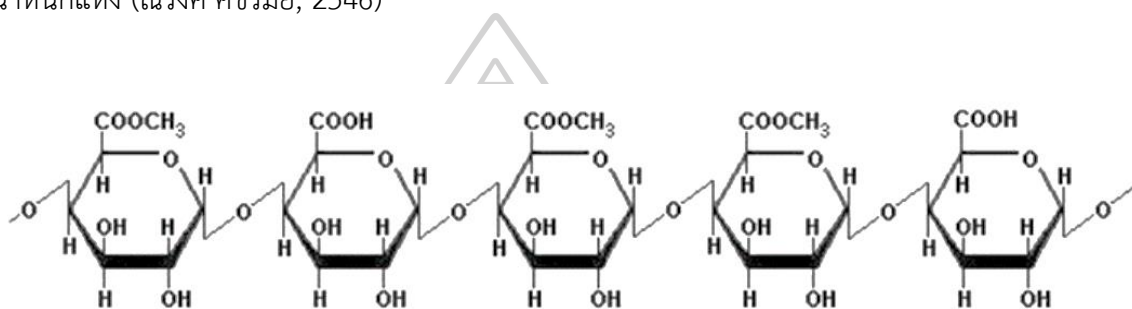
ที่มา: <https://farm.co.th/>

3. เปลือกกะลากาแฟ

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกาแฟ

เปลือกกาแฟนั้นประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน แอมโทไซยานิน แทนนิน ไทลีฟีนอล และคาเฟอีน เมล็ดกาแฟหลังจากปอกเปลือกแล้วจะมีชั้นเนื้อกาแฟที่ห่อหุ้ม เมล็ดไว้มีลักษณะเป็น เมือกหนาราว 0.8 มม. ประกอบด้วย น้ำ ร้อยละ 84.2, โปรตีน ร้อยละ 8.9, น้ำตาลร้อยละ 4.1 และ สารประกอบเพคติน ร้อยละ 0.91 โดยทั่วไปเปลือกและเมือกของกาแฟจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เพคติน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่อยู่ในผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall) และ intercellular layers หรือ middle lamella ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้ติดกับโครงสร้างของเพคตินไม่ได้เรียงตัวกันเป็นเส้นใย แต่เรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ เพคตินมีฤทธิ์แบบกรด ซึ่งประกอบด้วย กรดกาแลกทูโรนิก (D-galacturonic acid) เป็นส่วนใหญ่ที่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบอัลฟา 1,4 ซึ่งบางหน่วยอาจถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วยหมู่เมทอกซิลหรืออะซิติลที่ตำแหน่งของกรดคาร์บอกซิลิก เนื้อเยื่อของพืชบางชนิดจัดเป็นแหล่งของเพคติน เช่น พืชตระกูล ส้ม แอปเปิ้ลและเยื่อของบีทรูท โดยปริมาณเพคตินที่พบ คือ มีประมาณร้อยละ 15 ในแอปเปิ้ลและร้อยละ 30 ในพืชตระกูล ส้ม เมื่อคิดต่อน้ำหนักแห้ง (ณรงค์ ศิขิรัมย์, 2546)



รูปที่ 38 แสดงลักษณะโครงสร้างของเพคติน

ที่

ม

า

:

https://www.agro.cmu.ac.th/agro60/school/fst/601499/research_exercise_journal/file_upload/581310027.pdf

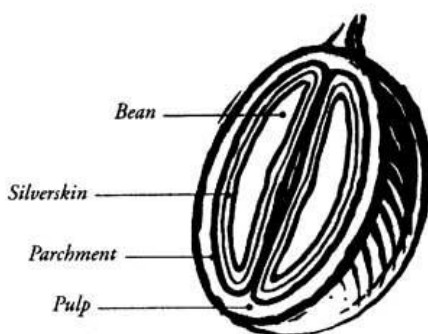
กาแฟกะลา (parchment coffee) หมายถึง เมล็ดกาแฟแห้งที่ได้จากผลกาแฟสุกที่เอาส่วนของผนังผลชั้นนอกหรือเปลือกชั้นนอกและผนังผลชั้นกลางหรือเนื้อออก แต่ยังคงมีผนังผลชั้นในหรือเปลือกชั้นใน (endocarp) หรือที่เรียกว่า กะลา (parchment) ติดอยู่



รูปที่ 39 ลักษณะของกะลากาแฟ (Parchment)

ที่มา: <https://annop.me/4553/>

กะลา (Parchment) จะเป็นชั้นในสุดของผลกาแฟทำหน้าที่ปกป้องเมล็ดกาแฟที่อยู่ด้านใน ทั้งก่อนและหลังจากการโปรเซส ภายหลังจากการโปรเซสเสร็จสิ้น กะลาจะมีลักษณะคล้ายกับ กระดาษแห้ง และเปราะ



Cross-section of a Coffee Cherry

รูปที่ 40 แสดงลักษณะของโครงสร้างชั้นของเมล็ดกาแฟ

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2778/parchment-coffee->

3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (Green bean) และการเปลี่ยนแปลงจากกระบวนการผลิต

ผลจากการวิเคราะห์กาแฟ arabica ดิบ แสดงองค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้น 12% คาร์โบไฮเดรต มากกว่า 50% ไขมัน 16% โปรตีน 10% เหล่านี้เป็นองค์ประกอบหลักและยังมีองค์ประกอบย่อยที่สำคัญคือ คาเฟอีน 1.2% กรดคลอโรเจนิก 6.5% และยังมี อนุพันธ์เอสเทอร์ของ โพลีฟีนอล คาเฟอิก แอซิด และ ควินิก แอซิด โดยเมื่อนำเมล็ดกาแฟดิบไปคั่วจะทำให้เมล็ดกาแฟเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี

Nitrogen compounds (สารประกอบไนโตรเจน)

Caffeine	1.2%
Trigonelline	1.0%
Protein and free amino acid	9.2%

Carbohydrates (สารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรต)

Sucrose	6-8.3%
Reducing sugar	0.1%
Polysaccharide	40-50%
Cellulose	5.0%

Acid (สารประกอบจำพวกกรด)

Chlorogenic acid	5-7.5%
Citric acid	0.5%
Malic acid	0.5%
Oxalic acid	0.2%
Tartaric acid	0.4%

Lipids ไม่ละลายน้ำ

Triacylglycerols	75.2%
Esters of terpene alcohols and fatty acids	18.5%
Diterpene alcohols	0.4%
Esters of sterols and fatty Acids	3.2%
Sterols	22.2%
Tocopherols	0.04-0.06%
Phosphatides	0.1 0.5%

3.3 คุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของเมล็ดกาแฟ

กาแฟเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Rubiaceae family ซึ่งมีอยู่ 2 สายพันธุ์ (species) ที่มีความสำคัญทางการค้า คือ *C. arabica* และ *C. canephora* โดย *C. arabica* จะรู้จักในชื่ออะราบิก้า และ *C. canephora* จะรู้จักกันในชื่อของ โรบัสต้า

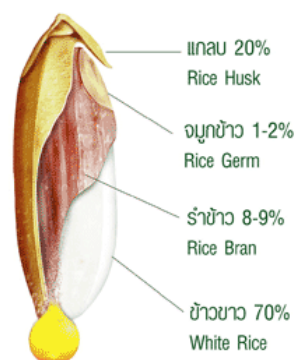
คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟดิบ ความชื้น , น้ำหนักเมล็ดกาแฟดิบ, ความกว้าง, ความยาว, ความหนา, ปริมาตรเมล็ด, ความหนาแน่นเนื้อ, ความหนาแน่นรวม, เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต, พื้นที่ผิว และความเป็นทรงกลม (พีระพงศ์ กัทลี และ เซาว์ อินทร์ประสิทธิ์, 2555: 97-104)

ตารางที่ 12 The physical properties of Robusta green coffee beans.

Physical properties	Unit of Measurement	Robusta Coffee		
		Max	Min	Average
Moisture	%	19.1	18.5	18.700±0.22
Weight	g	13.589	13.362	13.502±0.19
Width	cm	0.890	0.600	0.727±0.31
Length	cm	1.110	0.830	0.947±0.38
Thickness	cm	0.480	0.380	0.433±0.20
Volume	cm ³	0.158	0.078	0.111±0.12
True Density	g/ml	0.985	0.913	0.928±0.34
Bulk Density	g/ml	0.727	0.719	0.723±0.25
GMD	cm	0.756	0.603	0.670±0.16
Surface area	cm ²	1.796	1.144	1.413±0.19
Sphericity	%	79.6	63.5	70.90±0.13

4. ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

สมบัติทางกายภาพและทางชีวเคมี พบว่า เมล็ดข้าว ประกอบด้วย เปลือกหุ้มเมล็ด หรือ แกลบ (Hull หรือ Husk) ซึ่งจะหุ้มข้าวกล้องไว้ในเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย จมูกข้าวหรือคัพภะ (Germ หรือ Embryo) รำข้าว (เยื่อหุ้มเมล็ด) และเมล็ดข้าวขาวหรือเมล็ดข้าวสาร (Endosperm) สารอาหารในเมล็ดข้าวประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนประกอบในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว นอกจากนี้ ยังพบสารอาหารประเภทไขมัน ซึ่งพบได้ในรำข้าวเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 41 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว (Rice Paddy Composition)

ที่มา: http://misterotwo.blogspot.com/2016/10/blog-post_30.html

5. แกลบ (Rice husk)

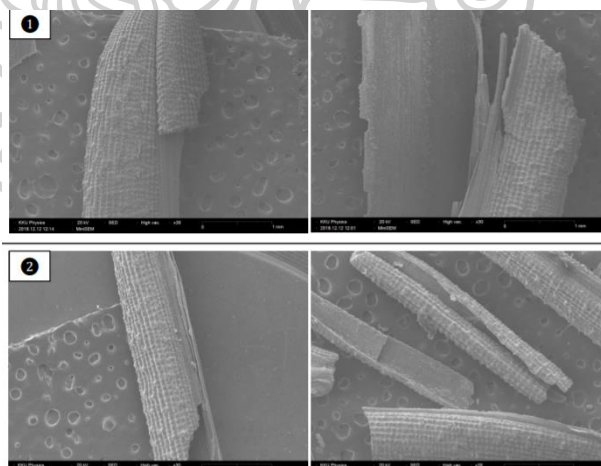
5.1 ลักษณะของแกลบ

แกลบทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่ภายนอก ได้จากการสีข้าว เป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน และซิลิคอนไดออกไซด์หรือซิลิกา เมื่อพิจารณาแกลบให้ชัดเจน โดยนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่ามิลักษณะผิวเป็นร่องเรียงกัน และผิวแกลบมีความพรุนมาก

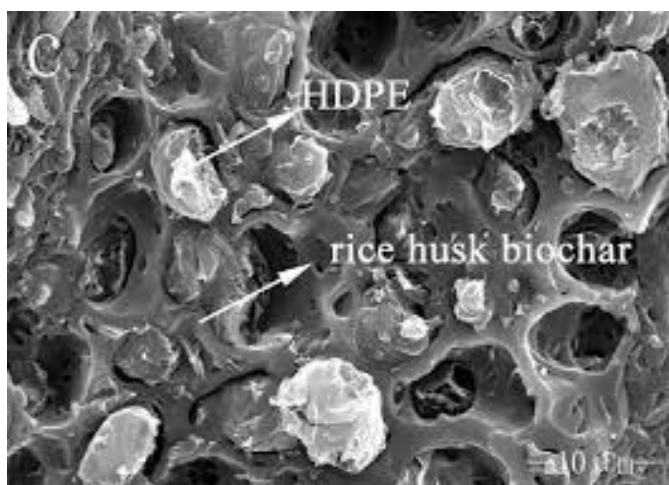


รูปที่ 42 ลักษณะของแกลบกำลังขยาย 1x1 เท่า

ที่มา: <https://th.wikipedia.org/wiki/>



รูปที่ 43 ลักษณะรูปทรงของพื้นผิวแกลบกำลังขยาย 30 เท่า



รูปที่ 44 แสดงลักษณะของพื้นผิวของแกลบที่มีความพรุน

5.2 องค์ประกอบของแกลบ

แกลบมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ และส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและไม่นำความร้อน

ตารางที่ 13 องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่พบในแกลบ (Patel et. Al, 2003)

สารอินทรีย์	น้ำหนัก (Wt%)
Cellulose	43.30
Lignin	22.00
D-Xylose	17.52
L-Arabinose	6.53
Methyl glucuronic acid	6.53
D-galactose	2.37

ตารางที่ 14 องค์ประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ (โลหะออกไซด์) ที่พบในแกลบ (Patel et. Al, 2003)

สารอนินทรีย์	น้ำหนัก (Wt%)
SiO ₂	21-25
Al ₂ O ₃	1.23
Fe ₂ O ₃	1.23
CaO	1.24
WgO	0.21
MnO ₂	0.07

5.3 ประโยชน์ของแกลบ

แกลบเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร ที่ได้จากระบวนการสีข้าว ในปีหนึ่ง ๆ มีปริมาณแกลบสูงถึง 5,878.14 พันตัน จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในปี 2540 กล่าวคือ ถ้ามีการสีข้าว 1 ตัน จะมีแกลบออกมาประมาณ 220 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 22 ของปริมาณข้าวเปลือก สำหรับประเทศไทยมีการประเมินได้ว่าแต่ละปีจะมีแกลบประมาณ 4.4 ถึง 4.6 ล้านตัน ของเหลือทิ้งเหล่านี้บางส่วน ถูกนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย วัสดุปรองนอนในโรงเรือนเลี้ยงเป็ด เลี้ยงไก่ และในยุคที่ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานสูง แกลบถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงานจากน้ำมันดิบ จากสถิติการใช้พลังงานของประเทศไทยปี 2545 โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พบว่า แกลบสามารถทดแทนพลังงานได้เทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 0.89 ล้านตัน นอกจากนี้ ชี๊ไถ่ที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบ ยังสามารถส่งออกขายต่างประเทศได้อีกในราคากิโลกรัมละ 3-4 บาท ซึ่งนับว่าเป็นผลพลอยได้ นอกเหนือจากการใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

โดยสรุปแล้วการใช้ประโยชน์จากแกลบมีหลากหลายประการได้แก่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงาน ใช้เป็นวัสดุการเกษตร ใช้สกัดสารซิลิกา ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ใช้เป็นสารสำหรับใช้ในการกรอง และอื่น ๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุผสม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีการนำวัสดุธรรมชาติต่าง ๆ มาเป็นวัสดุผสม ไม่ว่าจะเป็นการนำวัสดุธรรมชาติโดยตรงหรือแม้แต่การแปลงเป็นเส้นใยเพื่อขึ้นรูปเป็นผนังต่าง ๆ และขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อก หรือแม้แต่การนำภูมิปัญญาท้องถิ่นมาผสมผสานในการพัฒนา เช่น ผนังตอกซี (Torchis) หรือผนังขัดแตะ ฉาบปูน ด้วยการพัฒนาในรูปแบบใหม่และสะดวกในการใช้งานเหมาะสมกับเทคนิคการก่อสร้างสมัยใหม่วัสดุที่นำเสนอนี้ทำมาจากปูนซีเมนต์ขาว ทราาย ฟางข้าว และยางบง (*Persea kurzii*) ในอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 600: 1000: 50: 30 กรัม ตามลำดับ ปริมาณน้ำที่เพิ่มในการผสมคือ 40% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ขาวและเสริมด้วยไม้ไผ่ขัดแตะ 2 แผ่น การผลิตนี้ได้ผ่านการทดสอบการรับกำลังแรงอัดเปรียบเทียบกับตามมาตรฐานคอนกรีตบล็อกทั่วไป บล็อกตัวอย่างที่ขนาดความหนา 7 ซม. สูง 19 ซม. และยาว 39 ซม. น้ำหนักเฉลี่ย คือ 8600 กรัม ให้กำลังการรับแรงอัด 28.55 กก./ ตร.ซม. ซึ่งสูงกว่าในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (มอก. 58-2533; 25.49 กก./ ตร.ซม.) คิดเป็นร้อยละ 12.00 จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเชิงพาณิชย์ (คำชาย พันทวงศ์, โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์ และคณะ, 2557: 17-24) นอกจากนี้ยังพบว่าการนำวัสดุธรรมชาติ เช่น ใช้เศษไม้ เศษซีเมนต์เก่า แกลบ และเศษผงหินปูน มาใช้เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์สำหรับคอนกรีตมวลเบาพบว่าการผสมผสานเศษซีเมนต์เก่า แกลบ และเศษผงหินปูนเข้ากับปูนซีเมนต์มีผลต่อการรับกำลังอัด วัสดุที่มีเศษผงหินปูนมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าวัสดุอื่น ซึ่งมีผลอย่างมากจากการเพิ่มตัวแปร ด้วยธรรมชาติของเส้นใยธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นน้ำ (hydrophilic nature) การเพิ่มน้ำหนักเศษซีเมนต์ 25% และเศษผงหินปูน 25% โดยน้ำหนักทำให้มีน้ำหนักเบากว่าบล็อกคอนกรีตทั่วไปประมาณ 30% ผลการทดสอบพบว่า การผสมวัสดุทั้งสามมีศักยภาพในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีน้ำหนักเบาสามารถใช้เป็นทางเลือกวัสดุประกอบอาคาร (Javad Torkaman, Alireza Ashori และคณะ, 2015) และยังมีงานวิจัยของ E. B. Oyetola (E OYETOLA และ Mohammed Abdullahi, 2006) ที่ใช้วัสดุธรรมชาติซีเมนต์เก่าแกลบในการผลิตบล็อกทรายที่มีต้นทุนต่ำในไนจีเรียโดยใช้แกลบซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตรนำมาเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์เนื่องจากมีราคาแพงเพราะต้องนำเข้าและประเทศมีความยากจนจึงต้องนำวัสดุที่เหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยทำบล็อกขนาด 150 มม.×450 มม. ทดแทนซีเมนต์ในสัดส่วน 0,10,20,30,40,50 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามจำนวนของวันที่บ่มและสัดส่วนที่เหมาะสมในการทดแทนซีเมนต์อยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยที่มีการใช้เปลือกหอยนางรมบด (OSP) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตอิฐบล็อกประสาน ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ควบคุมปริมาณน้ำตามความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ของแต่ละอัตราส่วน ผลการทดสอบค่ากำลังอัดที่ 7, 14, 28, 60, 90 วัน และการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน พบว่าการเพิ่มปริมาณของ OSP ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และเพิ่มการดูดซึมน้ำ โดยการใช้ OSP ที่ร้อยละ 10 และ 20 ผ่านเกณฑ์

มาตรฐาน มผช. 602/2547 ชนิดไม่รับน้ำหนัก (ทวิซ กล้าแท้, 2560:167-177) และมีการนำเถ้า
 แกลบดำไม่บดมาผลิตคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก (Hollow Non Load-Bearing Concrete
 Block) ทำการทดสอบดังนี้ หน่วยน้ำหนัก การดูซึม น้ำ กำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง ความคงทนต่อ
 สภาพเปียกสลับแห้ง การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากผลของกรดต่างๆ โดยใช้เถ้าแกลบจากโรงงานผลิต
 กระแสไฟฟ้าและเถ้าแกลบจากโรงสีข้าว โดยตัวแปรที่ศึกษาคือการแทนที่หินฝุ่น ในอัตราส่วนร้อยละ
 0,10,15,20 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.53-0.64 โดยน้ำหนัก จาก
 การทดสอบพบว่าน้ำหนักคอนกรีตบล็อกลดลงเมื่อร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น และการ
 เพิ่มของเถ้าแกลบไม่ส่งผลต่อกำลังอัดของมวลรวม สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2530 ส่วน
 ค่าการดูซึม น้ำ การหดตัวแบบแห้งความคงทนต่อการกักกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสามารถนำเถ้าดำไม่
 บดมาทดแทนหินฝุ่นได้ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักผ่าน
 มาตรฐาน มอก.58-2530 (บัณฑิต รักษาดี, 2548)

นอกจากเถ้าแล้วปาล์มน้ำมันยังเป็นอีกวัสดุที่มีความนิยมในการนำมาพัฒนาในงานด้าน
 คอนกรีตบล็อก โดยเป็นการศึกษาคอนกรีตบล็อกธรรมดา กับ คอนกรีตบล็อกปาล์มน้ำมันตาม
 มาตรฐาน มอก.58-2530 เพื่อศึกษาหาปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมในการรับแรงอัดและการ
 ดูดซึม น้ำ สาเหตุมาจากปูนซีเมนต์ที่มีราคาค่อนข้างสูงในปัจจุบัน การศึกษาในครั้งนี้ใช้สัดส่วนการผสม
 คอนกรีตบล็อกในจังหวัดตรัง คือปูนซีเมนต์:ทราย:หินฝุ่น เท่ากับ 0.12 กิโลกรัม: 0.37 กิโลกรัม:2.8
 กิโลกรัม ได้กำลังต้านแรงอัด 35.36 กิโลกรัมต่อตารางซม.ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐาน
 ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ที่ 25 กิโลกรัมต่อตารางซม. นำเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์โดย
 ลดปริมาณลงครั้งละ 5% 10% 15% 20% 25%ตามลำดับ ผลปรากฏว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าปาล์ม
 น้ำมันที่ใกล้เคียงมาตรฐานอุตสาหกรรมอยู่ที่ 5% มีค่าเท่ากับ 19.52 กิโลกรัมต่อตารางซม. และ 10%
 มีค่าเท่ากับ 20.55 กิโลกรัมต่อตารางซม. ส่วนอัตราส่วนอื่นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ศรัณ อนุกุลพันธ์,
 2548) การพัฒนาเถ้าปาล์มบล็อกน้ำหนักเบา ที่สามารถลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยนำเถ้า
 ปาล์มน้ำมันและเถ้าปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมการเกษตร
 ใช้วิธีการหล่อก้อนตัวอย่างทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่ เหมาะสมเปรียบเทียบกับมาตรฐาน
 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 และทดสอบค่า
 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีต
 บล็อกที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ 0.3 ต่อเถ้าปาล์ม
 น้ำมัน 0.7 ต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน 1 โดยมีมวลและน้ำอยู่ที่ 32.73% ของมวลรวมของเถ้าปาล์มน้ำมัน
 และเถ้าปาล์มน้ำมันให้ผลการรับน้ำหนักกดอัดดีที่สุดที่สุดคือ 48.458 กิโลกรัมต่อตารางซม.
 ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำอยู่ที่ระหว่าง
 26-38% ของมวลรวมระหว่างเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าปาล์มน้ำมันพบว่าคอนกรีตที่มีปริมาณน้ำ

อยู่ที่ 30 % สามารถรับกำลังกวดอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 โดยมีค่าน้ำหนักต่ำสุดคือ 1.412 kg และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.221 W/m*k ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปตามท้องตลาดที่มีค่าน้ำหนัก 6.43 kg และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.519 W/m*k จากการศึกษาเบื้องต้นพบความเป็นไปได้ในการพัฒนาคอนกรีตบล็อกปาล์มน้ำมันที่สามารถลดความร้อนเข้ามาภายในอาคารได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังพบว่ามีการนำวัสดุธรรมชาติมาแปรรูปเป็นเส้นใย โดยพบว่า มีการนำเส้นใยมาใช้โดยเส้นใยที่เพิ่มขึ้นและสัดส่วนที่แตกต่างกันของมวลรวม ผลการทดสอบระบุว่า การใช้เส้นใยธรรมชาติช่วยลดมวลรวมหยาบโดยใช้แทนที่อิฐหรือหินในคอนกรีตจะไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะดั้งเดิมของคอนกรีต (Elie Awwad, Mounir Mabsout และคณะ, 2012: 710-717) อิฐบล็อกมวลเบาที่ผสมเส้นใยกล้วย เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี ใช้เส้นใยกล้วยเป็นวัสดุผสมทดแทนปูนซีเมนต์ และทดแทนทราย ในระยะเวลาการบ่มน้ำ 28 วัน พบว่า ในสัดส่วนร้อยละ 2.5 มีความหนาแน่นและค่าการต้านทานแรงอัดสูงสุด คือ 1,376 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 65.25 กิโลกรัมต่อตารางซม. ตามลำดับ ผลค่าการดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความยาวมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยกล้วยร้อยละ 7.5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 32.86 และร้อยละ 0.12 ตามลำดับ ดังนั้นอิฐบล็อกมวลเบาผสมเส้นใยกล้วย ซึ่งมีอัตราส่วนร้อยละ ระหว่าง ทราย : ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ยิปซั่ม : ผงอะลูมิเนียม : เส้นใยกล้วย คือ 50 : 27.5 : 9 : 9 : 2 : 2.5 เมื่อนำผลการทดสอบไปเทียบกับมาตรฐาน มอก.1505-2541 พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ มอก. กำหนดไว้ การนำเส้นใยกล้วยจึงเป็นอีกแนวทางที่มีความน่าสนใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง แทนการใช้วัสดุผสมที่ต้องนำมาจากทรัพยากรธรรมชาติโดยตรง (วรรณช ดีละมัน, กัลทิมา เชาวชาญชัยกุล และคณะ, 2559)

การนำวัสดุธรรมชาติมาเป็นวัสดุผสมในคอนกรีตเพื่อการใช้งานในการก่อสร้างโดยตรงแล้ว ยังมีการนำมาขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ด้านวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อาทิเช่นคอนกรีตบล็อกที่มีซีเมนต์แกลบเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่เพื่อทดแทนบล็อกเดิมที่มีอยู่ในตลาด โดยต้องเข้าใจคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ก่อนเพื่อให้ได้บล็อกคอนกรีตที่ต้องการ โดยทั่วไปบทความนี้นำเสนอการศึกษาในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับผลกระทบของการเผาขยะแกลบ (GIRHA) ต่อคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีต การทดสอบกำลังรับแรงอัดการดูดซึมน้ำการเคลื่อนไหวของความชื้นและโมดูลัสความยืดหยุ่น การวิเคราะห์เบื้องต้นของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาและคอนกรีตบล็อกแกลบได้ดำเนินการทดสอบความเหมาะสมทางกายภาพของส่วนผสมที่เตรียมไว้ คอนกรีตบล็อกขนาด 390 x 190 x 100 มม. ถูกหล่อและบดอัดด้วยค้อน KANGO เป็นเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน ที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ สรุปลงได้ว่า สามารถผลิตอิฐบล็อกประสิทธิภาพสูงโดยใช้ซีเมนต์แกลบ (RHA) เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ กำลังอัดของบล็อกคอนกรีตจะ

เพิ่มขึ้นตามอายุที่บ่มและลดลงตามเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ RHA ที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า การทดแทนวัสดุที่เหมาะสมอยู่ที่ 15% การพัฒนาอิฐบล็อกจากข้าวฟ่างที่มีการรับกำลังแรงอัด ผ่านมาตรฐาน คือ อัตราส่วนที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ (600 กรัม) หินฝุ่น (2,400 และ 3,000 กรัม) ฟางข้าว (50 กรัม) และ น้ำ 40% ของน้ำหนัก ปูนซีเมนต์ (กนกเนตร เพ็ชรทองช่วย และ โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์, 2561: 313-337) ในขณะทำงานวิจัยของสมคณ เกียรติก้อง (สมคณ เกียรติก้อง, 2556: 213-217) เป็นการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์ ดินเซรามิก และเศษใบไม้ เพื่อใช้ทำบล็อกลูกบาศก์ ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม. จากส่วนผสม 3 สูตร ซึ่งแต่ละสูตรประกอบด้วยตัวอย่าง 10 ก้อนโดยได้ทดสอบการดูดซึมน้ำและหาความหนาแน่นหลังจากแช่บล็อกคอนกรีตในน้ำ 4 วัน รวมทั้งทดสอบกำลังรับแรงอัด ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของดินเซรามิกมากขึ้นจะทำให้บล็อกคอนกรีตมีความหนาแน่นและกำลังอัดลดลงโดยบล็อกคอนกรีตที่ทำจากสูตร 3 (อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ดินเซรามิก : เศษใบไม้ เท่ากับ $1.00 : 0.50 : 0.03$) มีความหนาแน่นเฉลี่ย $1,040.20$ กก./ม.³ และกำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 11.09 ksc. ซึ่งมีค่าสูงกว่าสูตรอื่น ส่วนการดูดซึมน้ำพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของดินเซรามิกมากขึ้นจะทำให้บล็อกคอนกรีตดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลการวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นว่าดินเซรามิกไม่เหมาะสมเป็นส่วนผสมสำหรับทำบล็อกคอนกรีต ที่ต้องการความแข็งแรงสูง แต่เหมาะกับการตกแต่ง เช่น อิฐทางเท้า และผนังกระเบื้องและมีการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ได้จากโรงงานโดยตรง ผสมกับเถ้าถ่านหิน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพื่อเป็นวัสดุประสานในคอนกรีต โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์จากโรงงานโดยตรง ที่มีขนาดอนุภาคผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และใช้ส่วนผสม (วิเชียร ชาลี และ ญัฐกร แนนทอง, 2555: 38-49)

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนวัสดุมวลรวมในคอนกรีตบล็อก สามารถสรุปได้เป็นแนวทางเพื่อการพัฒนาต่อยอดของงานวิจัยต่อไปดังนี้

- 1) การใช้วัสดุธรรมชาติมาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนวัสดุมวลรวมในคอนกรีตบล็อก ต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งการเพิ่มวัสดุธรรมชาติทดแทนวัสดุมวลรวมจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อก
- 2) การเพิ่มวัสดุธรรมชาติเข้าไปในส่วนผสมทดแทนวัสดุมวลรวมในคอนกรีตบล็อก จะทำให้ค่าน้ำหนักและความหนาแน่นมีค่าลดลง
- 3) การเพิ่มวัสดุธรรมชาติเข้าไปในส่วนผสมทดแทนวัสดุมวลรวมในคอนกรีตบล็อก จะทำให้ค่าความต้านทานแรงอัดมีค่าลดลง ซึ่งค่าความต้านทานแรงอัดจะแปรผกผันกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่ม
- 4) การเพิ่มวัสดุธรรมชาติเข้าไปในส่วนผสมทดแทนวัสดุมวลรวมในคอนกรีตบล็อก จะทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำและค่าการหดตัวทางยาวมีค่าสูงขึ้น ซึ่งค่าปริมาณความชื้นจากการดูดกลืนน้ำและการหดตัวทางยาวจะแปรผันตรงกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มเข้าไป

5) การเพิ่มวัสดุธรรมชาติเข้าไปในส่วนผสมทดแทนวัสดุมวลรวมในคอนกรีตบล็อก จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าลดลง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะแปรผันตรงกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มเข้าไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

วัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase change material, PCM) คือ ระบบเก็บความร้อนที่ใช้สารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบเก็บสะสมความร้อนสัมผัส ข้อดีของการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงการบรรจุและถ่ายเทความร้อนและความจุความร้อนสูงกว่าวัสดุเก็บความร้อนสัมผัสแต่วัสดุเปลี่ยนสถานะส่วนใหญ่มีค่าการนำความร้อนต่ำทำให้อัตราการบรรจุและปล่อยความร้อนต่ำ (สมชาย เจริญจิตต์สวัสดิ์, 2558) ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เป็นสิ่งสำคัญในงานวิจัยครั้งนี้ จากการศึกษา งานวิจัยพบว่า มีการใช้ Parafin เป็นตัวบ่มคอนกรีต โดยการบ่มคอนกรีตเป็นกระบวนการในการรักษาความชื้นที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใน 28 วัน มีหลายสาเหตุที่คอนกรีตไม่สามารถบ่มได้ เช่นความผิดพลาดด้านต่างๆ การขาดแคลนน้ำ งานวิจัยนี้ใช้วัสดุ Hydrophilic คือสารที่ชอบรวมตัวกับน้ำเช่น โพลีเอทิลีน ซี้ผึ้ง Parafin กรดอะคริลิก มาใช้ในเทคนิคการบ่มตัวเองของคอนกรีต โดยศึกษาซี้ผึ้ง Parafin เหลว (น้ำหนัก 0.1% ของซีเมนต์) และเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่บ่มแบบดั้งเดิม โดยเพิ่มน้ำยาผสม Conplast SP430 (น้ำหนัก 0.3% ของซีเมนต์) สัดส่วนส่วนผสมการออกแบบคือ 1:1.45:2.95 พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตบ่มตัวลดลง 1.48% ความต้านทานแรงดึงแยกของคอนกรีตบ่มด้วยตนเองลดลง 6.19% ความแข็งแรงของคอนกรีตที่บ่มตัวเองนั้นอยู่ในระดับที่เท่ากับคอนกรีตทั่วไป (N.VENKATA REDDY และ I.S.ANVESH REDDY, 2016: 29-34) และยังมีการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตเมื่อเติม Parafin เพื่อจะศึกษาผลของการเติมซี้ผึ้ง Parafin ลงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อเพิ่มความทนทานและลดความสามารถในการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต ผลการวิจัยการเพิ่มปริมาณซี้ผึ้ง Parafin ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำลดลง (Tumadhir M และ Al-Jabiri, 2006: 835-840). ในขณะที่บทความนี้นำเสนอผลของการศึกษาทดลองของการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)s) ในคอนกรีตซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีตเป็นวัสดุโครงสร้าง ผลการวิจัยพบว่าการเพิ่ม วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ไม่สูญเสียกำลังอัดเท่ากับวิธีการเติมทรายสูงสุดที่ 20% ความร้อนจำเพาะของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นการนำความร้อนของคอนกรีตจะลดลงและคุณสมบัติความเป็นฉนวนของคอนกรีตจะดีขึ้นอาจทำให้คอนกรีตสูญเสียความแข็งแรงในช่วงที่ยอมรับได้ ขนาด วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ถูกห่อหุ้มควรถูกจำกัดไม่ให้ถึง 3% เพื่อความแข็งแรงของคอนกรีต (D. Snoeck, B. Priem และคณะ, 2016) ตลอดจนถึงงานวิจัยที่ทำ

การพัฒนาาระบบสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาสัดส่วนของปูนซีเมนต์ ในการสร้างสมบัติการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อก โดยอาศัยการสะสมพลังงานความร้อนเพื่อสร้างสภาพการเปลี่ยนเฟสของวัสดุเปลี่ยนสถานะ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Parafin เป็นวัสดุสะสมความร้อน โดยผลการศึกษาพบว่าแผ่นคอนกรีตบล็อกสะสมความร้อนที่มี Parafin อยู่ร้อยละ 40 และร้อยละ 60 นั้นผ่านมาตรฐานมอก.378-2531 และ Parafin ร้อยละ 40 ได้ค่าเฉลี่ยแรงตัดตามขวางที่ 28 วันมากที่สุด คือ 7.83 เมกะพาสคัล ส่วนการทดสอบค่าความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างพบว่าแบบ Parafin ร้อยละ 40 สะสมความร้อนได้จากอุณหภูมิปกติ 7.18 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างแบบ Parafin ร้อยละ 60 เก็บอุณหภูมิได้ต่ำกว่าเนื่องจาก Parafin เยี่ยมออกจากแผ่นตัวอย่างทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง และคอนกรีตบล็อกผสม Parafin ร้อยละ 40 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.385 ดังนั้นจึงเลือกนำผลของ Parafin ร้อยละ 40 ไปหล่อเป็นแผ่นคอนกรีตบล็อก สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสะสมความร้อนให้มากขึ้น จึงใช้ผิวหน้าคอนกรีตผสมเกลือ ชั้นล่างผสมผงไฟเบอร์กลาส พบว่าคอนกรีตบล็อก Parafin ผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 สัดส่วน 5:10 สะสมความร้อน ได้จากอุณหภูมิปกติมากที่สุดคือ 9.82 องศาเซลเซียส และนำความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.213 ดังนั้น สรุปว่าการสะสม ความร้อนที่สูงย่อมส่งผลดีกว่าจึงเลือกใช้สูตรที่ 4 (5:10) โดยมีเกลือผสมที่ผิวหน้าร้อยละ 5 ผงไฟเบอร์ผสมด้านล่างร้อยละ 10 และมี Parafin อยู่ตรงกลางร้อยละ 40 และเมื่อสร้างเป็นโรงอบแห้งพบว่าโรงอบแห้งมีอุณหภูมิและความชื้นสอดคล้องกับหลักการการอบแห้งเป็นอย่างดีและจุดของการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำของอากาศ ขึ้นนั้นคงที่ (ธรรมมา เจริญธรรมานิช, 2558: 1-10)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการเติม Parafin ลงในคอนกรีตเพื่อสร้างถนนที่หิมะไม่เกาะตัวได้ โดยการผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถเข้ากับคอนกรีตโดยใช้ท่อมวลรวมที่มีรูพรุนน้ำหนักเบาหรือฝังในตัววัสดุ เมื่อวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็งในระหว่างการระบายความร้อนก็สามารถปล่อยความร้อนจากความร้อนที่สามารถละลายน้ำแข็งและหิมะได้ โดยการยับยั้งการก่อตัวของน้ำแข็งและหิมะบนพื้นผิวถนน ทดสอบโดยได้สร้างแผ่นคอนกรีตหนึ่งชุด ซึ่งมีท่อที่บรรจุ Parafin อยู่ภายในวัสดุมวลเบาที่มีรูพรุนรวมกับกับอีกแบบที่ไม่มี Parafin แต่แผ่นถูกฉีกในภาชนะที่หุ้มฉนวนและปกคลุมด้วยหิมะ ประมาณ 5 นิ้วที่ทำจากเล็บด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่า การแช่แข็ง แผ่นที่มีหลอดที่เติม Parafin จะละลายหิมะเร็วกว่าแผ่นที่ไม่มี Parafin ซึ่งสรุปได้ว่าเป็นเพราะ Parafin ในหลอดสามารถแข็งตัวได้เร็วขึ้นและปล่อยความร้อนอย่างค่อยเป็นค่อยไปเนื่องจากขนาดรูพรุนที่แตกต่างกัน (Kerry Clines, 2017)

นอกจากมีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้ในคอนกรีตบล็อก ในวัสดุผสมของคอนกรีต ยังพบว่ามีงานศึกษานำมาใช้ในฉนวนกันความร้อน โดยมีการศึกษาเรื่องการเติมวัสดุเปลี่ยนสถานะที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติคอนกรีต ซึ่งประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารและความต้องการ

ทางเลือกเกี่ยวกับการจัดเก็บความร้อนและฉนวนกันความร้อนสูงของวัสดุที่มีมวลความร้อนขนาดใหญ่ เช่น คอนกรีตสามารถปรับให้เหมาะสมในแง่ของมวลความร้อน วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้คือใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)s) โดยทำการศึกษาค้นคว้าของ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ห่อหุ้มต่อพฤติกรรมความร้อนและกระบวนการความแข็งแรงของการก่อตัวของคอนกรีต ตลอดจนพฤติกรรมทางความร้อนของปูนที่แข็งตัว วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)-mortar ที่ห่อหุ้มจะร้อนขึ้นเรื่อยๆ ขณะลดกระบวนการแข็งตัวและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความร้อนที่สอดคล้องกันกับความชื้น แต่ความแข็งแรงลดลงไม่มาก วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)s เป็นนวัตกรรมวัสดุที่มีแนวโน้มว่าจะใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตในอนาคตช่วยลดความร้อนและลดการแตกร้าวจากความร้อน (Panja Newell และ Yunping Xi, 2012: 71-80) และมีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้ในงานห่อหุ้ม Micro โดยได้ทำการทบทวนวิธีการที่วัสดุเปลี่ยนสถานะถูกห่อหุ้มด้วยวิธี Micro Encapsulation ในด้านความปลอดภัยและลักษณะทางความร้อนที่เกิดขึ้นวัสดุการเปลี่ยนแปลงเฟส (วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)s) มีศักยภาพสำหรับการสร้างประสิทธิภาพพลังงาน อย่างไรก็ตามการรวมวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) โดยตรงเข้ากับองค์ประกอบการก่อสร้างจะทำลายประสิทธิภาพเชิงโครงสร้าง การรวมกันของ Microencapsulation วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)s ในวัสดุก่อสร้างช่วยแก้ปัญหาปัญหาการรั่วไหลของ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการระบุวิธีการห่อหุ้มไมโครที่เหมาะสมและความปลอดภัยผลกระทบต่อโครงสร้างและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ส่วนใหญ่ให้ผลดีกับแคปซูลแบบ Microencapsulation วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)s Ahmed Hassan และคณะ (Ahmed Hassan, Mohammad Shakeel Laghari และคณะ, 2016: 1046-1078) และ Anna Laura Pisello,a (Anna Laura b Piselloa, Antonella D' Alessandroc และคณะ, 2016: 2559) นักวิจัยชาวอิตาลีได้ทำงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพโครงสร้างที่เติมวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในคอนกรีตสำหรับงานอาคาร โดยการเพิ่มน้ำหนักของเฟสห่อหุ้ม 5% คือ Parafin โดยวิธีไมโครแคปซูลรวมอยู่ด้วย วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ขนาด 85-90% ในแคปซูลขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 17-20 ไมครอน และ macrocapsuled วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มีเส้นผ่าศูนย์กลางทั้ง 3-5 มม. และความเข้มข้น วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ทั้งหมด 80% ใช้การวิเคราะห์พลังงานโดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์พลังงานแสงอาทิตย์แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการสะท้อนส่วนใหญ่เกิดจากการเพิ่มความหนา อย่างไรก็ตามการปล่อยความร้อนไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่ม วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตที่เติมวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) macrocapsulated แสดงให้เห็นว่าค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐานและสูงกว่าคอนกรีตที่เติมไมโครแคปซูลมากแสดงให้เห็นว่าแคปซูลขนาดใหญ่มีความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนได้ค่อนข้างต่ำ ผลลัพธ์ที่น่าสนใจแสดงให้เห็นว่าการรวมแคปซูล วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

ทำให้ความหนาแน่นของวัสดุลดลงเล็กน้อยนั้นคือประมาณ 10-11% ทำให้สามารถจัดเป็นคอนกรีตน้ำหนักเบาในขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็นวัสดุที่เพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนสำหรับการสร้างการประยุกต์ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีศึกษาการเก็บสะสมพลังงานความร้อนและคายพลังงานความร้อนจากวัสดุเก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบเปลี่ยนเฟส คือ Parafin โดยจะใช้ลมเป็นของไหลเพื่อถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนแบบบังคับและควบคุมให้อากาศไหลแบบราบเรียบ การทดลองมี 2 ขั้นตอนคือ การประจุพลังงานความร้อนแก่ Parafin และการคายพลังงานความร้อนจาก Parafin เพื่อรับความร้อนจากท่ออลูมิเนียมที่บรรจุ Parafin ผลการทดลองพบว่า การประจุความร้อนแก่ Parafin ที่อุณหภูมิของลมด้านทางเข้ามีค่า 55 องศาเซลเซียสและความเร็วลม 0.42 เมตรต่อวินาที จะทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของ Parafin มีค่าสูงและเร็วกว่ากรณีอื่น ส่วนการคายพลังงานความร้อนจาก Parafin พบว่า ควรใช้ความเร็วลม 0.42 เมตรต่อวินาที เนื่องจากจะได้ปริมาณพลังงานความร้อนสูงกว่าที่ความเร็วลม 0.28 เมตรต่อวินาที ประมาณ 42 กิโลจูล (พิมลพรรณ พงษ์โสภณ, 2541)

นอกจากวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จาก Parafin แล้วยังพบว่ามี การนำ ชีวชีงปาล์ม มาทำการศึกษาทดลองใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อการประหยัดพลังงานโดยใช้ชีงปาล์มผสมลงในโครงสร้างผนังไดอะตอมไมท์โดยใช้วิธีอัดด้วยสูญญากาศ ทดสอบโดยเทคนิค FT-IR Spectroscopy เป็นเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด (Infrared light พบว่าคุณสมบัติการจัดเก็บความร้อนอุณหภูมิหลอมเหลวอยู่ที่ 55.9 °C และการเปลี่ยนสถานะความร้อนแฝงที่ 78.0 J/g สามารถจัดเก็บความร้อนแฝงได้ดีใช้พัฒนาสำหรับวัสดุก่อสร้างซีเมนต์เพื่อสร้างความหนาแน่นในเนื้อวัสดุ อีกรงานวิจัยเป็นการนำไดอะตอมไมท์รีไซเคิลซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมาทดสอบเป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ยั่งยืนสำหรับการใช้งานที่มีศักยภาพในการจัดเก็บพลังงานความร้อนในอาคาร มีราคาแพง จึงได้มีการนำไดอะตอมไมท์รีไซเคิลซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลที่มีต่อพฤติกรรมความร้อนและพฤติกรรมทางเคมี โดยถูกผสมเข้าไปในวัสดุ 3 ชนิดกระบวนการจำแนกลักษณะโดยใช้การสแกนเชิงความร้อน (DSC) เพื่อเลือกส่วนผสมอินทรีย์ที่มีค่าสูงสุดของความร้อนแฝงแต่ละช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสที่ใกล้เคียงที่สุดในวัสดุทดสอบแต่ละชนิด และการวิเคราะห์ (FT-IR) ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนและทางเคมีของ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)s ดีขึ้นและยาวนานขึ้น มีความสามารถในการจัดเก็บพลังงานแบบเดียวกับ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ได้รับการผสมในไดอะตอมไมท์ดิบ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้ไดอะตอมไมท์ที่ผ่านการรีไซเคิลเป็นวัสดุสนับสนุนเพื่อให้ได้ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีศักยภาพและยั่งยืนสำหรับการประหยัดพลังงาน (Karen Acurio, Andrés Chico-Proano และคณะ, 2018: 633-642)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) อีกอย่างที่น่าสนใจ คือ สาร Eutectic เป็นการศึกษาหาสัดส่วนผสมของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป โดยงานวิจัยนี้เป็น การศึกษาระบบที่ประกอบด้วยสารสองชนิดหรือ มากกว่าที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวคือมีจุดหลอมเหลว ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ที่เป็นองค์ประกอบ ปฏิกิริยาดังกล่าว เกิดจากการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ โดยเมื่อสารผสมกันด้วยแรงต่าง ๆ ส่งผลให้ entropy รวมของระบบยู เทกติกมีค่าสูงขึ้น ทำให้จุดหลอมเหลวของระบบลดลง จากผลการทดลองการหาวัสดุที่เหมาะสมและ ง่ายในการทำหน้าที่เป็น วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในห้องปฏิบัติการ พบว่าในการทดลองของผสม ระหว่าง Parafin กับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใน การกักเก็บความร้อนในวินที่มีแสงแดดมากน้อยแตกต่างกัน การเติมผอยลวดลงไปผสมใน วัสดุเปลี่ยน สถานะ (PCM) ให้ ได้ 28+1 กรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มการกระจายความร้อนในวัสดุ (กันยรัตน์ โหละ สุต, ประสงค์ วงศ์วิชา และคณะ, 2551: 258-261) จากการทบทวนงานวิจัย พบว่า วิธีการที่จะลด จุดหลอมเหลวให้กับวัสดุเปลี่ยนสถานะมีหลายวิธีเช่นการผสมสารที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า การผสม สารที่โมเลกุลน้อยกว่าหรือการใส่ Metallic fitters หรือ finned tube)ลงในเนื้อวัสดุ เรียกสารที่เกิด จากการผสมนี้ว่า Eutectic สามารถนำไปปรับใช้ในการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อเป็นวัสดุประกอบ อาคารเนื่องจากเป็นวัสดุที่สะสมพลังงานหรือวัสดุสะสมอุณหภูมิ (Thermal Energy Storage Material : TES) คือ วัสดุที่มีความสามารถในการเก็บพลังงานความร้อน (Harald Mehling และ Luisa F. Cabeza, 2008) ซึ่งจะช่วยให้อุณหภูมิในวัสดุสูงขึ้นมีความหนาแน่นในเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นสามารถ ต้านทานความชื้นที่จะเข้ามาในวัสดุส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของวัสดุลดลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการพัฒนาคุณสมบัติการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติ เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างอาคารที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทยและเป็นวัสดุทางเลือกประเภท Green Smart Materials ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนแรกเป็นช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจะเป็นการศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารที่ส่งผลทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุประกอบอาคารและผลกระทบที่เกิดขึ้น ศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ เป็นการศึกษาวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกจากการทบทวนวรรณกรรม วิเคราะห์ข้อดีข้อด้อยเพื่อนำมาปรับปรุงประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมและง่ายต่อกระบวนการผลิต มีต้นทุนที่ต่ำและสามารถลดความชื้นที่จะเข้าไปสะสมในเนื้อวัสดุได้ ศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก เป็นการศึกษาวัสดุเส้นใยเซลลูโลสจากพืชที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม โดยสามารถสร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติให้คุ้มค่าต่อการลงทุนและการคุ้มครองในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตบล็อก อีกทั้งยังมีการศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในด้านสะสมพลังงานเพื่อการป้องกันความชื้นในวัสดุ เป็นการศึกษาเพื่อหาวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีช่วงอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเปลี่ยนสถานะในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยมีวิธีการทดสอบช่วงจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติที่คัดเลือกโดยทดสอบด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter, Mettler Toledo DSC 1 Module)

ขั้นตอนถัดไปจะเป็นการศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาประยุกต์ใช้กับวัสดุธรรมชาติที่จะส่งผลให้ Moisture Content ในเนื้อวัสดุที่จะนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างอาคารลดลง เป็นการศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้กับวัสดุธรรมชาติเพื่อพัฒนาคุณสมบัติในการป้องกันและลดความชื้นเข้ามาในเนื้อวัสดุ ของวัสดุธรรมชาติที่ได้คัดเลือกมาแล้ว 2 ชนิด นำไปทดสอบเพื่อหาสูตรส่วนผสมที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุดก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

ขั้นตอนที่สองเป็นช่วงเตรียมวัสดุดิบโดยนำวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลา มาผ่านกระบวนการเคลือบผิววัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing โดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะทำการเคลือบ (Coating) วัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตรด้วยวัสดุน้ำยางพาราอีกชั้น นำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพมาทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาว่าสูตรใดดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซ้ำที่สุดและคายน้ำเร็ว ซึ่งจะได้

ชนิดวัสดุธรรมชาติและสูตรส่วนผสมต้นแบบในการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

ขั้นตอนที่สามเป็นช่วงทดลองหาส่วนผสม จะเป็นการคัดเลือกหาสูตรส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกที่มีการนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพแล้วไปทดแทนส่วนผสมซึ่งมี ปูนซีเมนต์ ทราย หิน เป็นส่วนประกอบหลัก โดยใช้อัตราส่วนมาตรฐานของคอนกรีตบล็อก คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน = 1 : 3 : 5 และน้ำ 40% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ กำหนดสัดส่วนของวัสดุธรรมชาติออกเป็น 5 สูตรทดลอง คือ 10%, 20%, 30%, 40%, 50% และแบ่งส่วนผสมในการทดลองแบ่งเป็น 4 กลุ่ม

ขั้นตอนถัดไปนำสูตรที่ที่มีการดูซึมให้น้ำน้อยที่สุดนำไปขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10x10x10 ซม. สูตรละ 5 ก้อนรวมทั้งหมดเป็น 50 ก้อนนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดให้ได้ความแข็งแรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) เพื่อให้ได้สูตรที่มีความแข็งแรงในการนำไปขึ้นรูปทรงคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

ขั้นตอนที่สี่เป็นช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม. เป็นการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องจักรผลิตบล็อกกลวง

ขั้นตอนที่ห้าเป็นช่วงทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยนำคอนกรีตบล็อกที่ผลิตไปทำการทดสอบหาค่าต้านทานแรงอัดและปริมาณความชื้นโดยการดูกลิ่นน้ำและหัดตัวทางยาวตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการและทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อนหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ตามมาตรฐาน ASTM C 518 เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมาตรฐานของกระทรวงพลังงานและ CISB Guide A:2015

ขั้นตอนที่หกเป็นช่วงทดสอบค่าดูซึมความชื้น ความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบความสามารถในการดูซึมความชื้นในสภาวะต่างๆ หลังจากได้คอนกรีตบล็อกกลวงขนาด 70 x 190 x 390 มม. ที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) นำไปทดสอบค่าดูซึมความชื้นเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ วัดค่าความชื้นก่อนแช่และหลังแช่น้ำ ทำการวัดค่าความชื้นโดยใช้ Moisture Meter ประเภท Radio Frequency Test ที่ผิวแต่ละช่วงเวลาตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ผิวด้านบนสุดและคุณสมบัติการดูซึมความชื้นในแต่ละชั้นของคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิด ขั้นตอนถัดไปจะทำการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่างๆ โดยทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองไว้เป็น 2 กรณีศึกษาคือในสภาวะปกติและสภาวะที่มีความชื้นเกิดขึ้น เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดความร้อนและคุณสมบัติในการดูซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัยและคอนกรีตบล็อกที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ

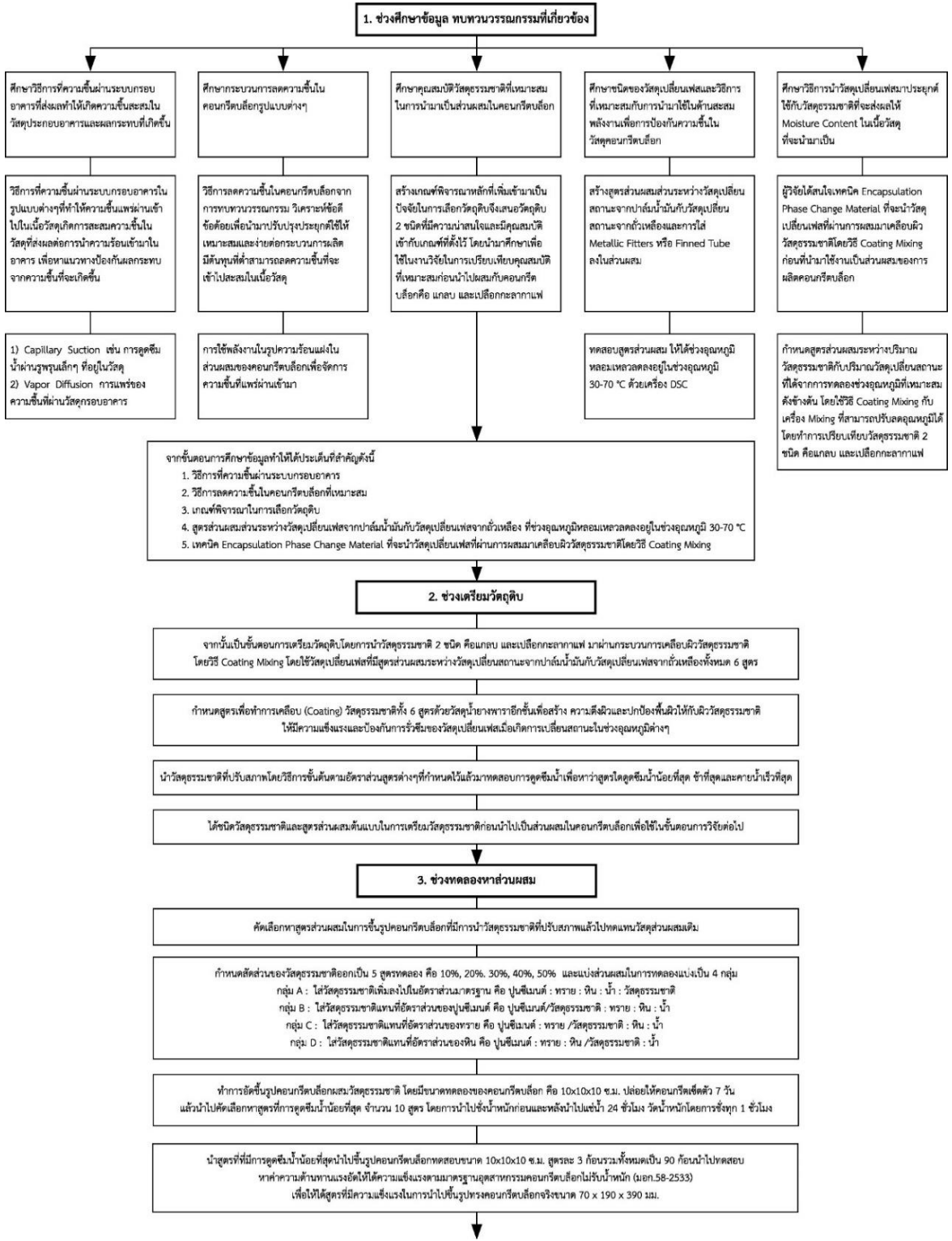
ขั้นตอนถัดไปทำการเก็บข้อมูลแต่ละช่วงเวลาในสภาวะต่างๆเก็บข้อมูลโดยเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) จากนั้นใช้โปรแกรมจาก (Data logger) และ Microsoft Excel ในการวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่จำหน่ายตามท้องตลาด

ขั้นตอนสุดท้าย ช่วงสรุปผลการทดลองในด้านต่าง ๆ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อสรุปผลงานวิจัยโดยอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นกับงานวิจัยในหัวข้อดังนี้ วิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่ทำจากวัสดุธรรมชาติเพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร, ความสัมพันธ์ของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ส่งผลต่อ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อก, ความสัมพันธ์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล การนำความร้อน การดูดซับความชื้นของวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, ความสัมพันธ์ของการคัดเลือก การเตรียมวัสดุธรรมชาติ และการขึ้นรูปที่ดีส่งผลทำให้ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำ

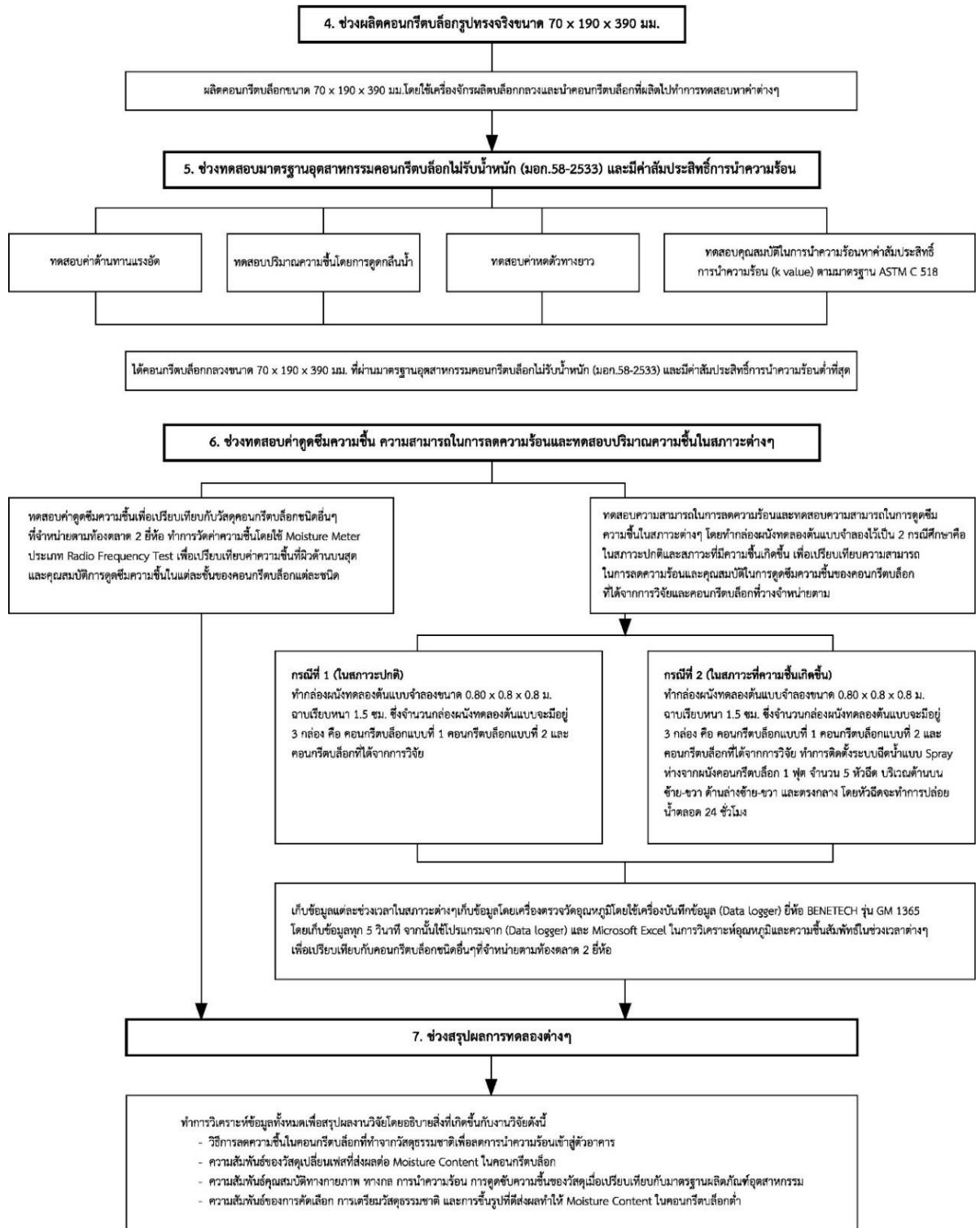


ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการพัฒนาคุณสมบัติการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกจากวัสดุธรรมชาติ จากวัสดุเปลี่ยนสถานะมีวิธีการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 45 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 46 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

1. ช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารที่ส่งผลทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุ ประกอบอาคารและผลกระทบที่เกิดขึ้น เป็นการศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารในรูปแบบต่างๆที่ทำให้ความชื้นแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุเกิดการสะสมความชื้นในวัสดุที่ส่งผลต่อการนำความร้อนเข้ามาในอาคาร เพื่อหาแนวทางป้องกันผลกระทบจากความชื้นที่จะเกิดขึ้น ซึ่งวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารและส่งผลต่อการสะสมความชื้นในวัสดุประกอบอาคารมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ 1) Capillary Suction เช่น การดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนเล็กๆ ที่อยู่ในวัสดุ 2) Vapor Diffusion การแพร่ของความชื้นที่ผ่านวัสดุกรอบอาคาร โดยการแพร่ของไอน้ำจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure) นอกจากนี้การแพร่ยังมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

1.1 ศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ

การศึกษาวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกจากการทบทวนวรรณกรรม วิเคราะห์ข้อดีข้อด้อยเพื่อนำมาปรับปรุงประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมและง่ายต่อกระบวนการผลิต มีต้นทุนที่ต่ำสามารถลดความชื้นที่จะเข้าไปสะสมในเนื้อวัสดุได้ จากการศึกษาว่ามีวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกหลายวิธีซึ่งแยกเป็นวิธีการต่าง ๆ ได้ดังนี้

วิธีที่ 1 คือการใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงดึงผิวสูงป้องกันความชื้นเข้าไปในเนื้อผิวคอนกรีตบล็อก

วิธีที่ 2 การเพิ่มสารดูดซับความชื้นเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อดูดซับความชื้นที่เข้ามา

วิธีที่ 3 การเพิ่มขนาดความหนาให้กับวัสดุโดยเพิ่มส่วนผสมคอนกรีต (Aggregate) เข้าไปในวัสดุคอนกรีตบล็อก

วิธีที่ 4 การใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา

1.2 ศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสม

การศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสม เพื่อนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก เป็นการศึกษาวัสดุเส้นใยเซลลูโลสจากพืชที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม โดยสามารถสร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติให้คุ้มค่าต่อการลงทุนและการคุ้มทุนในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตบล็อก วัสดุธรรมชาติที่นำมาผสมในคอนกรีตบล็อกมีหลายชนิดเช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด แกลบ ฯลฯ หรือวัสดุที่มีเส้นใยเซลลูโลส เช่น เส้นใยผักตบชวา เส้นใยปาล์ม จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบของงานวิจัยพบว่าวัสดุเส้นใยเซลลูโลสที่ไปทดแทนมวลรวม

ต่างๆจะใช้ในปริมาณ 10% - 40% ขึ้นอยู่กับชนิดของพีช และปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมอยู่ที่ 40% ของปูนซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่ และคุณสมบัติทางกลพบว่าค่าน้ำหนัก ค่าความหนาแน่น ค่าความต้านทานแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนและค่าการนำความร้อนจะแปรผกผันกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มเข้าไป แต่มีค่าหนึ่งที่แปรผันตรงกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มคือค่าปริมาณความชื้นที่ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการหดตัวทางยาวเพิ่มขึ้น ส่งผลก่อให้เกิดปัญหาการดูดซึมน้ำมากของเส้นใยเซลลูโลสทำให้คอนกรีตบล็อกมีค่าความชื้นสูงขึ้น ดังนั้นในการที่จะนำวัสดุธรรมชาติที่มีเส้นใยเซลลูโลสมาผสมในคอนกรีตบล็อกต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติและวิธีการเตรียมวัสดุที่จะส่งผลทำให้ค่า Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำลงและข้อจำกัดด้านงบประมาณ เวลา และปริมาณในการจัดเตรียมวัสดุที่เหมาะสมก่อนนำไปผสมคอนกรีตบล็อก

1.3 ศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสม

ศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสม กับการนำมาใช้ในด้านสะสมพลังงานเพื่อการป้องกันความชื้นในวัสดุเป็นการศึกษาเพื่อหาวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีช่วงอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเปลี่ยนสถานะในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยมีวิธีการทดสอบช่วงจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติที่คัดเลือกโดยทดสอบด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter, Mettler Toledo DSC 1 Module) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างสูตรส่วนผสมส่วนระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองและการใส่ Metallic Fitters หรือ Finned Tube ลงในส่วนผสม ให้ได้ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-70 °C

ตารางที่ 15 แสดงสูตรอัตราส่วนผสมส่วนระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง

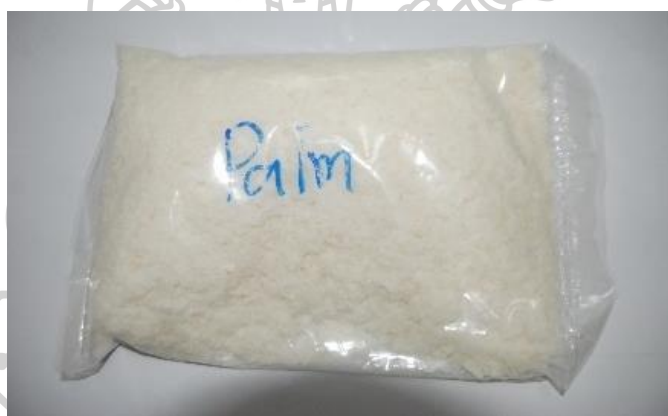
ส่วนผสม	ปริมาณรวม 100 กรัม	ปริมาณวัสดุ เปลี่ยนสถานะจาก ปาล์มน้ำมัน	ปริมาณวัสดุ เปลี่ยนสถานะ จาก ปาล์ม น้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ วัสดุเปลี่ยน สถานะจาก ถั่วเหลือง	ปริมาณวัสดุ เปลี่ยนสถานะ จาก ถั่วเหลือง (กรัม)	ปริมาณผง ตะไบเหล็ก	ระยะเวลาใน การเซตตัวที่ อุณหภูมิ ห้อง
ส่วนผสมที่ 1	100 กรัม	3 ส่วน	75	1 ส่วน	25	2.8	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 2	100 กรัม	2 ส่วน	66.66	1 ส่วน	33.33	2.8	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 3	100 กรัม	1 ส่วน	50	1 ส่วน	50	2.8	24 ชั่วโมง

โดยมีขั้นตอนการสร้างสูตรส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะ ดังนี้

- 1) ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ภาชนะ เพื่อบรรจุวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) แต่ละชนิดและ ผงตะไบเหล็กเพื่อเตรียมนำไปทดสอบช่วงอุณหภูมิจุดหลอมเหลวที่เหมาะสม



รูปที่ 47 แสดงภาชนะกระชားเพื่อหลอมเหลววัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)



รูปที่ 48 แสดงวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์ม



รูปที่ 49 แสดงวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากถั่วเหลือง



รูปที่ 50 แสดงผงตะไบเหล็ก (Iron Powder)

2) ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมตามตารางสูตรและชั่งน้ำหนักผงตะไบเหล็กนำไปเป็นส่วนผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ตาม อัตราส่วนเพื่อเตรียมนำไปหลอมเหลว



รูปที่ 51 แสดงการชั่งน้ำหนักภาชนะกระเทบนเครื่องชั่งดิจิทัล



รูปที่ 52 แสดงการชั่งน้ำหนักวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)



รูปที่ 53 แสดงส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และผงตะไบเหล็ก (Iron Powder)

3) ขั้นตอนการหลอมเหลวส่วนผสมต่างๆให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีการคนสารอย่างสม่ำเสมอ จนกว่าหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 54 แสดงการหลอมเหลวส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และผงตะไบเหล็ก (Iron Powder)



รูปที่ 55 แสดงส่วนผสมที่หลอมเหลวแล้วเสร็จ

- 4) ขั้นตอนหลังจากหลอมเหลวเสร็จปล่อยให้วัสดุเปลี่ยนสถานะ เซ็ตตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 56 แสดงการปล่อยให้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เซ็ตตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

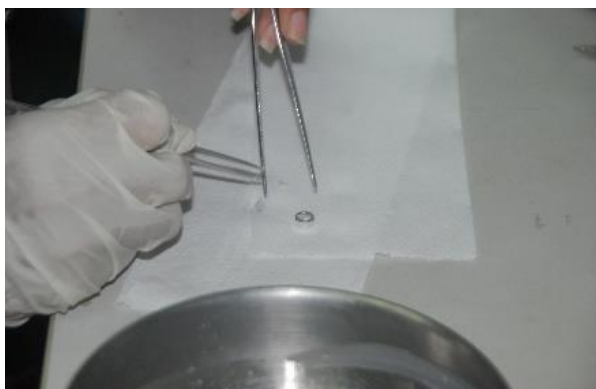


รูปที่ 57 แสดงลักษณะวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) หลังจากเซ็ตตัว

- 5) ขั้นตอนการทดสอบจุดหลอมเหลวที่ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยการนำชิ้นวัสดุเปลี่ยนสถานะไปชั่งตามน้ำหนักที่ตั้งไว้แล้วนำมาบรรจุใส่ภาชนะ (PAN) แล้วอัดปิดฝาด้วยเครื่องปิดผนึก



รูปที่ 58 แสดงการเตรียมทดสอบจุดหลอมเหลววัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)



รูปที่ 59 แสดงการบรรจุวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในภาชนะทดสอบจุดหลอมเหลว (PAN)

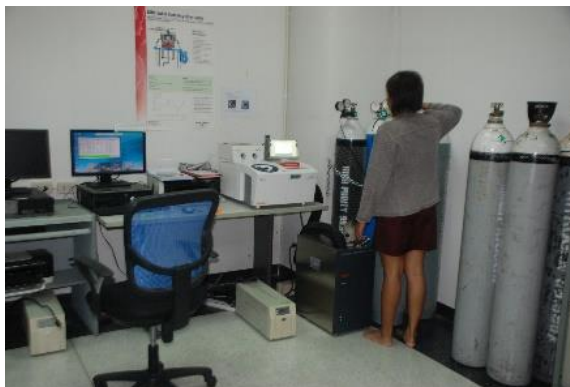


รูปที่ 60 แสดงลักษณะภาชนะทดสอบจุดหลอมเหลว (PAN)

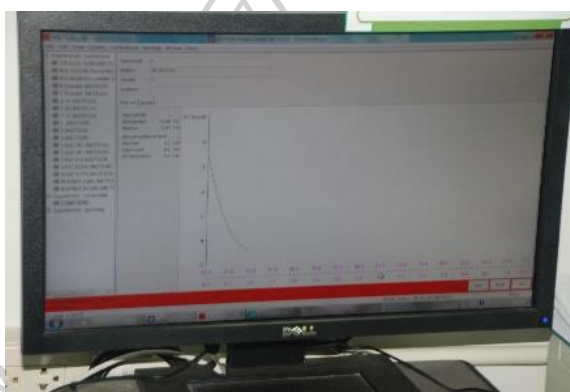


รูปที่ 61 แสดงการนำภาชนะทดสอบ (PAN) ที่บรรจุวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เข้าเครื่องทดสอบ DSC

6) ขั้นตอนหลังจากวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เข้าเครื่องทดสอบเสร็จแล้วทั้ง 3 สูตร นำมาวิเคราะห์กับโปรแกรม DSC เพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟใน การบอกข้อมูลช่วงเวลาหลอมเหลว จุดหลอมเหลวสูงสุด และ พลังงานความร้อนที่ใช้ไป



รูปที่ 62 แสดงการเดินเครื่องทดสอบ DSC



รูปที่ 63 แสดงลักษณะผลทดสอบจากเครื่องทดสอบ DSC

7) ศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาประยุกต์ใช้กับวัสดุธรรมชาติที่จะส่งผลให้ Moisture Content ในเนื้อวัสดุที่จะนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างอาคารลดลง เป็นการศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้กับวัสดุธรรมชาติเพื่อพัฒนาคุณสมบัติในการป้องกันและลดความชื้นเข้ามาในเนื้อวัสดุ โดยใช้กระบวนการ Encapsulation Method วัสดุธรรมชาติโดยวิธีการ Coating Mixing ของวัสดุธรรมชาติที่ได้คัดเลือกมาแล้ว 2 ชนิด นำไปทดสอบเพื่อหาสูตรส่วนผสมที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุดก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

2. ช่วงเตรียมวัตถุดิบ

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติที่คัดเลือกมาทดสอบสมมติฐานที่ว่า การเคลือบผิววัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing วัสดุใดจะสามารถป้องกันความชื้นเข้ามาในวัสดุได้ดีที่สุด โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทดลอง ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

โดยการนำวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา มาผ่านกระบวนการเคลือบผิววัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing โดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีสูตรส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองทั้งหมด 6 สูตร โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดสูตรส่วนผสมระหว่างปริมาณวัสดุธรรมชาติกับปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ

ตารางที่ 16 แสดงสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของปริมาณแกลบและปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

ส่วนผสม	ปริมาณวัสดุธรรมชาติ	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ	ระยะเวลาในการเคลือบ (Coating)	ระยะเวลาในการเซ็ดตัวที่อุณหภูมิห้อง
ส่วนผสมที่ 1 (A1)	1 Kg	20 %	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 2 (A2)	1 Kg	30 %	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 3 (A3)	1 Kg	40 %	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 4 (B1)	1 Kg	20 %	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 5 (B2)	1 Kg	30 %	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 6 (B3)	1 Kg	40 %	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมวัสดุตามปริมาณส่วนผสมต่างๆ ตามที่กำหนดไว้



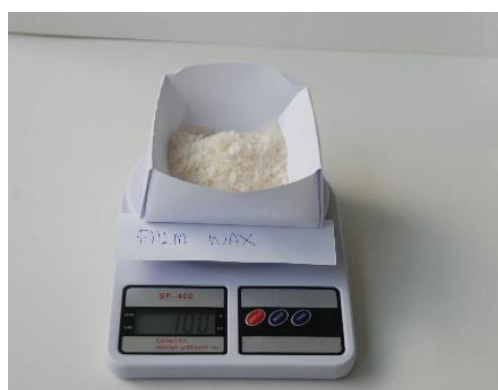
รูปที่ 64 แสดงลักษณะของแกลบ



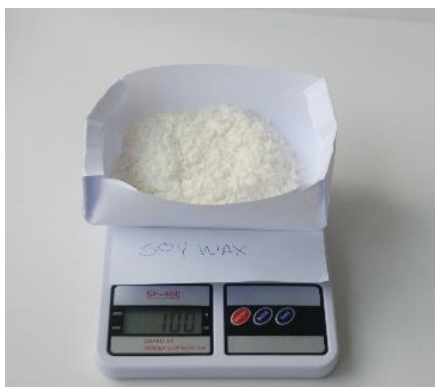
รูปที่ 65 แสดงลักษณะของเปลือกกะลากาแฟ



รูปที่ 66 แสดงการชั่งวัสดุธรรมชาติ (แกลบและเปลือกกะลากาแฟ)



รูปที่ 67 แสดงการชั่งวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์ม



รูปที่ 68 แสดงการชั่งวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากถั่วเหลือง

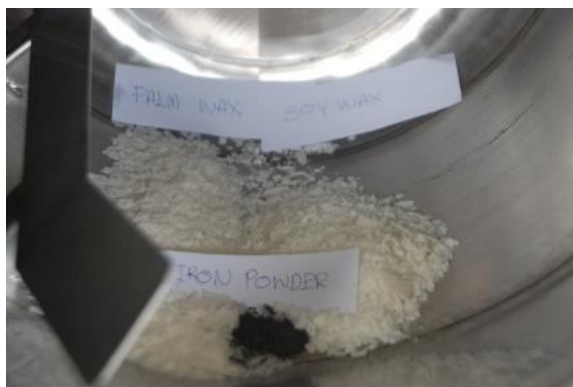


รูปที่ 69 แสดงการชั่งผงตะไบเหล็ก (Iron Powder)

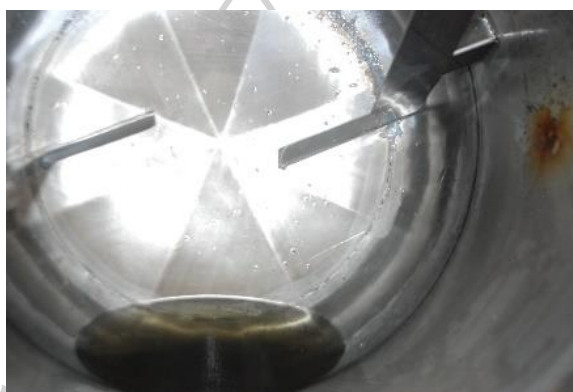
ขั้นตอนที่ 3 นำส่วนผสมต่างๆเข้าเครื่องผสม (Mixing) ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้ หลังจากนั้น เปิดเครื่องผสม (Mixing) และเปิดหัวเตาแก๊สเพื่อหลอมส่วนผสมต่างๆ ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 70 แสดงเครื่องผสม (Mixing) ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้



รูปที่ 71 แสดงการนำส่วนผสมเข้าเครื่องผสม (Mixing)



รูปที่ 72 แสดงการหลอมเหลวส่วนผสมของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในเครื่องผสม (Mixing)

ขั้นตอนที่ 4 นำวัสดุธรรมชาติที่ได้ปริมาณตามสูตรลงไป คลุกเคล้าในเครื่องผสม (Mixing) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนอุณหภูมิลดลงจนทำให้วัสดุเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไข (Wax) เคลือบวัสดุธรรมชาติทั้งหมด



รูปที่ 73 แสดงการนำวัสดุธรรมชาติ (แกลบและเปลือกกะลาเผา) คลุกเคล้าในเครื่องผสม (Mixing)



รูปที่ 74 แสดงการ Coating วัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในเครื่องผสม (Mixing)

ขั้นตอนที่ 5 นำวัสดุธรรมชาติที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาพักให้เซ็ดตัวที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 75 แสดงลักษณะแกลบที่เซ็ดตัวแล้วหลังจากเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)



รูปที่ 76 แสดงลักษณะเปลือกกะลาที่เซ็ดตัวแล้วหลังจากเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

หลังจากนั้นกำหนดสูตรเพื่อทำการเคลือบ (Coating) วัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตรด้วยวัสดุ น้ำยางพาราอีกชั้นเพื่อสร้าง ความตึงผิวและปกป้องพื้นผิวให้กับผิววัสดุธรรมชาติให้มีความแข็งแรง และป้องกันการรั่วซึมของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อเกิดการเปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ โดยมี สูตรส่วนผสมและขั้นตอนดังนี้

2.2 กำหนดสูตรส่วนผสมระหว่างปริมาณวัสดุธรรมชาติกับปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ

กำหนดสูตรส่วนผสมระหว่างปริมาณวัสดุธรรมชาติกับปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ ที่ได้จากการทดลองช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังข้างต้น โดยใช้วิธี Coating Mixing กับเครื่อง Mixing ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้ โดยทำการเปรียบเทียบวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือก กะลาเผา โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดสูตรเพื่อทำการเคลือบ (Coating) วัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตร

ตารางที่ 3.3 แสดงสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของปริมาณวัสดุธรรมชาติและปริมาณน้ำ ยางพารา

ส่วนผสม	ปริมาณวัสดุ ธรรมชาติ	ปริมาณ น้ำยางพารา	ระยะเวลาในการ เคลือบ (Coating)	ระยะเวลาในการเซ็ด ตัวที่อุณหภูมิห้อง
ส่วนผสมที่ 1 (A1)	1 Kg	70 %	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 2 (A2)	1 Kg	70 %	1 ชั่วโมง	2 4 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 3 (A3)	1 Kg	70 %	1 ชั่วโมง	2 4 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 4 (B1)	1 Kg	70 %	1 ชั่วโมง	2 4 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 5 (B2)	1 Kg	70 %	1 ชั่วโมง	2 4 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 6 (B3)	1 Kg	70 %	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 2 ชั่งส่วนผสมตามสูตรนำเข้าเครื่องผสม (Mixing) แล้วเปิดเดินเครื่อง 1 ชั่วโมง จนยางพาราเริ่มแห้ง เคลือบวัสดุธรรมชาติทั้งหมด



รูปที่ 77 แสดงการชั่งตวงน้ำยางพารา ก่อนนำไปเคลือบ Coating วัสดุธรรมชาติ



รูปที่ 78 แสดงการใส่น้ำยางพาราในเครื่องผสม (Mixing)



รูปที่ 79 แสดงการใช้ไม้พายในการช่วยพลิกวัสดุธรรมชาติในเครื่องผสม (Mixing)



รูปที่ 80 แสดงลักษณะแกลบหลังจากการเคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพารา



รูปที่ 81 แสดงลักษณะเปลือกกะลาที่เคลือบหลังจากการเคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพารา

ขั้นตอนที่ 3 นำวัสดุธรรมชาติที่ถูกเคลือบ (Coating) ด้วยน้ำยางพารามาผึ่งลมและพักไว้ที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 82 แสดงลักษณะการเทวัสดุธรรมชาติหลังจากการเคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพารา



รูปที่ 83 แสดงลักษณะวัสดุธรรมชาติหลังจากการเคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพารา

หลังจากนั้นนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพโดยวิธีการขึ้นต้นตามอัตราส่วนสูตรต่างๆที่กำหนดไว้แล้วมาทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาว่าสูตรใดดูดซึมน้ำน้อยที่สุด โดยวิธีการนำวัสดุธรรมชาติตามอัตราส่วนสูตรต่าง ๆ มาชั่งน้ำหนักก่อนและหลัง นำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง วัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง หาอัตราส่วนผสมที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซ้ำที่สุดและคายน้ำเร็วที่สุด เพื่อนำไปเป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบที่จะนำไปปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนผสมในคอนกรีตบล็อก

2.3 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

ทดสอบการดูดซึมน้ำโดยนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพโดยวิธีการขึ้นต้นตามอัตราส่วนสูตรต่างๆที่กำหนดไว้แล้วมาทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาว่าสูตรใดดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซ้ำที่สุดและคายน้ำเร็วที่สุด โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำวัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตร บรรจุถุงโป่ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูลก่อนนำไปแช่น้ำ



รูปที่ 84 แสดงการชั่งน้ำหนักแบบที่เคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพาราบรรจุถุงโป่ง



รูปที่ 85 แสดงการชั่งน้ำหนักเปลือกกะลาจากแพที่เคลือบ Coating ด้วยน้ำยางพาราบรรจุถุงโปรง

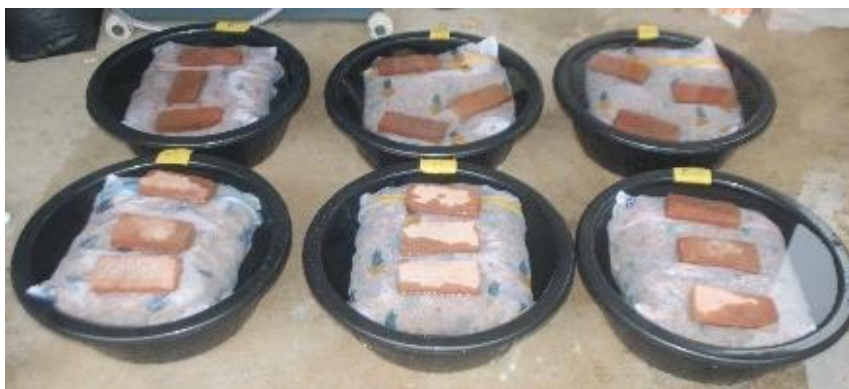
ขั้นตอนที่ 2 นำถุงโปรงที่บรรจุวัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตร มาแช่น้ำระยะเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 86 แสดงการนำวัสดุธรรมชาติที่บรรจุในถุงโปรงใส่ในภาชนะกะละมัง



รูปที่ 87 แสดงการนำก้อนอิฐมาทับถุงโปรงเพื่อให้แช่น้ำได้ทุกส่วน



รูปที่ 88 แสดงการเติมน้ำในภาชนะเพื่อแช่วัสดุวิศวกรรมชาติ 24 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 3 การวัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หาอัตราสูตร ส่วนผสมที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซ้ำที่สุดและคายน้ำเร็วที่สุด เพื่อนำไปเป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบ



รูปที่ 89 แสดงลักษณะวัสดุวิศวกรรมชาติหลังจากแช่น้ำ



รูปที่ 90 แสดงการชั่งน้ำหนักวัสดุวิศวกรรมชาติในถุงโปร่งทุก 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากนั้นจะได้ชนิดวัสดุวิศวกรรมชาติและสูตรส่วนผสมต้นแบบ 1 สูตรที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซ้ำที่สุดและคายน้ำเร็วที่สุด เพื่อใช้เตรียมวัสดุวิศวกรรมชาติก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อใช้ในขั้นตอนการวิจัยต่อไป

2.4 การเตรียมวัสดุธรรมชาติจากชนิดวัสดุธรรมชาติและสูตรส่วนผสมต้นแบบ

การเตรียมวัสดุธรรมชาติจากชนิดวัสดุธรรมชาติและสูตรส่วนผสมต้นแบบ ก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อใช้ในขั้นตอนการวิจัยต่อไป โดยขั้นตอนการผสมวัสดุธรรมชาติและสูตรส่วนผสมต้นแบบ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมวัสดุธรรมชาติที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ช้ำที่สุดและคายน้ำเร็วที่สุดให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดเพื่อทำการนำไป Coating Mixing กับเครื่อง Mixing ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้

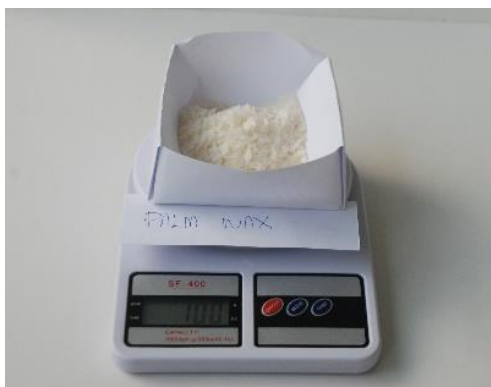


รูปที่ 91 แสดงการเตรียมวัสดุธรรมชาติที่คัดเลือกเพื่อนำไปเคลือบ Coating กับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และน้ำยางพารา

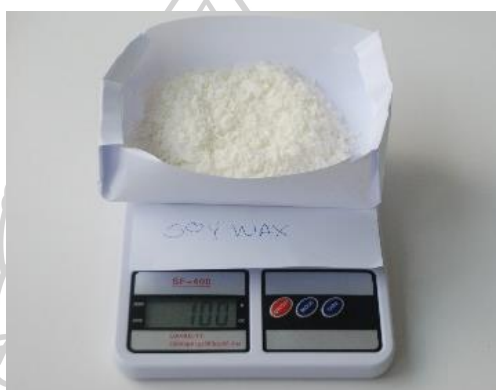
ขั้นตอนที่ 2 ชั่งส่วนผสมสูตรที่ได้คัดเลือกนำเข้าเครื่องผสม (Mixing) ที่มีการเตรียมวัสดุเปลี่ยนสถานะไว้แล้วและเปิดเดินเครื่อง 1 ชั่วโมง เพื่อให้วัสดุเปลี่ยนสถานะเคลือบผิววัสดุธรรมชาติได้ทั่วถึง



รูปที่ 92 แสดงการชั่งวัสดุธรรมชาติที่ถูกคัดเลือก



รูปที่ 93 แสดงการชั่งวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์มตามสูตรที่ผ่านการทดสอบ



รูปที่ 94 แสดงการชั่งวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากถั่วเหลืองตามสูตรที่ผ่านการทดสอบ



รูปที่ 95 แสดงการชั่งผงตะไบเหล็ก (Iron Powder) ตามสูตรที่ผ่านการทดสอบ



รูปที่ 96 แสดงการหลอมเหลวส่วนผสมต่างๆในเครื่องผสม (Mixing)



รูปที่ 97 แสดงการเคลือบ Coating วัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในเครื่องผสม (Mixing)

ขั้นตอนที่ 3 นำวัสดุธรรมชาติที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาพักให้เซ็ดตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 98 แสดงการนำวัสดุธรรมชาติมาฝั่งลมให้เซ็ดตัว

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากพักไว้ 24 ชั่วโมงซึ่งส่วนผสมตามสูตรนำเข้าเครื่องผสม (Mixing) กับน้ำ
 ยางพารา แล้วเปิดเดินเครื่อง 1 ชั่วโมง จนยางพาราเริ่มแห้งเคลือบวัสดุธรรมชาติทั้งหมด



รูปที่ 99 แสดงการชั่งน้ำหนักน้ำยางพาราเพื่อเตรียมเคลือบ Coating วัสดุธรรมชาติ

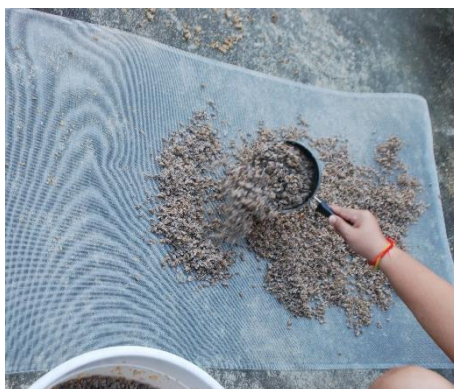


รูปที่ 100 แสดงการเติมน้ำยางพาราในเครื่องผสม (Mixing) ที่มีวัสดุธรรมชาติอยู่ภายใน



รูปที่ 101 แสดงลักษณะการเดินเครื่องผสม (Mixing)

ขั้นตอนที่ 5 นำวัสดุธรรมชาติที่ถูกเคลือบ (Coating) ด้วยน้ำยางพารามาผึ่งลมและพักไว้ที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 102 แสดงการนำวัสดุธรรมชาติมาผึ่งหลังบนแผ่นมุ้งลวดนำออกจากเครื่องผสม (Mixing)



รูปที่ 103 แสดงการเกลี่ยวัสดุธรรมชาติบนแผ่นมุ้งลวดให้ได้รับลมอย่างทั่วถึง



รูปที่ 104 แสดงการตากวัสดุธรรมชาติให้แห้งและเซ็ดตัว

ขั้นตอนที่ 6 ได้วัสดุธรรมชาติต้นแบบที่ผ่านการเตรียมตามกระบวนการ จัดเก็บบรรจุในถุงที่สามารถให้ลมผ่านได้เพื่อนำไปใช้ในงานวิจัยขั้นต่อไป



รูปที่ 105 แสดงลักษณะวัสดุธรรมชาติหลังจากเช็ดตัว



รูปที่ 106 แสดงการนำวัสดุธรรมชาติบรรจุถุงเพื่อป้องกันความชื้น



รูปที่ 107 แสดงลักษณะการจัดเก็บวัสดุธรรมชาติในร่มป้องกันความร้อนเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อก

3. ช่วงทดลองหาส่วนผสม

เป็นการคัดเลือกหาสูตรส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกที่มีการนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพแล้วไปทดแทนส่วนผสมซึ่งมี ปูนซีเมนต์ ทราย หิน เป็นส่วนประกอบหลัก โดยใช้อัตราส่วนมาตรฐานของคอนกรีตบล็อก คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 : ทรายหยาบ : หินฝุ่น = 1 : 3 : 5 และน้ำ 40% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ขนาดมาตรฐานในการทดสอบเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 10 x 10 x 10 cm. โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดสัดส่วนของวัสดุธรรมชาติออกเป็น 5 สูตรทดลอง คือ 10%, 20%, 30%, 40%, 50% และแบ่งส่วนผสมในการทดลองแบ่งเป็น 4 กลุ่ม

กลุ่ม A : ใส่วัสดุธรรมชาติเพิ่มลงไปให้อัตราส่วนมาตรฐาน คือ

ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน : น้ำ : วัสดุธรรมชาติ

กลุ่ม B : ใส่วัสดุธรรมชาติแทนที่อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ คือ

ปูนซีเมนต์/วัสดุธรรมชาติ : ทราย : หิน : น้ำ

กลุ่ม C : ใส่วัสดุธรรมชาติแทนที่อัตราส่วนของทราย คือ

ปูนซีเมนต์ : ทราย / วัสดุธรรมชาติ : หิน : น้ำ

กลุ่ม D : ใส่วัสดุธรรมชาติแทนที่อัตราส่วนของหิน คือ

ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน / วัสดุธรรมชาติ : น้ำ

โดยสามารถจำแนกสูตรการทดลองได้ทั้งหมด 20 สูตร ตามตารางที่ 17 ดังนี้



ตารางที่ 17 แสดงอัตราส่วนส่วนผสมในการทดลองขึ้นรูปทรงคอนกรีต

รายการ	รายละเอียด	ส่วนผสม			
		ปูน	ทรายหยาบ	หินฝุ่น	เปลือกกะลา กาแฟ
A	ส่วนผสมต้นแบบ	1	3	5	0
(ปริมาณน้ำ 40% ของส่วนผสมทั้งหมด = 3.6)					
เพิ่มเปลือกกะลา					
A1	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่ม เปลือกกะลา 10 %	0.9 (10%)	2.7 (30%)	4.5 (50%)	0.9 (10%)
A2	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่ม เปลือกกะลา 20 %	0.8 (8.9%)	2.4 (26.7%)	4.0 (44.4%)	1.8 (20%)
A3	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่ม เปลือกกะลา 30 %	0.7 (7.8%)	2.1 (23.3%)	3.5 (38.5%)	2.7 (30%)
A4	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่ม เปลือกกะลา 40 %	0.6 (6.7%)	1.8 (20%)	3.0 (33.3%)	3.6 (40%)
A5	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่ม เปลือกกะลา 50 %	0.5 (5.6%)	1.5 (16.7%)	2.5 (27.7%)	4.5 (50%)
แทนที่ปูนด้วยเปลือกกะลา					
B1	แทนที่ปูนด้วย เปลือกกะลา 10 %	0.9	3	5	0.1
B2	แทนที่ปูนด้วย เปลือกกะลา 20 %	0.8	3	5	0.2

รายการ	รายละเอียด	ส่วนผสม			
		ปูน	ทรายหยาบ	หินฝุ่น	เปลือกกะลา กาแฟ
B3	แทนที่ปูนด้วย เปลือกกะลา กาแฟ 30 %	0.7	3	5	0.3
B4	แทนที่ปูนด้วย เปลือกกะลา กาแฟ 40 %	0.6	3	5	0.4
B5	แทนที่ปูนด้วย เปลือกกะลา กาแฟ 50 %	0.5	3	5	0.5
แทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลา กาแฟ					
C1	แทนที่ทรายด้วย เปลือกกะลา กาแฟ 10 %	1	2.7	5	0.3
C2	แทนที่ทรายด้วย เปลือกกะลา กาแฟ 20 %	1	2.4	5	0.6
C3	แทนที่ทรายด้วย เปลือกกะลา กาแฟ 30 %	1	2.1	5	0.9
C4	แทนที่ทรายด้วย เปลือกกะลา กาแฟ 40 %	1	1.8	5	1.2
C5	แทนที่ทรายด้วย เปลือกกะลา กาแฟ 50 %	1	1.5	5	1.5

รายการ	รายละเอียด	ส่วนผสม			
		ปูน	ทรายหยาบ	หินฝุ่น	เปลือกกะลา กาแฟ
แทนที่หินด้วยเปลือกกะลากาแฟ					
D1	แทนที่หินด้วย เปลือกกะลากาแฟ 10 %	1	3	4.5	0.5
D2	แทนที่หินด้วย เปลือกกะลากาแฟ 20 %	1	3	4.0	1.0
D3	แทนที่หินด้วย เปลือกกะลากาแฟ 30 %	1	3	3.5	1.5
D4	แทนที่หินด้วย เปลือกกะลากาแฟ 40 %	1	3	3.0	2.0
D5	แทนที่หินด้วย เปลือกกะลากาแฟ 50 %	1	3	2.5	2.5

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมแม่แบบคอนกรีตทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม. โดยใช้ฟิวเจอร์บอร์ดเป็นแม่แบบเพราะตัดขึ้นรูปได้สะดวกมีผิวเรียบเมื่อแกะแม่แบบก่อนคอนกรีตทดสอบออก

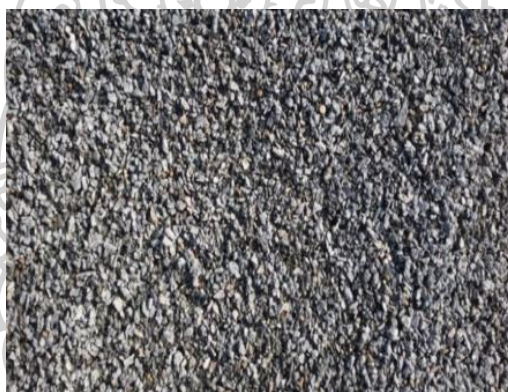


รูปที่ 108 แสดงลักษณะแม่แบบคอนกรีตทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม.

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมส่วนผสมต้นแบบที่มีส่วนผสมคอนกรีตตามสูตรและวัสดุธรรมชาติที่ผ่านการการเตรียมข้างต้น



รูปที่ 109 แสดงลักษณะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



รูปที่ 110 แสดงลักษณะของหินฝุ่น



รูปที่ 111 แสดงลักษณะของทรายหยาบ



รูปที่ 112 แสดงลักษณะของวัสดุธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการ Encapsulation เรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 4 นำส่วนผสมมาคลุกเคล้ากันและใส่น้ำตามอัตราส่วนที่กำหนด



รูปที่ 113 แสดงลักษณะการเตรียมส่วนผสมตามสูตรที่กำหนด



รูปที่ 114 แสดงลักษณะการคลุกส่วนผสมต่างๆตามสูตรให้เข้ากันก่อนใส่น้ำ



รูปที่ 115 แสดงลักษณะการคลุกส่วนผสมต่างๆกับน้ำให้เข้ากันเพื่อนำใส่แม่พิมพ์ที่เตรียมไว้

ขั้นตอนที่ 5 นำส่วนผสมที่คลุกเคล้าเรียบร้อยแล้วใส่ลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ ควรอัดส่วนผสมจนกริดลงไปให้แน่นพร้อมใช้เกียงกดอัดส่วนผสมไม่ให้เกิดฟองอากาศหรือรูพรุนภายในก้อนคอนกรีต พร้อมเขียนเลขรหัสของสูตรบนแม่พิมพ์

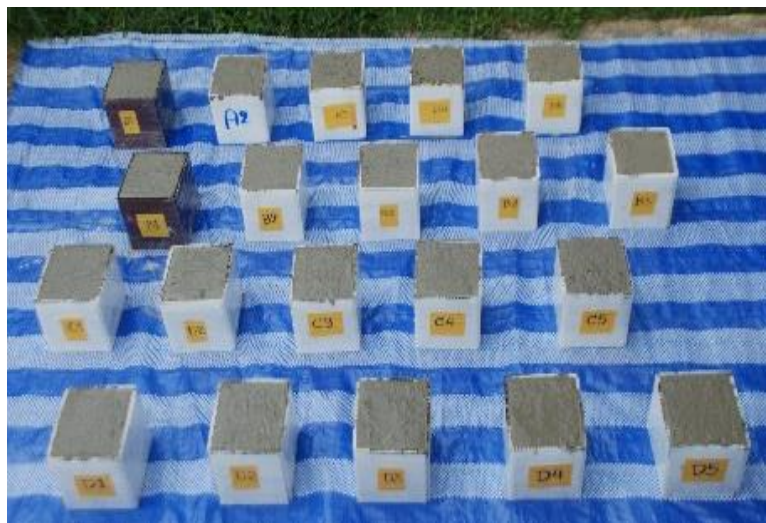


รูปที่ 116 แสดงการนำส่วนผสมที่ผสมเสร็จแล้วใส่ในแม่แบบคอนกรีตทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม.



รูปที่ 117 แสดงการกระทุ้งให้แน่นและฉาบผิวก้อนคอนกรีตให้เรียบ

ขั้นตอนที่ 6 การเซ็ดตัวของคอนกรีตทดสอบ โดยทิ้งไว้ให้เซ็ดตัว 24 ชั่วโมง



รูปที่ 118 แสดงลักษณะการนำก้อนคอนกรีตทดสอบพักไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้เซ็ดตัว

ขั้นตอนที่ 7 ทำการถอดแบบก้อนคอนกรีตทดสอบออกจากแม่พิมพ์ พร้อมเขียนเลขรหัสของสูตรก้อนคอนกรีตทดสอบ ก่อนนำไปแช่น้ำเพื่อบ่มคอนกรีต



รูปที่ 119 แสดงลักษณะของก้อนคอนกรีตทดสอบหลังถอดออกจากแม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 8 การบ่มก้อนคอนกรีตทดสอบ โดยการแช่น้ำ เป็นเวลา 3 วัน



รูปที่ 120 แสดงการบ่มก้อนคอนกรีตทดสอบทั้ง 20 สูตร โดยการแช่น้ำ

ขั้นตอนที่ 9 นำคอนกรีตทดสอบขึ้นจากน้ำเมื่อครบกำหนด 3 วัน แล้วทำการผึ่งลมเป็นเวลา 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 121 แสดงลักษณะการผึ่งลมก้อนคอนกรีตทดสอบที่ผ่านการบ่มน้ำ 3 วัน

ขั้นตอนที่ 10 การชั่งน้ำหนักก้อนคอนกรีตทดสอบที่ผ่านการผึ่งลมเป็นเวลา 28 วัน เพื่อการเปรียบเทียบน้ำหนักหลังการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 122 แสดงการนำคอนกรีตทดสอบชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบการดูดซึมน้ำ

ขั้นตอนที่ 11 นำคอนกรีตทดสอบที่ผ่านการผึ่งลมเป็นเวลา 28 วัน แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาทดสอบการดูดซึมน้ำโดยการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบก่อนและหลัง



รูปที่ 123 แสดงลักษณะการเตรียมคอนกรีตก่อนการทดสอบการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 124 แสดงการนำคอนกรีตทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 12 การนำก้อนคอนกรีตทดสอบที่ผ่านการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง เพื่อหาผลการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด จำนวน 10 สูตร เพื่อนำ 10 สูตรที่ได้ไปขึ้นรูปก้อนคอนกรีตทดสอบการต้านทานแรงอัดต่อไป

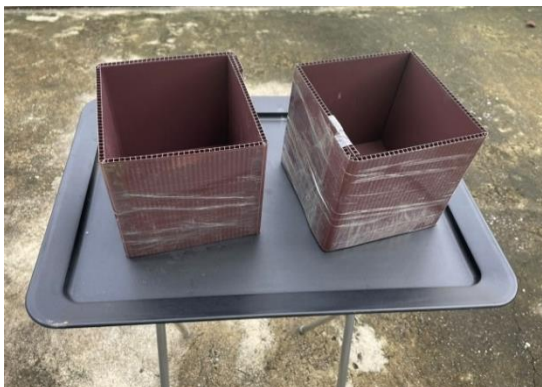
ขั้นตอนที่ 13 นำสูตรที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดนำไปขึ้นรูปก้อนคอนกรีตทดสอบขนาด 10x10x10 ซม. จำนวน 10 สูตรๆละ 5 ก้อน รวม 50 ก้อน



รูปที่ 125 แสดงส่วนผสมต่างๆ ก่อนผสมให้เข้ากันสำหรับขึ้นรูปก้อนคอนกรีตทดสอบ



รูปที่ 126 แสดงการคลุกเคล้าส่วนผสมคอนกรีตให้เข้ากัน



รูปที่ 127 แสดงเตรียมแม่แบบคอนกรีตทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม.



รูปที่ 128 แสดงการนำคอนกรีตที่ผสมแล้วใส่ในแม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 14 ทำการถอดแบบก้อนคอนกรีตทดสอบจากแม่พิมพ์ เพื่อนำไปบ่มแช่น้ำ 3 วัน



รูปที่ 129 ภาพที่ 3.84 แสดงการเตรียมคอนกรีตใส่ภาชนะกะละมัง



รูปที่ 130 แสดงการนำคอนกรีตทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 3 วัน

ขั้นตอนที่ 15 นำก้อนกริตทดสอบขึ้นจากน้ำทำการผึ่งลมเป็นเวลา 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัด



รูปที่ 131 แสดงการผึ่งคอนกรีตทดสอบ ก่อนนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัด



รูปที่ 132 แสดงลักษณะก้อนคอนกรีตที่จะนำไปทดสอบการต้านทานแรงอัด

ขั้นตอนที่ 16 นำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดให้ได้ความแข็งแรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ในเรื่องของความต้านทานแรงอัดที่กำหนดเอาไว้ว่าค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าความต้านทานแรงอัดแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 2.0 เมกะพาสคัล เพื่อให้ได้สูตรที่มีความแข็งแรงในการนำไปขึ้นรูปทรงคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

โดยนำก้อนคอนกรีตทดสอบไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี



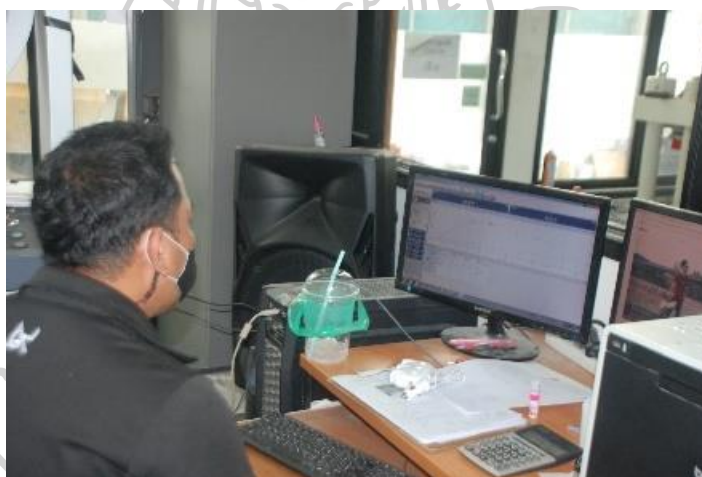
รูปที่ 133 แสดงการเตรียมก้อนคอนกรีตเพื่อทดสอบการต้านทานแรงอัด



รูปที่ 134 แสดงการนำก้อนทดสอบเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก Compressive Strength



รูปที่ 135 แสดงการกดก้อนทดสอบด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก Compressive Strength
 จนกราฟแสดงผลความต้านทานเริ่มลดลง



รูปที่ 136 แสดงการคำนวณผลการทดสอบด้วยโปรแกรมของเครื่องอัดไฮดรอลิก
 Compressive Strength

หลังจากนั้นจะได้ค่าความต้านแรงอัดของแต่ละสูตรที่กำหนดเอาไว้ว่าค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าความต้านทานแรงอัดแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 2.0 เมกะพาสคัล ทำการเปรียบเทียบสูตรเพื่อคัดเลือกสูตรที่มีความแข็งแรงและดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเพื่อนำไปขึ้นรูปทรงคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม. และนำไปทดสอบตามกระบวนการวิจัยขั้นต่อไป

4. ช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

ผลิตคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. โดยใช้เครื่องจักรผลิตบล็อกกลางและนำคอนกรีตบล็อกที่ผลิตไปทำการทดสอบหาค่าต่างๆตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ต่อไป โดยมีขั้นตอนผลิตบล็อกจริงดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ชั่งตวงส่วนผสมตามสูตรที่มีความแข็งแรงและดูดซึมน้ำน้อยที่สุดตามการทดลองข้างต้น



รูปที่ 137 การเตรียมส่วนผสมเพื่อขึ้นก้อนคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

ขั้นตอนที่ 2 นำส่วนผสมที่ชั่งตวงทั้งหมดเข้าเครื่องผสมปูนและทำการเดินเครื่องในการคลุกส่วนผสมให้เข้ากัน



รูปที่ 138 การเตรียมส่วนผสมเพื่อขึ้นก้อนคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.



รูปที่ 139 แสดงการเดินเครื่องผสมเพื่อคลุกเคล้าส่วนผสมที่เตรียมไว้ให้เข้ากัน

ขั้นตอนที่ 3 ทำการลำเลียงส่วนผสมที่คลุกเสร็จแล้วขึ้นสายพานเพื่อทำการกดแม่พิมพ์บล็อกคอนกรีต



รูปที่ 140 แสดงการลำเลียงส่วนผสมขึ้นสายพานเพื่อเตรียมเข้าเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก

ขั้นตอนที่ 4 ทำการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก ขนาด 70 x 190 x 390 มม. โดยวิธีการกดแม่พิมพ์คอนกรีตบล็อก



รูปที่ 141 แสดงการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกจากแม่พิมพ์เหล็กขนาด 70 x 190 x 390 มม.

ขั้นตอนที่ 5 ลำเลียงคอนกรีตบล็อกที่ขึ้นรูปแล้วไปจัดเรียงผึ่งลม 1 วัน



รูปที่ 142 แสดงการนำคอนกรีตบล็อกออกจากแม่พิมพ์นำไปผึ่งลม

ขั้นตอนที่ 6 ทำการบ่มขึ้นคอนกรีตบล็อกเป็นเวลา 3 วัน และผึ่งลมต่อจนครบ 28 วัน



รูปที่ 143 แสดงการนำคอนกรีตบล็อกไปบ่มขึ้น 3 วันและหุ้มคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 144 แสดงหลังจากการบ่มขึ้นน้ำไปผึ่งลม 28 วัน

ขั้นตอนที่ 7 ได้ก้อนคอนกรีตบล็อกจริงขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. เพื่อนำไปทดสอบในงานวิจัยขั้นต่อไป



รูปที่ 145 แสดงลักษณะก้อนคอนกรีตบล็อกจริงเพื่อนำไปทดสอบในงานวิจัยขั้นต่อไป

5. ช่วงทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

นำก้อนคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม. ทำการทดสอบหาค่าต้านทานแรงอัดและปริมาณความชื้นโดยการดูดกลืนน้ำ และหัดตัวทางยาวตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป และทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อนหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ตามมาตรฐาน ASTM C 518 โดยการผลิตแผ่นคอนกรีตตามสูตรให้มีขนาด 30 x 30 x 1.5 ซม. เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมาตรฐานของกระทรวงพลังงานและ CISB Guide A:2015 โดยการทดสอบหาค่าต้านทานแรงอัด มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำคอนกรีตบล็อกวัดขนาดความยาวและความกว้างเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก



รูปที่ 146 แสดงการวัดขนาดความกว้างและความยาวของก้อนคอนกรีตบล็อก

ขั้นตอนที่ 2 นำคอนกรีตบล็อกวัดขนาดความหนาและความหนาของเปลือกเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก



รูปที่ 147 แสดงการวัดขนาดหนาของก้อนคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 148 แสดงการวัดขนาดหนาของเปลือกก้อนคอนกรีตบล็อก

ขั้นตอนที่ 3 ทำการชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกเพื่อหาค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก



รูปที่ 149 แสดงการชั่งน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อก

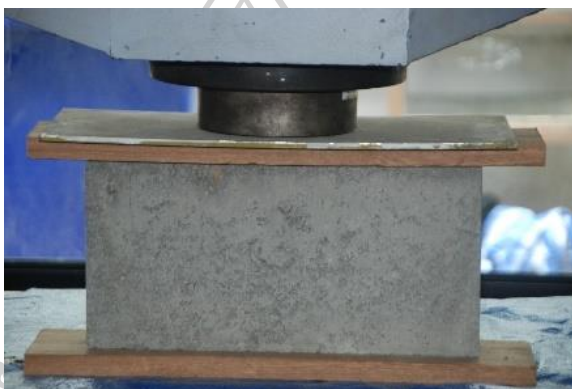
ขั้นตอนที่ 4 นำคอนกรีตบล็อกเข้าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด



รูปที่ 150 แสดงการนำคอนกรีตบล็อกเข้าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด



รูปที่ 151 แสดงการเริ่มต้นเครื่องกดก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 152 แสดงการกดก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 153 แสดงลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่แตกร้าวหลังจากกดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก
Compressive Strength



รูปที่ 154 แสดงการคำนวณผลทดสอบการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบปริมาณความชื้นโดยการตุกกินน้ำมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) นำคอนกรีตบล็อกมาเข้าเครื่องอบให้แห้ง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 155 แสดงการนำคอนกรีตบล็อกเข้าตู้อบความร้อน 24 ชั่วโมง



รูปที่ 156 แสดงการตั้งเวลาอบความร้อนคอนกรีตบล็อก 24 ชั่วโมง

2) นำคอนกรีตบล็อกมาพักไว้ให้เย็นตัวลงและชั่งน้ำหนักบันทึกข้อมูล



รูปที่ 157 แสดงการนำคอนกรีตบล็อกออกจากตู้อบนำมาพักไว้ให้เย็น



รูปที่ 158 แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกก่อนนำไปแช่น้ำเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

3) นำคอนกรีตบล็อกไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 159 แสดงลักษณะก้อนคอนกรีตบล็อกหลังแช่น้ำครบ 24 ชั่วโมง

- 4) หลังจาก 24 ชั่วโมงนำคอนกรีตขึ้นจากน้ำมาพักไว้ทำการชั่งน้ำและนำมาชั่งน้ำหนักบันทึกข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ



รูปที่ 160 แสดงการนำคอนกรีตขึ้นจากน้ำนำมาพักไว้



รูปที่ 161 แสดงการชั่งน้ำคอนกรีตบล็อกก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 162 แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกหลังจากแช่น้ำเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนแช่น้ำ

ขั้นตอนที่ 6 การทดสอบหัตถ์ทางยาวมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) เตรียมส่วนผสมตามสูตร



รูปที่ 163 แสดงการชั่งตวงส่วนผสมตามสูตรที่ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกจริงเพื่อส่งทดสอบ

- 2) นำส่วนผสมส่งไปขึ้นรูปและทดสอบการหัตถ์ทางยาวที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์

ขั้นตอนที่ 7 การทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อนหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ตามมาตรฐาน ASTM C 518 เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมาตรฐานของกระทรวงพลังงานและ CISB Guide A:2015 มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมแม่พิมพ์ขนาด 30 x 30 x 1.5 ซม.



รูปที่ 164 แสดงการเตรียมแม่พิมพ์ก่อนทดสอบขนาด 30 x 30 x 1.5 ซม.

2) ชั่งตวงส่วนผสมตามสูตรที่ผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกจริงและคลุกเคล้าให้เข้ากัน



รูปที่ 165 แสดงการชั่งตวงส่วนผสมตามสูตรที่ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกจริง



รูปที่ 166 แสดงการคลุกเคล้าส่วนผสมตามสูตรให้เข้ากัน

3) นำส่วนผสมที่คลุกเคล้าแล้วไปเข้าแม่พิมพ์ทำการอัดกระทุ้งให้แน่น



รูปที่ 167 แสดงการเทส่วนผสมเข้าแม่พิมพ์และกระทุ้งให้แน่น

- 4) หลังจาก 24 ชั่วโมง ทำการบ่มขึ้น 7 วัน ถอดแบบและผึ่งลมเป็นเวลา 28 วันก่อนนำส่งทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์



รูปที่ 168 แสดงลักษณะการบ่มขึ้น 7 วันและนำไปผึ่งลม 28 วัน



รูปที่ 169 แสดงลักษณะก้อนคอนกรีตทดสอบเพื่อส่งทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อน (k value)

6. ช่วงทดสอบค่าดูดซึมความชื้น ความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสถานะต่างๆ

6.1 ทดสอบค่าดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทดสอบกับคอนกรีตบล็อกที่จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ

หลังจากได้คอนกรีตบล็อกกลางขนาด 70 x 190 x 390 มม. ที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุดแล้ว นำไปทดสอบค่าดูดซึมความชื้นเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ วัดค่าความชื้นก่อนแช่และหลังแช่น้ำโดยวิธีแบ่งเส้นชั้นคอนกรีตให้มีความห่างชั้นละ 1 ซม.แล้วนำไปแช่น้ำโดยส่วนที่แช่น้ำ 2 ซม.ทำการวัดค่าความชื้นโดยใช้ Moisture Meter

ประเภท Radio Frequency Test วัดความชื้นแต่ละชั้นทุกๆ 1 ชั่วโมงที่ผิวแต่ละช่วงเวลาตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ผิวด้านบนสุดและคุณสมบัติการดูดซึมความชื้นในแต่ละชั้นของคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิด โดยการทดสอบค่าดูดซึมความชื้นมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำก้อนคอนกรีตที่จะทดสอบ 3 ตัวอย่างจากท้องตลาด 2 ยี่ห้อและจากงานวิจัย จำนวนตัวอย่างละ 5 ก้อน ทำการขีดเส้นแบ่งชั้นคอนกรีตให้มีความห่างชั้นละ 1 ซม.



รูปที่ 170 แสดงการแบ่งเส้นชั้นคอนกรีตมีความห่างชั้นละ 1 ซม.



รูปที่ 171 แสดงการแบ่งชั้นคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด

ขั้นตอนที่ 2 นำคอนกรีตที่ได้ขีดเส้นแบ่งชั้นแล้วมาแช่น้ำ โดยส่วนที่แช่น้ำขนาด 2 ซม.



รูปที่ 172 แสดงภาชนะในการทดสอบการดูดซึมความชื้น



รูปที่ 173 แสดงการนำคอนกรีตบล็อกตั้งขึ้นแช่น้ำลึก 2 ซม.

ขั้นตอนที่ 3 ทำการวัดค่าความชื้นโดยใช้ Moisture Meter ประเภท Radio Frequency Test วัดความชื้นแต่ละชั้นทุกๆ 1 ชั่วโมงที่ผิวแต่ละช่วงเวลาตลอด 24 ชั่วโมง



รูปที่ 174 แสดงเครื่องทดสอบความชื้น Moisture Meter รุ่น MM05-2 ยี่ห้อ Richmoto

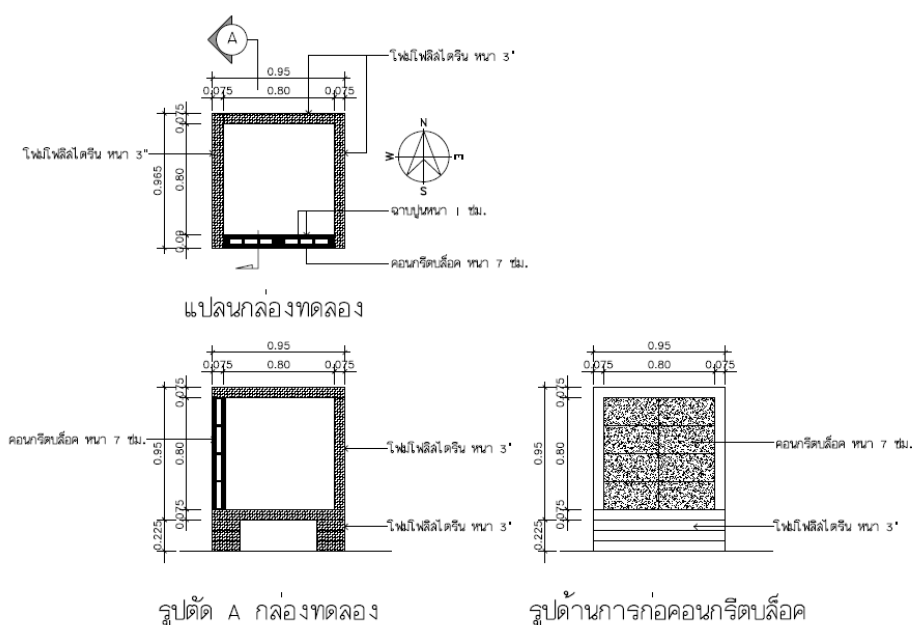


รูปที่ 175 แสดงลักษณะการวัดค่าความชื้นทุก ๆ 1 ชั่วโมงที่ผิวคอนกรีตบล็อกตลอด 24 ชั่วโมง

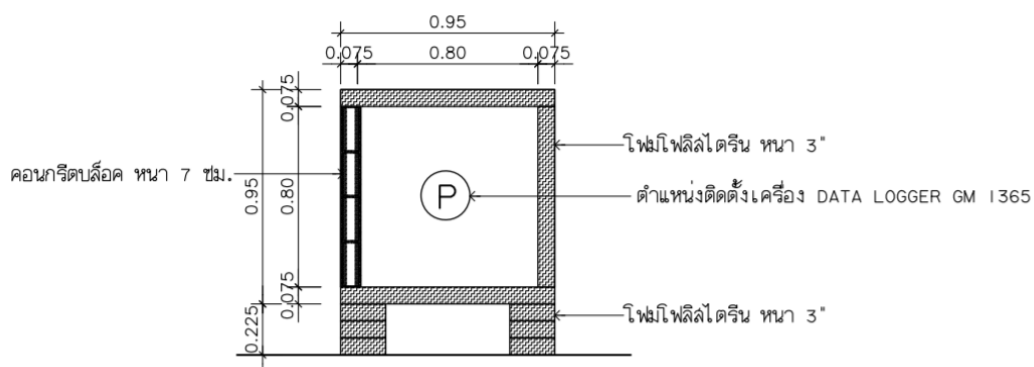
ขั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบค่าความชื้นที่ผิวด้านบนสุดและคุณสมบัติการดูดซึมความชื้นในแต่ละชั้นของคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิด

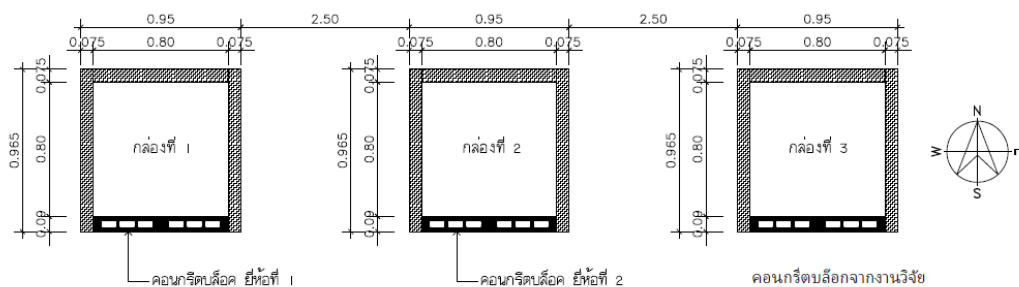
6.2 ทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสถานะต่างๆ

ทำการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสถานะต่างๆ โดยทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองไว้เป็น 2 กรณีศึกษาคือในสถานะปกติและสถานะที่มีความชื้นเกิดขึ้น เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดความร้อนและคุณสมบัติในการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัยและคอนกรีตบล็อกที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการ ดังนี้



รูปที่ 176 แสดงแบบกล่องทดสอบและวัสดุในการทำกล่องทดสอบ





แปลนวางตำแหน่งหล่องทดลอง

รูปที่ 178 แสดงตำแหน่งการวางหล่องทดสอบ

กรณีที่ 1 (ในสภาวะปกติ) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำหล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองจำนวน 3 หล่อง ขนาด $0.80 \times 0.8 \times 0.8$ ม. จากโพลีโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต หนา 3 นิ้ว ทั้ง 5 ด้าน ยึดโพลีแต่ละด้านด้วยเหล็กกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม.



รูปที่ 179 แสดงการก่อคอนกรีตบล็อกของหล่องทดลอง



รูปที่ 180 แสดงการฉาบคอนกรีตบล็อกหน้ากล่องทดสอบ

ขั้นตอนที่ 2 ผนังอีกด้านขนาด 0.80 x 0.8 ม. ก่อคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม.จำนวน 8 ก้อน โดยวางซ้อนกัน 4 ชั้นจำนวน 2 แถว ฉาบเรียบหนา 1.5 ซม.



รูปที่ 181 แสดงลักษณะของกล่องทดสอบที่สร้างแล้วเสร็จ 1



รูปที่ 182 แสดงด้านหลังของกล่องทดสอบที่สร้างแล้วเสร็จ 2

กรณีที่ 2 (ในสถานะที่ความชื้นเกิดขึ้น) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการติดตั้งระบบฉีดน้ำแบบ Spray ที่มีระบบตั้งเวลาเปิด-ปิด ห่างจากผนังคอนกรีตบล็อก 1 ฟุต จำนวน 5 หัวฉีด บริเวณด้านบนซ้าย-ขวา ด้านล่างซ้าย-ขวา และตรงกลาง โดยหัวฉีดจะทำการปล่อยน้ำก่อนเก็บข้อมูล 5 นาที



รูปที่ 183 แสดงการติดตั้งระบบฉีดน้ำแบบ Spray จำนวน 5 จุด



รูปที่ 184 แสดงการติดตั้งระบบตั้งเวลาเปิด-ปิดน้ำ



รูปที่ 185 แสดงกล่องทดสอบที่แล้วเสร็จ



รูปที่ 186 แสดงการทดสอบระบบฉีดน้ำหน้ากล่องทดสอบ

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากประกอบกล่องทดสอบและติดตั้งระบบน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365 ในตำแหน่งตรงกลางกล่อง



รูปที่ 187 แสดงเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365



รูปที่ 188 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 189 แสดงการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นแล้วเสร็จ

ขั้นตอนที่ 3 ติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365 ไว้บริเวณภายนอกกล่องทดสอบอีกจำนวน 1 ชุด เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกกล่องทดสอบ



รูปที่ 190 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายนอกกล่องทดสอบ

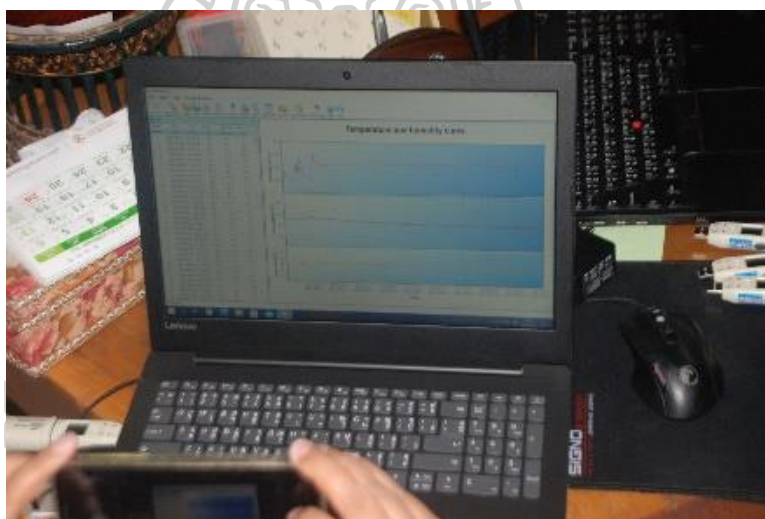


รูปที่ 191 แสดงการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายนอกกล่องทดสอบแล้ว
รูปที่ 192เสร็จ

ขั้นตอนที่ 4 ทำการเก็บบันทึกข้อมูลในช่วงเวลาที่กำหนดทุก 5 วินาที จากนั้นใช้โปรแกรมจาก (Data logger) และ Microsoft Excel ในการวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามกรณีศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่กำหนดตามห้องตลาด 2 ยี่ห้อ



รูปที่ 193 แสดงการเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 194 แสดงการใช้โปรแกรมจาก (Data logger) และ Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูล

7. ช่วงสรุปผลการทดลองในด้านต่างๆ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อสรุปผลงานวิจัยโดยอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นกับงานวิจัยดังนี้

7.1 วิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่ทำจากวัสดุธรรมชาติเพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร

7.2 ความสัมพันธ์ของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ส่งผลต่อ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อก

7.3 ความสัมพันธ์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล การนำความร้อน การดูดซับความชื้น ของวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

7.4 ความสัมพันธ์ของการคัดเลือก การเตรียมวัสดุธรรมชาติ และการขึ้นรูปที่ดีส่งผลทำให้ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำ

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะ

- 1) วัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมัน (Palm Wax)
- 2) วัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง (Soy Wax)
- 3) ผงตะไบเหล็ก (Iron Powder)
- 4) กระดาษเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม.
- 5) เครื่องชั่งดิจิทัล
- 6) เต้าแก๊ส
- 7) Pan บรรจุวัสดุเปลี่ยนสถานะ
- 8) เครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter, Mettler Toledo DSC 1 Module)
- 9) โปรแกรม DSC

ช่วงเตรียมวัสดุ

- 1) แกลบ
- 2) เปลือกกะลาเผา
- 3) วัสดุเปลี่ยนสถานะที่ได้จากสูตรการทดสอบจุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง DSC
- 4) เครื่องชั่งดิจิทัล SF-400
- 5) เครื่องชั่งสปริง
- 6) เครื่องผสม (Mixing) ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้
- 7) เต้าแก๊ส
- 8) ไม้พาย
- 9) ทัพพี
- 10) ถังโปร่งขนาด 30 X 45 ซม.
- 11) กะละมัง
- 12) น้ำยาล้างจาน
- 13) แผ่นรองตาก

ช่วงทดลองหาส่วนผสม

- 1) วัสดุธรรมชาติ (แกลบหรือเปลือกกะลาเผา) ที่ผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุและผ่านคุณสมบัติการทดสอบดูดซึมน้ำ
- 2) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 3) ทราฮาบาบ
- 4) หินฝุ่น
- 5) น้ำสะอาด
- 6) กะละมัง
- 7) เกรียง
- 8) เครื่องชั่งสปริง ยี่ห้อสิงโตคู่ 20 Kg.
- 9) เครื่องชั่งดิจิทัล SF-400
- 10) แม่แบบคอนกรีตพีวเจอร์บอร์ดขนาด 10 x 10 x 10 ซม. จำนวน 150 แม่แบบ
- 11) เครื่องทดสอบต้านทานแรงอัดคอนกรีต รุ่น UH – X 1,000 KN ยี่ห้อ SHIMADZU ของ Bara Scientific.Co.Ltd

ช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

- 1) วัสดุธรรมชาติ (แกลบหรือเปลือกกะลาเผา) ที่ผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุและผ่านคุณสมบัติการทดสอบดูดซึมน้ำ
- 2) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 3) ทราฮาบาบ
- 4) หินฝุ่น
- 5) น้ำสะอาด
- 6) ถังดำ
- 7) เครื่องผสม
- 8) เครื่องอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกชนิดมีสายพานลำเลียง

ช่วงทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

- 1) เครื่องชั่งดิจิทัลแบบตั้งพื้น รุ่น Defender 3000 ยี่ห้อ OHAUS
- 2) เครื่องเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Vernier Calipers) ยี่ห้อ Mitutoyo
- 3) เครื่องทดสอบต้านทานแรงอัดคอนกรีต รุ่น UH – X 1,000 KN ยี่ห้อ SHIMADZU ของ Bara Scientific.Co.Ltd
- 4) แม่แบบคอนกรีตฟิวเจอร์บอร์ดขนาด 30 x 30 x 1.5 ซม. เพื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
- 5) เครื่องอบไฟฟ้าในการทดสอบปริมาณความชื้นโดยการดูดกลืนน้ำ รุ่น UF750 ยี่ห้อ Memmert

ช่วงทดสอบค่าดูดซึมความชื้น ความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบความสามารถในการดูดซึมความชื้นในสภาวะต่างๆ ขั้นตอนทดสอบค่าดูดซึมความชื้น

- 1) คอนกรีตบล็อก 3 ชนิด จากงานวิจัย 1 ชนิดและจากท้องตลาด 2 ชนิด
- 2) ปากกาเมจิกกันน้ำ
- 3) ไม้บรรทัด
- 4) ฉากเหล็ก
- 5) ถาดใส่น้ำ
- 6) น้ำสะอาด
- 7) เครื่องวัดความชื้น Moisture Meter ประเภท Radio Frequency Test รุ่น MM05-2 ยี่ห้อ Richmoto

ขั้นตอนทดสอบความสามารถในการลดความร้อน

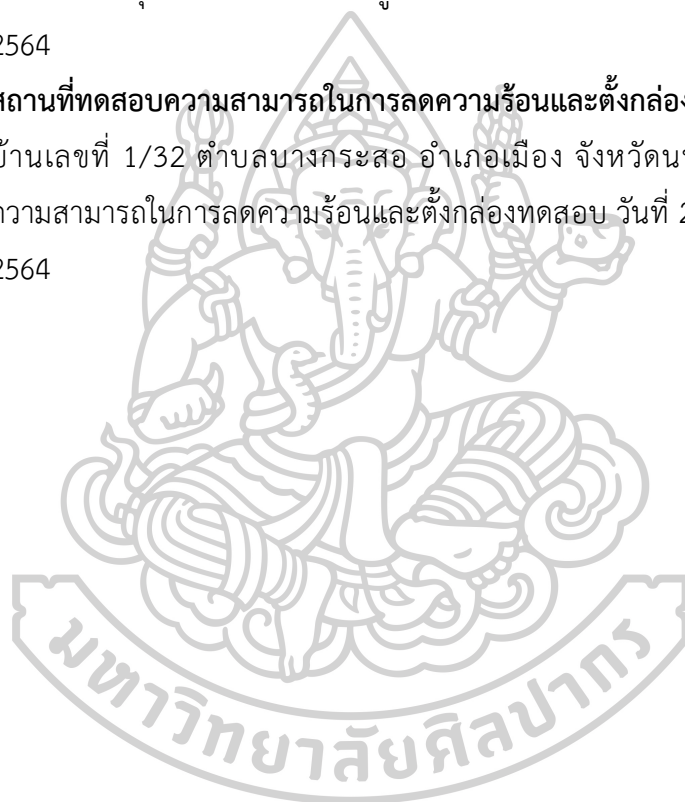
- 1) โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต หนา 3 นิ้ว
- 2) เหล็กกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ยาว 15 ซม.
- 3) คอนกรีตบล็อก 3 ชนิด จากงานวิจัย 1 ชนิดและจากท้องตลาด 2 ชนิด
- 4) ปูนฉาบ
- 5) เกรียง
- 6) โคร่งไม้ไผ่
- 7) ท่อ PE เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว
- 8) หัวพ่นน้ำแบบฝอย 15 หัว

- 9) ข้อต่อท่อ PE
- 10) เทปพันท่อประปา
- 11) ตัวตั้งเวลาเปิด - ปิดน้ำ ยี่ห้อ Gion
- 12) เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (Data logger) รุ่น GM 1365 ยี่ห้อ BENETECH

สถานที่ในการทำวิจัย

1. **สถานที่นำวัสดุธรรมชาติ (แกลบและเปลือกกะลาเผา) มาใช้ในการวิจัย**
อำเภอป่า จังหวัดน่าน ทำการขนส่งวัสดุธรรมชาติเดือนมิถุนายน 2563
2. **สถานที่เตรียมวัสดุดิบและทดลองส่วนผสม**
บ้านเลขที่ 90 / 1327 หมู่บ้านเดอะวิลล่า ซอยท่าอิฐ ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ทำการเตรียมวัสดุดิบและทดลองส่วนผสม เดือนมิถุนายน 2563
3. **สถานที่ทดสอบจุดหลอมเหลววัสดุเปลี่ยนสถานะ**
ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร ทำการทดสอบจุดหลอมเหลววัสดุเปลี่ยนสถานะ วันที่ 18 มิถุนายน 2563
4. **สถานที่ทดสอบความต้านทานแรงอัดคอนกรีต**
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี ทำการทดสอบความต้านทานแรงอัดคอนกรีต วันที่ 20 มีนาคม 2564
5. **สถานที่ผลิตขึ้นรูปทรงจริงคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 ซม.**
อุดมคอนกรีตบล็อก ตำบลบางกระสอบ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี ทำการผลิตขึ้นรูปทรงจริงคอนกรีตบล็อก วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2564
6. **สถานที่ทดสอบความต้านทานแรงอัดคอนกรีตและปริมาณความชื้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)**
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี ทำการทดสอบความต้านทานแรงอัดคอนกรีตและปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน วันที่ 9 - 15 มิถุนายน 2564

7. สถานที่ทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อนหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ตามมาตรฐาน ASTM C 518 และค่าการหดแห้งของคอนกรีต
กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ทำการทดสอบคุณสมบัติในการนำความร้อนหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าการหดแห้งของคอนกรีต วันที่ 22 กรกฎาคม 2564
8. สถานที่ทดสอบค่าดูดซึมน้ำความชื้นคอนกรีตบล็อก
บ้านเลขที่ 90 / 1327 หมู่บ้านเดอะวิลล่า ซอยท่าอิฐ ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ทำการทดสอบค่าดูดซึมน้ำความชื้นคอนกรีตบล็อก วันที่ 10 กรกฎาคม 2564
9. สถานที่ทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและตั้งกล่องทดสอบ
บ้านเลขที่ 1/32 ตำบลบางกระสอบ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี ทำการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและตั้งกล่องทดสอบ วันที่ 21 – 30 เดือนมิถุนายน 2564



บทที่ 4

ผลการทดสอบ วิเคราะห์ และอภิปราย

งานวิจัยการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร มีขั้นตอนการดำเนินงานอยู่ 7 ขั้นตอน

- 1) ช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 2) ช่วงเตรียมวัสดุดิบ
- 3) ช่วงทดลองหาส่วนผสม
- 4) ช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.
- 5) ช่วงทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
- 6) ช่วงทดสอบค่าดูดซึมความชื้น ความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบความสามารถในการดูดซึมความชื้นในสภาวะต่าง ๆ
- 7) ช่วงสรุปผลการทดลองในด้านต่าง ๆ

ซึ่งในงานวิจัยนี้สรุปผลขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

ช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. การศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารที่ส่งผลทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุประกอบอาคารและผลกระทบที่เกิดขึ้น

เป็นการศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารในรูปแบบต่างๆที่ทำให้ความชื้นแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุเกิดการสะสมความชื้นในวัสดุที่ส่งผลต่อการนำความร้อนเข้ามาในอาคาร เพื่อหาแนวทางป้องกันผลกระทบจากความชื้นที่จะเกิดขึ้น ซึ่งวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารและส่งผลต่อการสะสมความชื้นในวัสดุประกอบอาคารมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ 1) Capillary Suction เช่น การดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนเล็กๆ ที่อยู่ในวัสดุ 2) Vapor Diffusion การแพร่ของความชื้นที่ผ่านวัสดุกรอบอาคาร โดยการแพร่ของไอน้ำจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure) นอกจากนี้การแพร่ยังมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ผลการศึกษา

จากการศึกษาเรื่องความชื้นในวัสดุที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่าความชื้นในวัสดุที่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นวัสดุที่มีรูพรุน เช่น อิฐ เมื่อถูกฝนวัสดุจะดูดซับน้ำไว้ภายใน หลังจากนั้นถ้าผนังส่วนนี้ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ น้ำที่ดูดซับไว้ก็จะมีอุณหภูมิ สูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำจากวัสดุผนังส่วนนี้ไปยังบริเวณที่ติดกัน ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ต่ำกว่า ความชื้นทำให้ภายในอาคารมีค่าการนำความร้อนที่สูงผ่านเข้ามาในอาคาร เกิดสภาวะไม่สบาย ต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากเพื่อลดความชื้นในระบบปรับอากาศ (Deepcleanexpert) ความเสียหายที่เกิดจากความชื้นในผนัง นั้นสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ (1) มีผลโดยตรงกับโครงสร้างอาคาร และ (2) มีผลต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่อาศัยในอาคาร ในงานสถาปัตยกรรมผนังอาคารเป็นส่วนที่ป้องกันสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิ ความชื้น สภาพอากาศ การเลือกใช้วัสดุในการ ก่อสร้างผนังให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างสภาวะน่าสบายในที่พักอาศัยและควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร

2. การศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ

เป็นการศึกษาวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกจากการทบทวนวรรณกรรม วิเคราะห์ข้อดีข้อด้อยเพื่อนำมาปรับปรุงประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมและง่ายต่อกระบวนการผลิต มีต้นทุนที่ต่ำสามารถลดความชื้นที่จะเข้าไปสะสมในเนื้อวัสดุได้ จากการศึกษาว่ามีวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกหลายวิธีซึ่งแยกเป็นวิธีการต่าง ๆ ได้ดังนี้

- วิธีที่ 1** การใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงดึงผิวสูงป้องกันความชื้นเข้าไปในเนื้อผิวคอนกรีตบล็อก
- วิธีที่ 2** การเพิ่มสารดูดซับความชื้นเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อดูดซับความชื้นที่เข้ามา
- วิธีที่ 3** การเพิ่มความหนาให้กับวัสดุโดยเพิ่มส่วนผสมคอนกรีต (Aggregate) เข้าไปในวัสดุคอนกรีตบล็อก
- วิธีที่ 4** การใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา

ผลการศึกษา

จากการศึกษาว่ามีวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกหลายวิธีซึ่งแยกเป็นวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

วิธีที่ 1 คือการใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงดึงผิวสูงป้องกันความชื้นเข้าไปในเนื้อผิวคอนกรีตบล็อก สามารถทำได้เพราะวัสดุที่มีแรงดึงผิว (Surface Tension) จะมีคุณสมบัติของพื้นผิวของของเหลวทำให้เกิดบางส่วนของพื้นผิวของเหลวถูกดึงดูดเข้าไปไว้ด้วยกัน แรงดึงผิวถูกทำให้เกิดขึ้นด้วย

การดึงดูดของโมเลกุลกับโมเลกุลที่เหมือนกัน เมื่อโมเลกุลบนพื้นผิวของของเหลวไม่ได้ล้อมรอบ ไปด้วยโมเลกุลที่เหมือนกันในทุกๆ ด้านแล้ว โมเลกุลจะมีแรงดึงดูดกับโมเลกุลใกล้เคียงบนพื้นผิวมากขึ้น ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์ **ของความตึงผิว** ซึ่งวัสดุประสานของคอนกรีตบล็อกคือซีเมนต์เป็นวัสดุเหลวหรือกึ่งเหลวใช้ยึดติดคอนกรีตบล็อกเข้าด้วยกันการที่จะประสานคอนกรีตบล็อกเข้าด้วยกันให้ได้ผลดีพื้นผิวจะต้องมีความขรุขระหรือมีความหยาบซึ่งจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวแข็งแรงมากขึ้น ในการที่ใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงตึงผิวสูงเคลือบผิวคอนกรีตบล็อกจะสร้างพื้นผิวที่มีความตึงของผิวสัมผัสเป็นแผ่นฟิล์มหุ้มผิวคอนกรีต เอาไว้และส่งผลต่อคุณสมบัติการยึดติดของคอนกรีตบล็อกต่อยลงทำให้ปูนซีเมนต์ไม่สามารถเข้าไปในผิวคอนกรีตบล็อกได้

วิธีที่ 2 การใช้สารดูดซับความชื้น (Desiccant) เป็นวิธีการลดความชื้นโดยใช้หลักการของความแตกต่างระหว่าง ความดันไอของไอน้ำในอากาศกับสารดูดความชื้น โดยที่ผิวของสารดูดความชื้นมีความดันไอต่ำมากเมื่อเทียบกับความดันของอากาศชื้น ไอน้ำจะถูกสารดูดซับความชื้นดูดซับไว้โดยผ่านพื้นที่ผิวของสารดูดซับที่สัมผัสกับอากาศชื้นนั้น สารดูดซับความชื้นซึ่งมีหลายประเภท และวิธีการที่หลากหลายในการควบคุมความชื้นให้อยู่ในมาตรฐาน ปัจจุบันนิยมใช้ซิลิกาไดออกไซด์ SiO₂ ซึ่งมีคุณสมบัติดูดซับความชื้น โดยโครงสร้างภายในวัสดุไม่เปลี่ยนแปลง และพบว่าประสบปัญหาในเรื่องของการกลายสภาพเป็นสารกึ่งเหลว (Swell) และแตกเป็น ชิ้นเล็กๆ เมื่อดูดซับความชื้นจนอิ่มตัว นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นจะลดลงและมีโอกาสที่จะคายความชื้น (Desorption) ออกมาเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 25 °C แต่มีงานวิจัยที่ค้นพบว่าวัสดุที่สามารถดูดซับ ความชื้นได้ดีกว่าซิลิกาไดออกไซด์ คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งเป็นคาร์บอนอสัณฐานภายในมีรูพรุนมากกว่าซิลิกาไดออกไซด์ และถ่านชนิดอื่นๆ มีความว่องไวในการดูดซับสูงเนื่องจากมีความสามารถในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับบนผิวของแข็งเรียกว่า Adsorbate ถ่านกัมมันต์ที่เลือกใช้จึงควรมีรูพรุนขนาดเล็ก (จำพวก Microporous) ซึ่งจะเป็นตัวดูดซึม/ซับ ได้ดีที่สุดใน แต่การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับความชื้นก็ประสบปัญหา เมื่อความชื้นเข้าไปในเนื้อวัสดุมากขึ้นโดยเคลื่อนตัวเข้าไปในสารดูดความชื้นถ้าอุณหภูมิสูงภายในวัสดุสูงความชื้นก็ถูกปล่อยออกมา และความชื้นยังอยู่ในเนื้อวัสดุไม่ไปไหนทำให้เกิดการสะสมความชื้นบริเวณเนื้อวัสดุ บริเวณอื่นที่ไม่ถูกแทนที่ด้วยถ่านกัมมันต์

วิธีที่ 3 การผลิตคอนกรีตบล็อกจะมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์และมวลผสมคอนกรีต ซึ่งได้แก่ หินย่อย กรวด และทราย ที่เรียกว่า วัสดุผสม (Aggregates) ซึ่งเป็นพวกแร่ธาตุเฉื่อย (Inert Materials) ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เทสท์ พบว่าในเนื้อคอนกรีตนั้น จะมีรูพรุนจากฟองอากาศทำให้เกิดปัญหาคือการดูดซึมน้ำเข้าไปในรูพรุนทำให้วัสดุมีความชื้น จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยที่ 17-19 เปอร์เซ็นต์ (NOAA National Weather Service : Heat Index) น้ำที่มีอยู่ในช่องว่างในวัสดุในช่วงความชื้นสูงจะเป็นน้ำอิสระ เมื่ออัตราความชื้นลดลง

น้ำอิสระนี้จะหายไปก่อนหลังจากนั้นจะเกิดการเคลื่อนที่และระเหยของน้ำ Bonding Water (น้ำ Adsorption Water และ Absorption Water) ความดันไอของน้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิ และ อัตราความชื้น การเพิ่มความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจะทำให้ค่าความชื้นของวัสดุลดลงโดยจะทำให้รูพรุนในวัสดุเพิ่มมากขึ้น และการแพร่ของความชื้นจากผิววัสดุชั้นนอกสุดเข้ามาในเนื้อวัสดุจะใช้เวลานานขึ้น ซึ่งจะแปรผันตรงกับมวลน้ำหนักของคอนกรีต บล็อกที่จะมากขึ้นด้วยส่งผลต่อการนำไปใช้งานในการก่อสร้าง วัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักมากจะส่งผลต่อโครงสร้างอาคารที่ต้องรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเกิดการสิ้นเปลืองงบประมาณในการก่อสร้างที่สูงขึ้นด้วย

วิธีที่ 4 การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกในรูปแบบการสะสมความร้อนแฝง (Latent Thermal Storage) โดยอุณหภูมิในขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากซึ่งแตกต่างจากการเก็บพลังงานความร้อน โดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (Sensible Thermal Storage) การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้เป็นวัสดุที่เก็บความร้อนมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกจะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุและสร้างความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำในวัสดุเพิ่มมากขึ้น จากทฤษฎีการดูดซึมความชื้น การแพร่ผ่านของไอน้ำที่ผ่านวัสดุจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า การแพร่ของไอน้ำยังมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หากนำหลักการการใช้พลังงานในรูปแบบความร้อนแฝงมาใช้ในคอนกรีตบล็อกจะทำให้ช่วยลดการแพร่ความชื้นเข้ามาในคอนกรีตบล็อกได้

จากการศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกทั้ง 4 วิธีพบว่าวิธีการที่เหมาะสมที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคือการใช้พลังงานในรูปแบบความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา โดยการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก ซึ่งอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะ Phase Change Material (PCM) จะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุมีความหนาแน่นที่สูงกว่าทำให้ความชื้นไม่สามารถแพร่ผ่านเข้ามาได้

3. การศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

เป็นการศึกษาวัสดุเส้นใยเซลลูโลสจากพืชที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม โดยสามารถสร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติให้คุ้มค่าต่อการลงทุนและการคุ้มทุนในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตบล็อก

วัสดุธรรมชาติที่นำมาผสมในคอนกรีตบล็อกมีหลายชนิดเช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด แกลบ ฯลฯ หรือวัสดุที่มีเส้นใยเซลลูโลส เช่น เส้นใยผักตบชวา เส้นใยปาล์ม จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบของงานวิจัยพบว่าวัสดุเส้นใยเซลลูโลสที่ไปทดแทนมวลรวมต่างๆจะใช้ในปริมาณ 10% - 40% ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมอยู่ที่ 40% ของปูนซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่ และคุณสมบัติทางกลพบว่าค่าน้ำหนัก ค่าความหนาแน่น ค่าความต้านทานแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนและค่าการนำความร้อนจะแปรผกผันกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มเข้าไป แต่มีค่าหนึ่งที่แปรผันตรงกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มคือค่าปริมาณความชื้นที่ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการหดตัวทางยาวเพิ่มขึ้น ส่งผลก่อให้เกิดปัญหาการดูดซึมน้ำมากของเส้นใยเซลลูโลสทำให้คอนกรีตบล็อกมีค่าความชื้นสูงขึ้น ดังนั้นในการที่จะนำวัสดุธรรมชาติที่มีเส้นใยเซลลูโลสมาผสมในคอนกรีตบล็อกต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติและวิธีการเตรียมวัสดุที่จะส่งผลให้ค่า Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำลงและข้อจำกัดด้านงบประมาณ เวลา และปริมาณในการจัดเตรียมวัสดุที่เหมาะสมก่อนนำไปผสมคอนกรีตบล็อก

ผลการศึกษา

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเหมาะสมที่จะนำมาทำวิจัยเนื่องจากมีท่อลำเลียงอาหารและน้ำ โดยมีมัดท่อลำเลียงแบบกระจายขึ้นไปทางตั้งทำให้มีช่องว่างที่เหมาะสมในการยึดเกาะกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมีระยะเวลาที่สั้นเพื่อใช้หมุนเวียนเป็นวัตถุดิบ เมื่อให้ผลผลิตเสร็จแล้วก็กลายเป็นวัชพืชเพื่อรอการทำลายการนำส่วนต่างๆ ของพืชมาใช้ประโยชน์สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุธรรมชาติจึงเหมาะสมกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ที่มีข้อด้อยในลักษณะ ภายภาพของส่วนต่างของต้นที่มีเปลือกและมีความแข็งของเนื้อไม้ และส่วนที่เป็นเส้นใยเซลลูโลสนี้น้อยกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว การจัดการ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบต้องใช้งบประมาณและกำลังคนมากกว่า มีช่วงเวลาเติบโตที่ยาวนานจึงไม่เหมาะสมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ

ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน เพื่อพัฒนาสู่ Green Smart Buildings Materials. ซึ่งจะมีเกณฑ์พิจารณาหลักที่เพิ่มเข้ามาเป็นปัจจัยในการเลือกวัตถุดิบคือวัตถุดิบที่ได้มาต้องมาจากแหล่งธรรมชาติ มีความทนทาน ต้นทุนในการขนส่ง และการจัดการต่ำ สามารถลดปริมาณของเสียที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ มีการจัดการที่ปราศจากขั้นตอนเกี่ยวกับสารเคมี มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี มีคุณสมบัติด้านพลังงาน จึงเสนอวัตถุดิบ 2 ชนิดที่มีความน่าสนใจและมีคุณสมบัติเข้ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ โดยนำมาศึกษาเพื่อใช้ในการวิจัยในการเปรียบเทียบคุณสมบัติที่เหมาะสมก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตบล็อกคือ แกลบ และเปลือกกะลากาแฟ ซึ่งต่างก็มีคุณสมบัติที่เหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติเพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

คุณสมบัติแกลบ	คุณสมบัติเปลือกกะลาเผา
1. เป็น By Products. มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี	1. เป็น By Products. มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี
2. มีค่าความชื้นอยู่ 12 % ค่าความร้อน (Mj/Kg) 13.52	2. มีค่าความชื้นอยู่ 12.5 % ค่าความร้อน (Mj/Kg) 18.2
3. มีปริมาณ 8,145,269.20 ตัน/ปี	3. มีปริมาณ 290,000 ตัน/ปี
4. มี Silica เป็นส่วนประกอบมีคุณสมบัติลดความชื้น มี Lignin เป็นตัวเคลือบผิวป้องกันความชื้นแต่จะเสื่อมสลายตามเวลา	4. กะลาจะเป็นชั้นในสุดของผลกาแพทำหน้าที่ปกป้องเมล็ดกาแพ ที่อยู่ด้านใน
5. มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน มีค่าการนำความร้อนต่ำ	5. มีเพคตินซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจล ทำให้เกิดความชื้น
6. สามารถใช้กระบวนการ Spray Coating หรือใช้ Mixing Coating ที่ได้ผลและประหยัดงบประมาณในขั้นตอนเตรียมวัสดุ	6. สามารถใช้กระบวนการ Spray Coating หรือใช้ Mixing Coating ที่ได้ผลและประหยัดงบประมาณในขั้นตอนเตรียมวัสดุ
7. สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในกระบวนการอุตสาหกรรม	7. สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในกระบวนการอุตสาหกรรม
8. องค์ประกอบของแกลบนั้นประกอบด้วย สารอนินทรีย์อยู่ประมาณ 20-25% เซลลูโลส 30-40% ลิกนิน 19-47% และน้ำตาลประมาณ 17-26% โดยในส่วนของสารอนินทรีย์นั้น องค์ประกอบ หลักก็คือซิลิกา ซึ่งมีช่วงอยู่ตั้งแต่ 85-99%	8. องค์ประกอบเปลือกกาแพมีเมือกหนาราว 0.8 มม. ประกอบด้วยน้ำ 84.2% โปรตีน 8.9 % น้ำตาล 4.1% และ สารประกอบเพคติน 0.91%



รูปที่ 195 แสดงลักษณะของแกลบ



รูปที่ 196 แสดงลักษณะของเปลือกกะลากาแฟ

4. การศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในด้าน สะสมพลังงานเพื่อการป้องกัน ความชื้นในวัสดุ

เป็นการศึกษาเพื่อหาวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีช่วงอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเปลี่ยนสถานะในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยมีวิธีการทดสอบช่วงจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติที่คัดเลือกโดยทดสอบด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter, Mettler Toledo DSC 1-Module)

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเรื่องวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จำนวนมากเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน แต่ปัจจัยหลักที่ควรมีการศึกษา คือ ชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เพื่อจะได้นำมาใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สารอินทรีย์ (Organic) สารอนินทรีย์ (Inorganic) และสารยูเทกติก (Eutectic) หรือสารหลายองค์ประกอบชนิดอื่น

ผลการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สนใจการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้เป็นวัสดุกักเก็บความร้อนโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะมาใช้ในการป้องกันความชื้นที่จะแพร่เข้ามาในวัสดุธรรมชาติจากการศึกษาพบว่าหลายปที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงการใสสารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material หรือ PCM) หลายชนิดเพื่อเป็นส่วนประกอบของวัสดุอาคาร พาราฟิน (Paraffin) มีจุดหลอมเหลวที่ 50-70 °C เป็นที่นิยมอย่างมากในการนำมาเป็นวัสดุวิจัยในด้านกักเก็บพลังงาน แต่เนื่องจากพาราฟิน (Paraffin) เป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีผลต่อสภาพแวดล้อม งานวิจัยนี้ได้สนใจวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ได้จากธรรมชาติไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน (Palm Wax) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 70-80 °C แต่เนื่องจากอุณหภูมิ จุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างสูงอาจจะไม่เปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมิอากาศในประเทศไทย

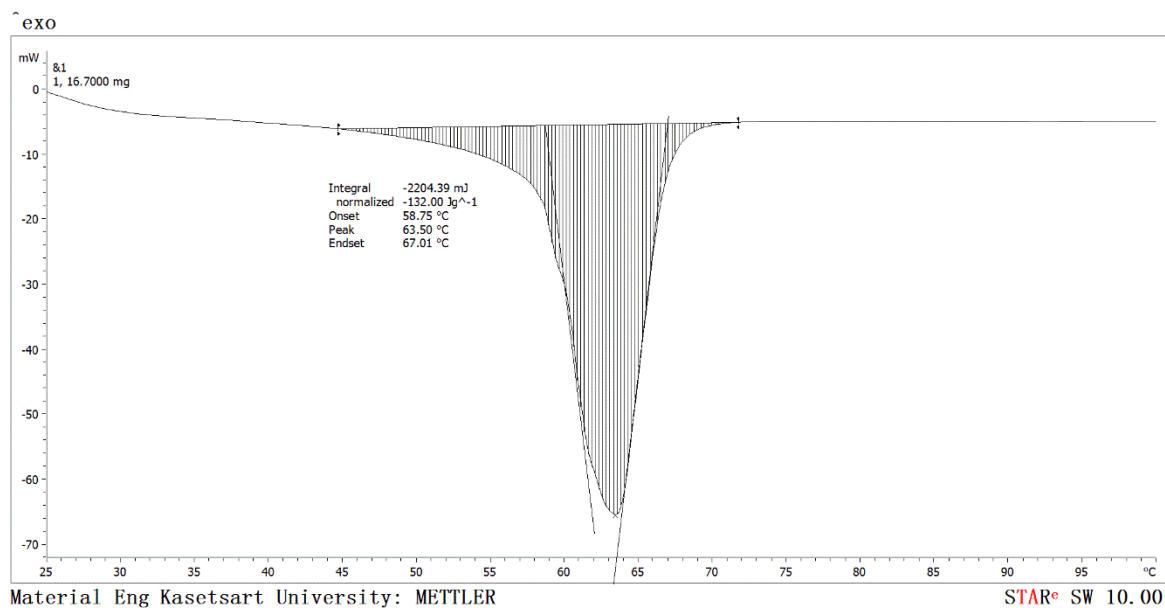
ขณะนำไปใช้งาน ซึ่งจากทฤษฎี Latent Heat Storage Materials. กล่าวว่าการที่จะสามารถลดจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ได้นั้นต้องมีการผสมสารอื่นๆ ลงไปเรียกว่าสารยูเทคติก (Eutectic) พบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ได้จากไขถั่วเหลือง (Soybean Wax) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 50-60 °C สามารถนำมาผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์มน้ำมันได้เพื่อลดจุดหลอมเหลวให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานในภูมิอากาศ ของประเทศไทยได้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการหาสูตรส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ผลิตจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ผลิตจากไขถั่วเหลือง ให้ได้ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวให้เหมาะสมกับงานใช้งานโดยการทบทวนวรรณกรรมและสร้างสูตร ส่วนผสมเพื่อทดลองให้ได้จุดหลอมเหลวลดลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 45-65 °C (ซึ่งเทียบเท่ากับพาราฟิน) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังนี้

- 1) สร้างสูตรส่วนผสมส่วนระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองและการใส่ Metallic Fitters หรือ Finned Tube ลงในส่วนผสม ให้ได้ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-70 °C

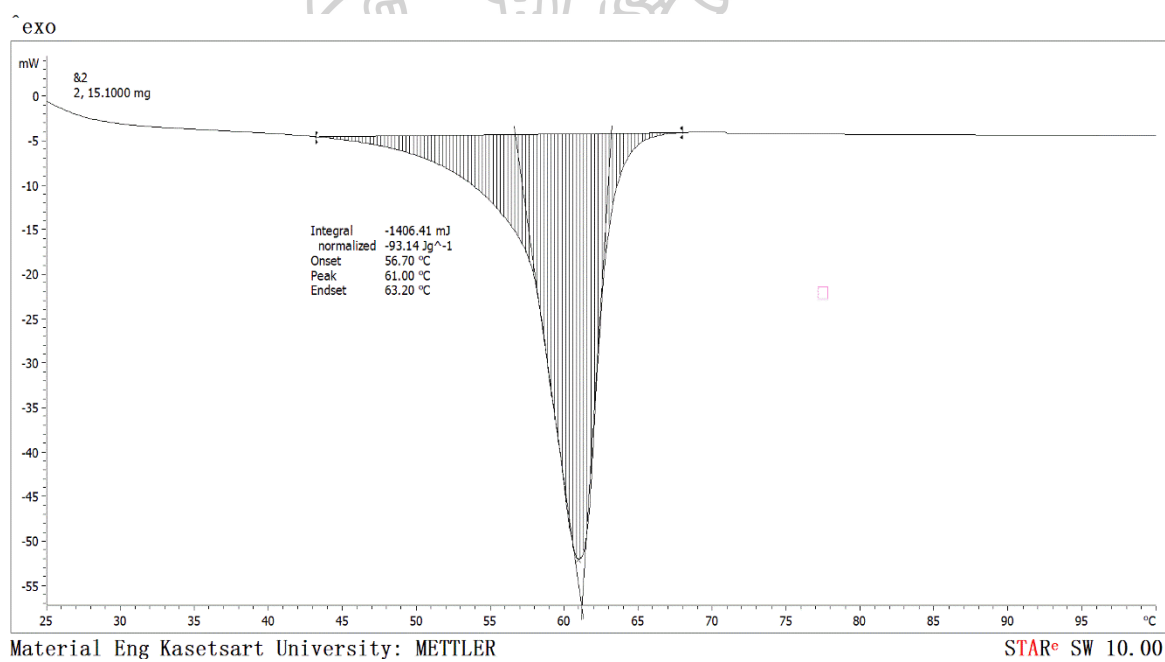
ตารางที่ 19 แสดงสูตรอัตราส่วนผสมส่วนระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง

สูตรส่วนผสม	ปริมาณรวม 100 กรัม	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมัน	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง (กรัม)	ปริมาณผงตะไบเหล็ก	ระยะเวลาในการเซตตัวที่อุณหภูมิ ห้อง
1	100 กรัม	3 ส่วน	75	1 ส่วน	25	2.8	24 ชั่วโมง
2	100 กรัม	2 ส่วน	66.66	1 ส่วน	33.33	2.8	24 ชั่วโมง
3	100 กรัม	1 ส่วน	50	1 ส่วน	50	2.8	24 ชั่วโมง

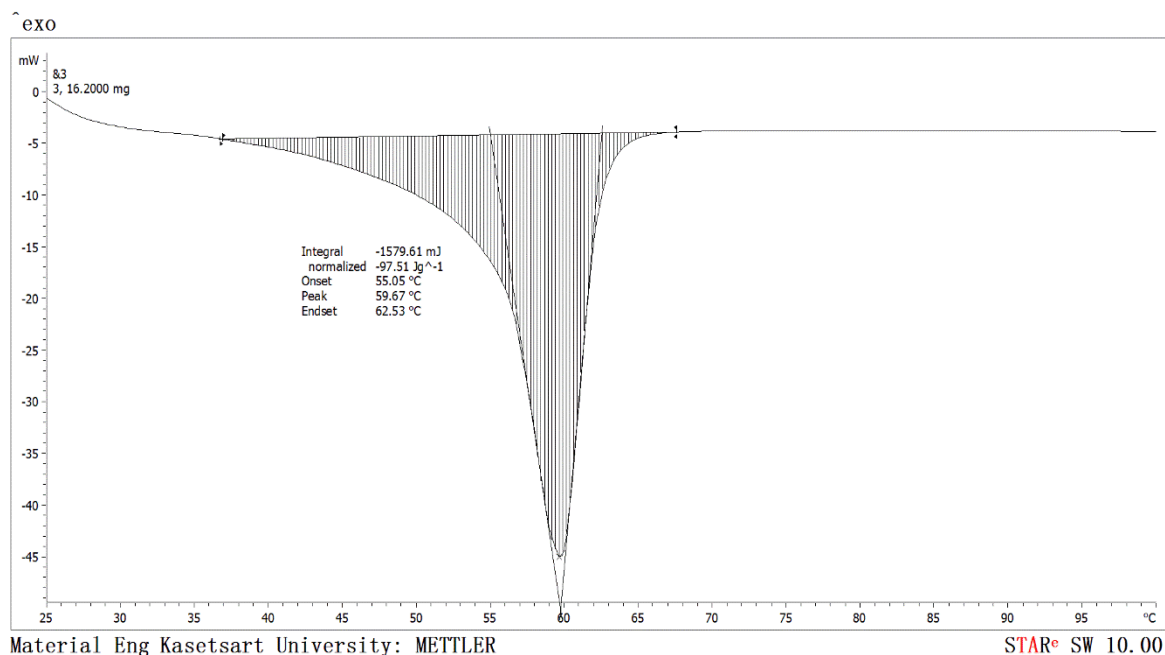
ผลการทดสอบจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ด้วยเครื่อง DSC จากส่วนผสมทั้ง 3 สูตรได้ข้อมูลดังนี้



รูปที่ 197 แสดงผลการทดสอบจุดหลอมเหลวสูตรที่ 1



รูปที่ 198 แสดงผลการทดสอบจุดหลอมเหลวสูตรที่ 2



รูปที่ 199 แสดงผลการทดสอบจุดหลอมเหลวสูตรที่ 3

ตารางที่ 20 แสดงการสรุปผลเปรียบเทียบการทดสอบจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะทั้ง 3 สูตร

ลำดับ สูตร	ค่าพลังงาน หลอมเหลว (mj)	ค่าพลังงานต่อ น้ำหนัก (jg-1)	อุณหภูมิที่เริ่ม หลอมเหลว (°C)	อุณหภูมิที่จุด หลอมเหลวสูงสุด (°C)	อุณหภูมิที่สิ้นสุด การหลอมเหลว (°C)
สูตรที่ 1	2204.39	132	45	63.5	72
สูตรที่ 2	1406.41	93.14	43	61	68
สูตรที่ 3	1579.61	97.51	37	59.67	67.5

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าสูตรที่ 3 ที่มีส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากพอลิเมอร์น้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากแก้วเหลืองในอัตราส่วน 1 ส่วนต่อ 1 ส่วน จะมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 37 °C - 67.5 °C มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับงานวิจัยขั้นตอนต่อไป โดยมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วงอุณหภูมิของผนังในประเทศไทยที่ได้รับความร้อนตั้งแต่ 8.00-17.00 น. ที่จะมีช่วงอุณหภูมิอยู่ที่ 30 °C - 70 °C และมีค่าช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวใกล้เคียงกับพาราฟินซึ่งมีค่าอุณหภูมิ 47 °C - 64 °C ที่นิยมนำมาใช้ในการทำวิจัยด้านวัสดุในงานสถาปัตยกรรมเนื่องจากมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะในช่วง

ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ และมีข้อได้เปรียบของสูตรที่ 3 ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นหลอมเหลวที่ต่ำกว่าพาราฟินทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะได้เร็วกว่าพาราฟิน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่กำลังศึกษาโดยเก็บพลังงานความร้อนในวัสดุได้ก่อนซึ่งอุณหภูมิในขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากแตกต่างจากการเก็บพลังงานความร้อนโดยไม่มี การเปลี่ยนสถานะ (Sensible Thermal Storage) ทำให้อุณหภูมิในตัววัสดุไม่สูงจนส่งผ่านความร้อนออกมา



รูปที่ 200 แสดงลักษณะวัสดุเปลี่ยนสถานะสูตรที่ 3

5. การศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาประยุกต์ใช้กับวัสดุธรรมชาติที่จะส่งผลให้ Moisture Content ในเนื้อวัสดุ ที่จะนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างอาคารลดลง

เป็นการศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้กับวัสดุธรรมชาติเพื่อพัฒนาคุณสมบัติในการป้องกันและลดความชื้นเข้ามาในเนื้อวัสดุ โดยใช้กระบวนการ Encapsulation Method วัสดุธรรมชาติโดยวิธีการ Coating Mixing ของวัสดุธรรมชาติที่ได้คัดเลือกมาแล้ว 2 ชนิดนำไปทดสอบเพื่อหาสูตรส่วนผสมที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุดก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

ผลการศึกษา

จากการศึกษารูปแบบการนำคุณสมบัติการสะสมพลังงานวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุอาคาร จะมีรูปแบบการนำไปใช้เป็น 2 แนวทาง คือแนวทางที่ 1 จะนำวัสดุเปลี่ยนสถานะผสมเข้าไปเนื้อวัสดุโดยตรงเช่นงานวิจัยของ (D. Snoeck, B. Priem, P. Dubruel, N. De Belie, 2016) ได้ศึกษาทดลองของการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะผสมในคอนกรีตซีเมนต์พอร์ตแลนด์โดยตรง ส่วนแนวทางที่ 2 จะนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาผสมในวัสดุก่อสร้างอาคารในรูปแบบในลักษณะบรรจุใน Microcapsule จากงานวิจัยของ (Schossing et al, 2005) ได้มีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาผสมในวัสดุก่อสร้างอาคารได้ในรูปแบบในลักษณะบรรจุใน Microcapsule จากแนวทางการนำไปใช้พบว่าแนวทางที่ 1 การนำความร้อนของคอนกรีตจะลดลงและคุณสมบัติความเป็นฉนวนของคอนกรีตจะดีขึ้น ให้คอนกรีตสูญเสียความแข็งแรงในช่วงที่ยอมรับได้ โดยจะทำให้ประสิทธิภาพเชิง

โครงสร้าง ซึ่งผลที่ได้มีความต่างกันด้านคุณสมบัติ ทางกลวัสดุ และเกิดการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะไปตามรูพรุนต่างๆ ในเนื้อวัสดุ ส่วนแนวทางที่ 2 พบว่าการใช้ Microencapsulation PCMs ในวัสดุก่อสร้างช่วยแก้ปัญหาคุณสมบัติเชิงกล การบ่มตัวของวัสดุ และสามารถป้องกันการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะได้ดีที่สุด

ช่วงเตรียมวัสดุดิบ

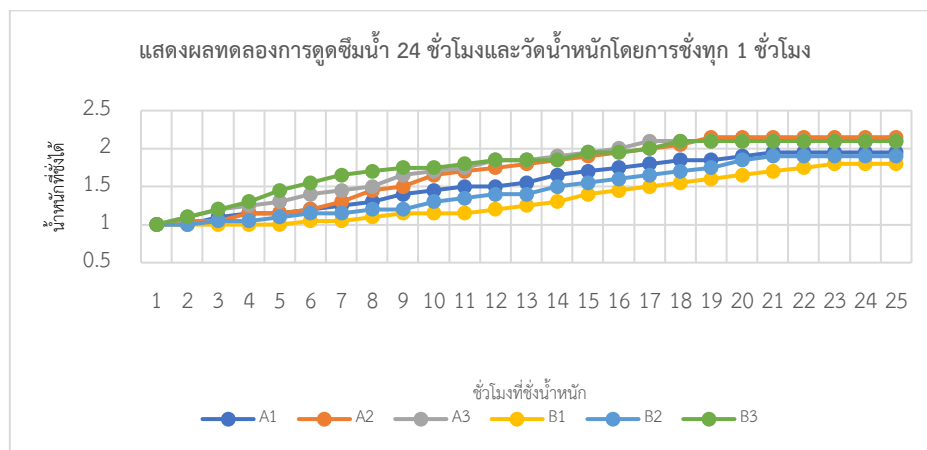
เป็นการออกแบบวิธีการทดลองในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติที่ได้คัดเลือกคือ นำ แกลบ และเปลือกกะลาเผา มาทดสอบสมมติฐานที่ว่า การเคลือบผิววัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing แกลบหรือเปลือกกะลาเผาวัสดุจะสามารถป้องกันความชื้นเข้ามาในวัสดุได้ดีที่สุด โดยกำหนดสูตรส่วนผสมระหว่างปริมาณวัสดุธรรมชาติกับปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ได้จากการทดลองช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังข้างต้น โดยใช้วิธี Coating Mixing กับเครื่อง Mixing ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้ โดยทำการเปรียบเทียบวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา จากนั้นนำส่วนผสมต่างๆ เข้าเครื่องผสม (Mixing) นำวัสดุธรรมชาติที่ได้ปริมาณตามสูตรลงไปคลุกเคล้าในเครื่องผสม (Mixing) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนอุณหภูมิลดลงจนทำให้วัสดุเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไข (Wax) เคลือบวัสดุ ทำการกำหนดสูตรเพื่อทำการเคลือบ (Coating) วัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตรด้วยวัสดุน้ำยางพาราอีกชั้น หลังจากนั้นนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพโดยวิธีการข้างต้นตามอัตราส่วนสูตรต่างๆที่กำหนดไว้แล้ว มาทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาว่าสูตรใดดูดซึมน้ำน้อยที่สุด โดยวิธีการนำวัสดุธรรมชาติตามอัตราส่วนสูตรต่างๆมาชั่งน้ำหนักก่อนและหลังนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง วัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง หาอัตราส่วนผสมที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ช้ำที่สุดและคายน้ำเร็วที่สุด เพื่อนำไปเป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบที่จะนำไปปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนผสมในคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 201 แสดงการนำวัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตรหลังผ่านกระบวนการ Coating Mixing มาทดสอบการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของวัสดุธรรมชาติ 24 ชั่วโมง วัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง ได้ผลดังแผนภูมิต่อไปนี้



รูปที่ 202 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำหลังจากผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

สรุปผลทดสอบการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง วัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง เพื่อศึกษาอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและมีการคายน้ำไวที่สุด พบว่า ลักษณะการดูดซึมน้ำของส่วนผสมที่มีวัสดุเปลี่ยนสถานะที่น้อยที่สุดคือ 20 % ของวัสดุธรรมชาติทั้ง 2 ชนิด (A1 และ B1) มีอัตราการดูดซึมน้ำค่อนข้างต่ำซึ่งปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไป และการดูดซึมจะค่อยๆ ดูดซึมในช่วงต้นและเริ่มสูงขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวและจะไม่มีการดูดซึมน้ำอีกต่อไป จากกราฟจะพบว่าสูตร B1 มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและใช้เวลานานที่สุดก่อนถึงจุดอิ่มตัวและหลังจากพักไว้เพื่อให้ น้ำหายหยดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าสูตร B1 จะมีอัตราการคายน้ำเร็วที่สุด ซึ่งถือว่าสูตร B1 ที่มีอัตราส่วนผสมของเปลือกกะลาเผาที่ 1 Kg. ต่อวัสดุเปลี่ยนสถานะ 20 % ของน้ำหนักเปลือกกะลาเผาและปริมาณน้ำยารักษา 70 % ของน้ำหนักเปลือกกะลาเผา ได้ผลทดสอบที่ดีเหมาะสมที่จะนำไปเป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลดความชื้นที่จะเกิดขึ้น

ช่วงทดลองหาส่วนผสม

ช่วงทดลองหาส่วนผสมเป็นการคัดเลือกหาสูตรส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกที่มีการนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพแล้วไปทดแทนส่วนผสมซึ่งมี ปูนซีเมนต์ ทราย หิน เป็นส่วนประกอบหลัก โดยใช้อัตราส่วนมาตรฐานของคอนกรีตบล็อก คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 : ทรายหยาบ : หินฝุ่น = 1 : 3 : 5 และน้ำ 40% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ขนาดมาตรฐานในการทดสอบเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 10 x 10 x 10 cm. กำหนดสัดส่วนของวัสดุธรรมชาติออกเป็น 5 สูตรทดลอง คือ 10%, 20%, 30%, 40%, 50% และแบ่งส่วนผสมในการทดลองแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังนั้น รวมสูตรในการทดลองทั้งหมด 20 สูตร



รูปที่ 203 แสดงก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อก 20 สูตร

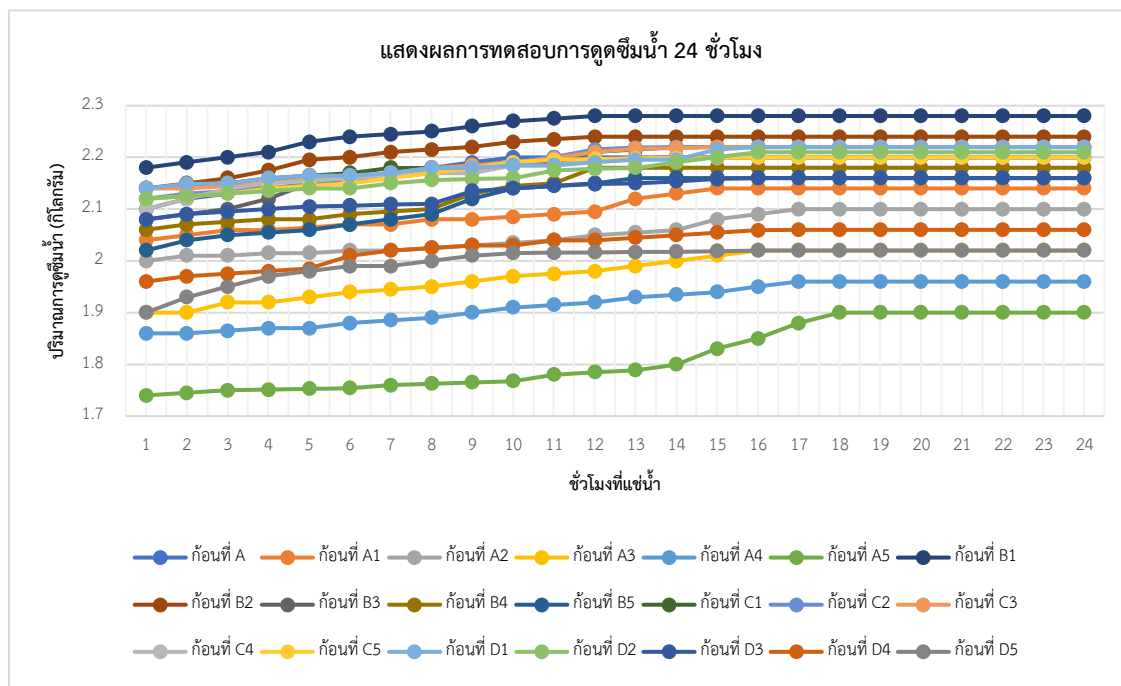
คัดเลือกหาสูตรที่การดูดซึมน้ำน้อยที่สุด จำนวน 10 สูตร โดยการนำไปชั่งน้ำหนักก่อนและหลังนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 204 แสดงการนำก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อกทดสอบการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนทดสอบคอนกรีต 24 ชั่วโมง โดยการนำไปชั่งน้ำหนัก ก่อนและหลังนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ได้ผลดังต่อไปนี้



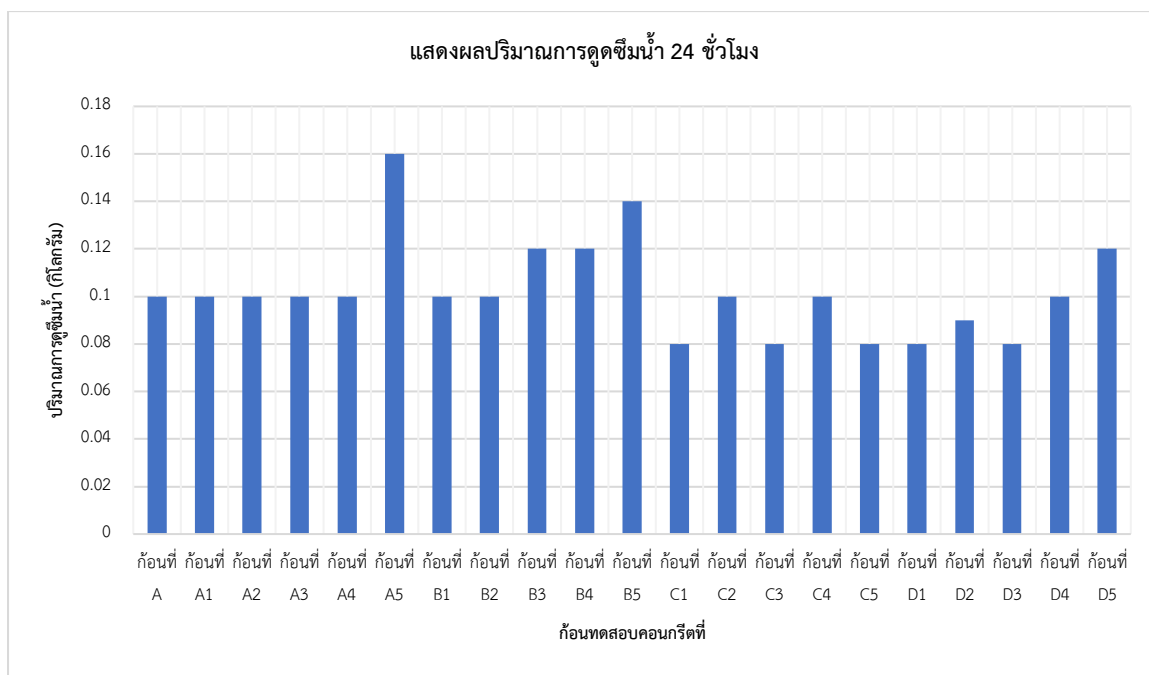
รูปที่ 205 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตทดสอบ 24 ชั่วโมง

จากแผนภูมิแสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตทดสอบ 24 ชั่วโมง พบว่าการดูดซึมน้ำจะมีช่วงเวลาการดูดซึมอยู่ 3 ช่วง ช่วงที่ 1 Sorption Moisture (or Hygroscopic) Region ช่วงนี้จะเริ่มต้นตั้งแต่สถานะที่แห้ง (Dry State) ไปจนถึงสถานะสมดุลของความชื้นในช่วงชั่วโมงเฉลี่ยที่ 1 - 7 ช่วงที่ 2 Capillary Water Region ช่วงนี้จะต่อเนื่องจากช่วงท้ายของ Sorption Region ไปจนถึงการอิ่มตัวของน้ำ (Free Water Saturate) ในช่วงนี้รูพรุนของวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะถูกเติมเต็มด้วยน้ำจนถึงจุดอิ่มตัวในช่วงชั่วโมงเฉลี่ยที่ 7 - 17 ช่วงที่ 3 Super Saturated Region ช่วงนี้จะต่อเนื่องจากช่วงอิ่มตัวของน้ำ ไปจนถึงช่องว่างภายในวัสดุทั้งหมดเติมไปด้วยน้ำในช่วงชั่วโมงเฉลี่ยที่ 17 - 24

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบก้อนคอนกรีตจะเริ่มดูดซึมน้ำในช่วงที่ 1 ในอัตราที่ค่อนข้างเร็วจนถึงช่วงที่ 2 และในช่วงที่ 3 จะถึงจุดอิ่มตัวจะไม่สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปได้อีกจนครบเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดสอบทำให้น้ำหนักและความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตมากขึ้น

ตารางที่ 21 แสดงการสรุปผลเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำของแต่ละสูตร

รายการ สูตรผสม	รายละเอียด	น้ำหนัก ก่อนแช่น้ำ	น้ำหนัก หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง	ปริมาณ การดูดซึมน้ำ
A	ส่วนผสมต้นแบบ	2.10	2.20	0.10
A1	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่มเปลือกกะลาเผา 10 %	2.04	2.14	0.10
A2	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่มเปลือกกะลาเผา 20 %	2.00	2.10	0.10
A3	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่มเปลือกกะลาเผา 30 %	1.92	2.02	0.10
A4	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่มเปลือกกะลาเผา 40 %	1.86	1.96	0.10
A5	ส่วนผสมต้นแบบเพิ่มเปลือกกะลาเผา 50 %	1.74	1.90	0.16
B1	แทนที่ปูนด้วยเปลือกกะลาเผา 10 %	2.18	2.28	0.10
B2	แทนที่ปูนด้วยเปลือกกะลาเผา 20 %	2.14	2.24	0.10
B3	แทนที่ปูนด้วยเปลือกกะลาเผา 30 %	2.08	2.20	0.12
B4	แทนที่ปูนด้วยเปลือกกะลาเผา 40 %	2.06	2.18	0.12
B5	แทนที่ปูนด้วยเปลือกกะลาเผา 50 %	2.02	2.16	0.14
C1	แทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลาเผา 10 %	2.14	2.22	0.08
C2	แทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลาเผา 20 %	2.12	2.22	0.10
C3	แทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลาเผา 30 %	2.14	2.22	0.08
C4	แทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลาเผา 40 %	2.10	2.20	0.10
C5	แทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลาเผา 50 %	2.12	2.23	0.11
D1	แทนที่หินด้วยเปลือกกะลาเผา 10 %	2.14	2.22	0.08
D2	แทนที่หินด้วยเปลือกกะลาเผา 20 %	2.12	2.21	0.09
D3	แทนที่หินด้วยเปลือกกะลาเผา 30 %	2.08	2.16	0.08
D4	แทนที่หินด้วยเปลือกกะลาเผา 40 %	1.96	2.06	0.10
D5	แทนที่หินด้วยเปลือกกะลาเผา 50 %	1.90	2.02	0.12



รูปที่ 206 แสดงสรุปผลเปรียบเทียบการปริมาณการดูดซึมน้ำของแต่ละสูตร

หลังจากสรุปผลเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำของแต่ละสูตร พบว่าน้ำหนักก๊อนคอนกรีตทดสอบของสูตรที่มีการเติมหรือทดแทนวัสดุธรรมชาติเข้าไปจะแปรผันตรงกับปริมาณการดูดซึมน้ำ และแปรผันตรงกับช่วงเวลาในการแช่น้ำจนถึงจุดที่มีการอิ่มตัวจะไม่ดูดซึมน้ำเข้าไปได้อีก ซึ่งในการทดลองทั้งหมด 20 สูตร ที่ทำการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกผสมวัสดุธรรมชาติ โดยมีขนาดทดลองของคอนกรีตบล็อก คือ $10 \times 10 \times 10$ ซม. ปล่อยให้คอนกรีตเซ็ดตัว 7 วันแล้วนำไปคัดเลือกหาสูตรที่การดูดซึมน้ำน้อยที่สุด จำนวน 10 สูตร โดยการนำไปชั่งน้ำหนักก่อนและหลังนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง วัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง พบว่าสูตรที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุด มีดังนี้ A1, A2, A3, A4, B1, C3, C4, D2, D3, D4 นำสูตรที่ที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดนำไปขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. สูตรละ 5 ก๊อนรวมทั้งหมดเป็น 50 ก๊อน เพื่อนำไปทดสอบการต้านทานแรงอัดในขั้นตอนต่อไป

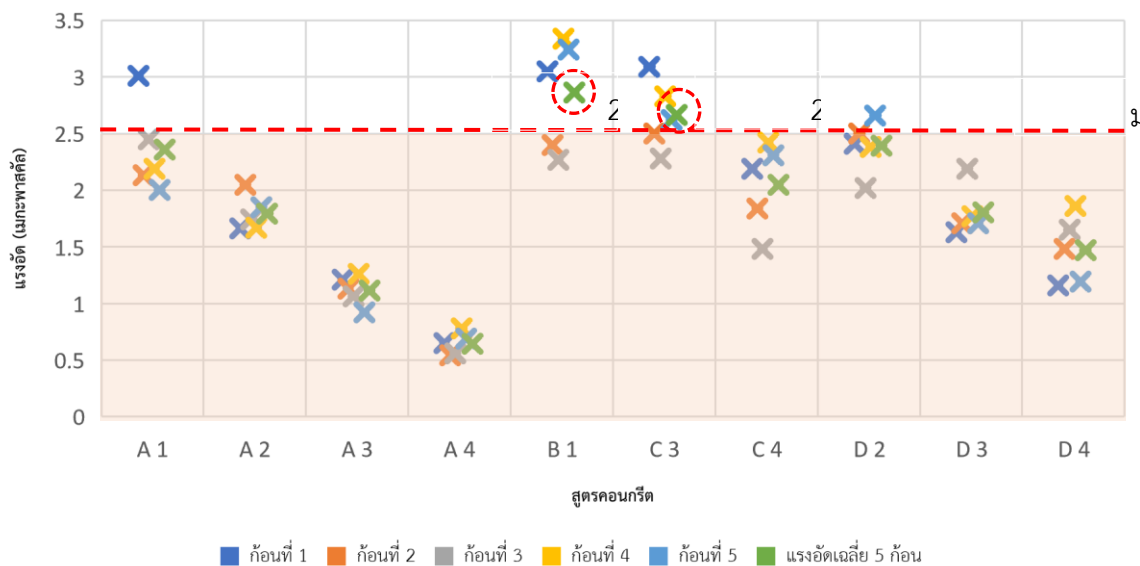
ผลการทดสอบการต้านทานแรงอัดของก๊อนคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. จำนวน 10 สูตร

นำคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. สูตรละ 5 ก๊อนรวมทั้งหมดเป็น 50 ก๊อนไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดให้ได้ความแข็งแรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ในเรื่องของความต้านทานแรงอัดที่กำหนดเอาไว้ว่าค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าความต้านทานแรงอัดแต่ละก๊อนต้องไม่น้อยกว่า 2.0 เมกะพาสคัล

ตารางที่ 22 แสดงค่าต้านทานแรงอัดก้อนคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10x10x10 ซม.

สูตร	แรงอัดของแต่ละก้อน (เมกะพาสคัล)					แรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน (เมกะพาสคัล)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
A 1	3.01	2.13	2.45	2.19	2.00	2.36	0.40
A 2	1.66	2.05	1.74	1.67	1.85	1.79	0.16
A 3	1.21	1.13	1.06	1.26	0.92	1.12	0.13
A 4	0.65	0.54	0.56	0.78	0.69	0.64	0.10
B 1	3.05	2.40	2.27	3.34	3.24	2.86	0.49
C 3	3.09	2.50	2.28	2.83	2.62	2.67	0.31
C 4	2.19	1.84	1.48	2.42	2.31	2.05	0.39
D 2	2.41	2.50	2.02	2.38	2.66	2.39	0.24
D 3	1.63	1.71	2.19	1.77	1.71	1.80	0.22
D 4	1.16	1.48	1.65	1.86	1.19	1.47	0.30
มอก.58-2533	2.0					2.5	

ค่าต้านทานแรงอัดก้อนคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม.



รูปที่ 207 แผนภูมิแสดงค่าความต้านทานแรงอัดก้อนทดสอบส่วนผสมคอนกรีตบล็อกสูตรต่าง ๆ

จากแผนภูมิที่ได้จากข้อมูลการทดสอบการต้านทานแรงอัดเพื่อคัดเลือกสูตรที่มีความแข็งแรงผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่มีค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล จะได้สูตรที่ผ่านเกณฑ์ 2 สูตรคือ สูตร B1 และ C3 แต่เกณฑ์ที่สำคัญในการคัดเลือกข้างต้นคือจะต้องเป็นสูตรที่มีค่าปริมาณการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซึ่งสูตร B1 มีปริมาณการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 0.10 กิโลกรัม ส่วนสูตร C3 มีปริมาณการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 0.08 กิโลกรัม ทำให้สูตร C3 ผ่านเกณฑ์การทดสอบการดูดซึมน้ำและการต้านทานแรงอัด จึงนำสูตร C3 เป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบที่จะนำไปขึ้นรูปทรงคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม. เพื่อนำไปทดสอบในงานวิจัยขั้นต่อไป

จากผลการทดสอบทำให้สรุปความสัมพันธ์ได้ว่าปริมาณวัสดุธรรมชาติที่ใส่เข้าไปในคอนกรีตบล็อกจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานแรงอัด โดยการเพิ่มปริมาณวัสดุธรรมชาติเข้าไปจะทำให้ค่าต้านทานแรงอัดในคอนกรีตบล็อกลดลง

ช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

ผลิตขึ้นรูปจริงคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. จากสูตร C3 โดยแทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลาเผา 30 เปอร์เซ็นต์ จะได้ส่วนผสมนี้ ปูน 1 ส่วน ต่อทราย 2.1 ส่วน ต่อหิน 5 ส่วน ต่อเปลือกกะลาเผา 0.9 ส่วน และปริมาณน้ำ 40 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมทั้งหมด ใช้เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกระบบกึ่งไฮดรอลิกแบบ 4 ก้อน สามารถขึ้นรูปได้สำเร็จตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ซึ่งวัดขนาดความคลาดเคลื่อนได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มม. ขนาดความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 มม.



รูปที่ 208 แสดงคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม. ที่ผลิตได้

ลักษณะคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้จะมีสีอ่อนกว่าคอนกรีตบล็อกที่ขายตามท้องตลาด คอนกรีตที่ผิวเต็มแบบแม่พิมพ์ไม่มีส่วนกะเทาะปราศจากรอยแตกร้าวที่จะส่งผลต่อการก่อสร้างคอนกรีตบล็อกหรือเสียกำลังด้านความแข็งแรงของสิ่งก่อสร้าง ผิวเรียบมีความขรุขระเล็กน้อยสามารถยึดจับกับปูนก่อและปูนฉาบได้

ช่วงทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ตารางที่ 23 แสดงขนาดมิติจากการชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3

ขนาดมิติ	ชักตัวอย่าง						ขนาดมาตรฐาน (มอก.58-2533)
	ก้อนที่1	ก้อนที่2	ก้อนที่3	ก้อนที่4	ก้อนที่5	เฉลี่ย	
ความยาว (มม.)	390	390.3	390	390.5	390	390.1	390 ± 2 มม.
ความสูง (มม.)	189	189.5	189.9	189.8	189.8	189.6	190 ± 2 มม.
ความหนา (มม.)	70	70.8	70.5	70.4	70.5	70.44	70 ± 2 มม.
ความหนาเปลือก (มม.)	14.7	15	15.2	14.8	15.3	15	≥ 12 มม.

จากตารางขนาดมิติจากการชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน พบว่า มีขนาดมิติเฉลี่ยดังนี้ ความยาวอยู่ที่ 390.16 มม. ความสูง 189.6 มม. ความหนา 70.44 มม. ความหนาเปลือก 15 มม. ซึ่งผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่กำหนดไว้ และมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ได้กำหนดพื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกในนิยามไว้ว่ามีพื้นที่หน้าตัดสุทธิน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องหาค่าร้อยละหน้าตัดสุทธิจากการคำนวณดังวิธีต่อไปนี้

$$\text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิ} = \text{พื้นที่หน้าตัดรวม} - \text{พื้นที่โพรงอากาศ}$$

$$\text{ร้อยละของพื้นที่หน้าตัดสุทธิ} = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดสุทธิ}}{\text{พื้นที่หน้าตัดรวม}} \times 100$$



รูปที่ 209 แสดงพื้นที่หน้าตัดสุทธิคอนกรีตบล็อกกลาง



รูปที่ 210 แสดงพื้นที่หน้าตัดรวมคอนกรีตบล็อกกลวง

ตารางที่ 24 แสดงพื้นที่หน้าตัดจากการชักตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3

ขนาดมิติ	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	ก้อนที่ 4	ก้อนที่ 5	ขนาดมาตรฐาน (มอก.58-2533)
พื้นที่หน้าตัดรวม (ตร.มม.)	27300	27633	27495	27491	27495	
พื้นที่โพรงอากาศ (ตร.มม.)	13446	13476	13200	13517	13119	
พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (ตร.มม.)	13854	14157	14294	13974	14376	
พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (เปอร์เซ็นต์)	50.74	51.23	51.98	50.83	52.28	< 75 %

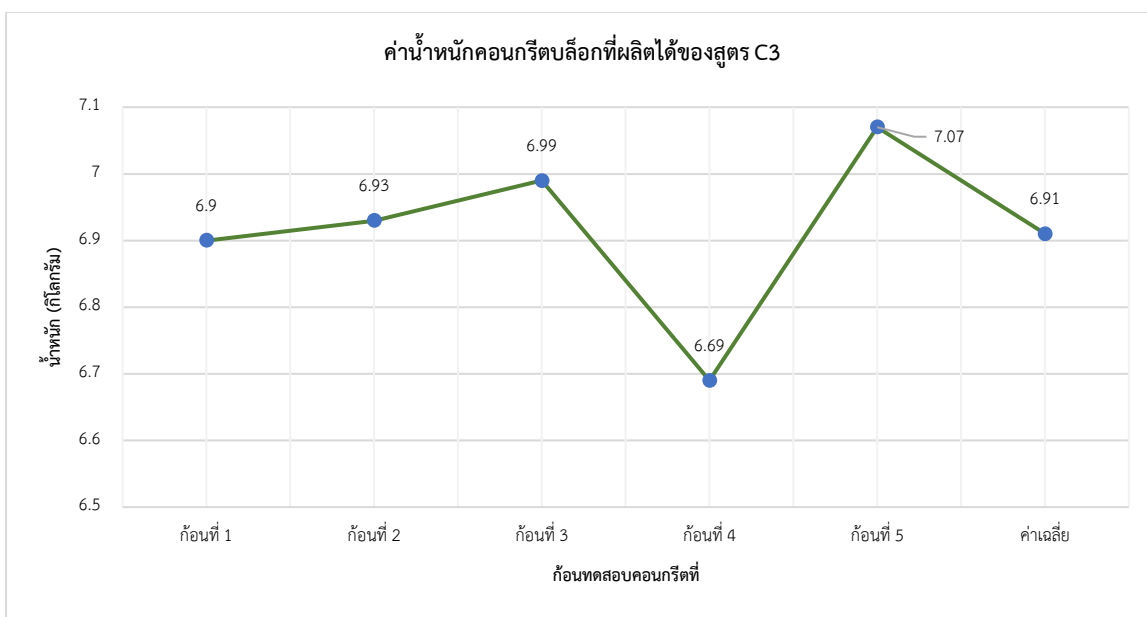
จากตารางแสดงพื้นที่หน้าตัดจากการชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3 ทั้ง 5 ก้อน พบว่าพื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวม ซึ่งตรงกับนิยามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ว่ามีพื้นที่หน้าตัดสุทธิน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน

ส่วนน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้สามารถหาค่าน้ำหนักจากการชั่งเครื่องชั่งดิจิทัล เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น (Density) โดยที่ค่าความหนาแน่นสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

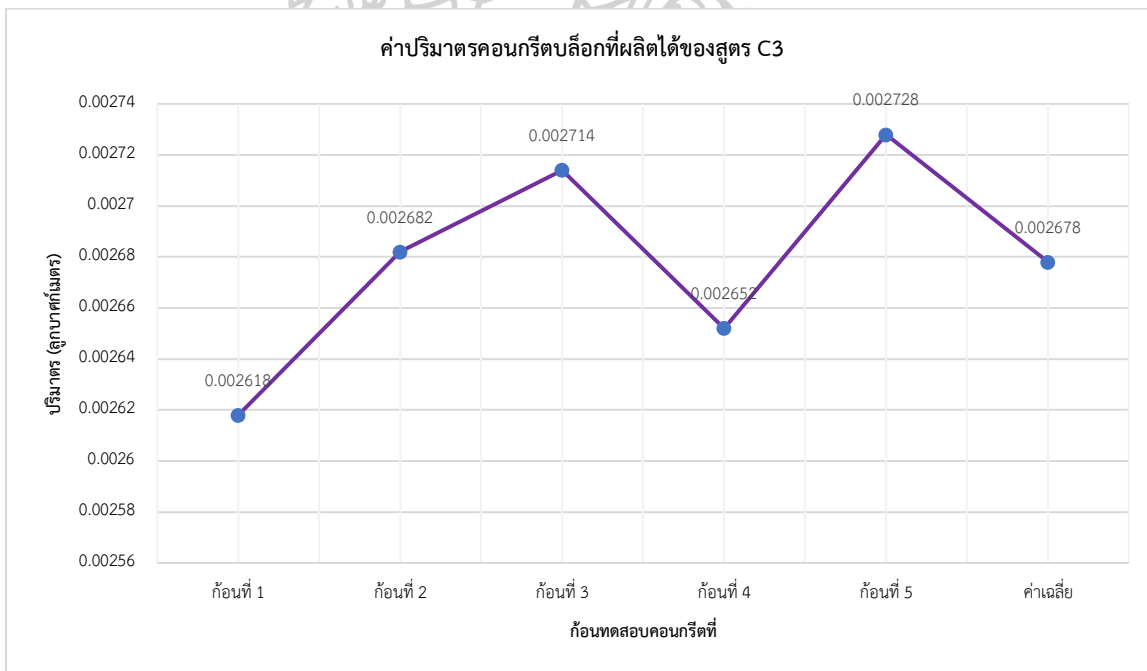
$$\text{ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)} = \frac{\text{น้ำหนัก (กก.)}}{\text{ปริมาตร (ลบ.ม.)}}$$

ตารางที่ 25 แสดงค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3

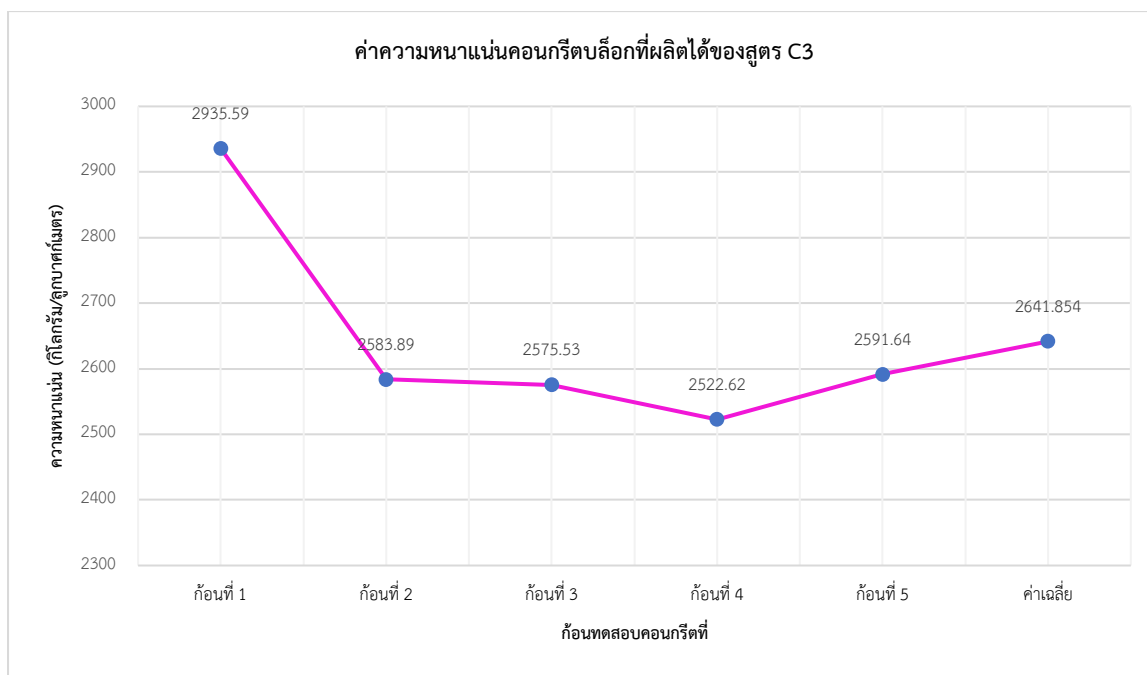
สูตร	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	ก้อนที่ 4	ก้อนที่ 5	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนัก (กก.)	6.90	6.93	6.99	6.69	7.07	6.91
ปริมาตร (ลบ.ม.)	0.002618	0.002682	0.002714	0.002652	0.002728	0.002678
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	2935.59	2583.89	2575.53	2522.62	2591.64	2641.854



รูปที่ 211 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3 ทั้ง 5 ก่อน



รูปที่ 212 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาตรคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3 ทั้ง 5 ก่อน



รูปที่ 213 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ของสูตร C3 ทั้ง 5 ก้อน

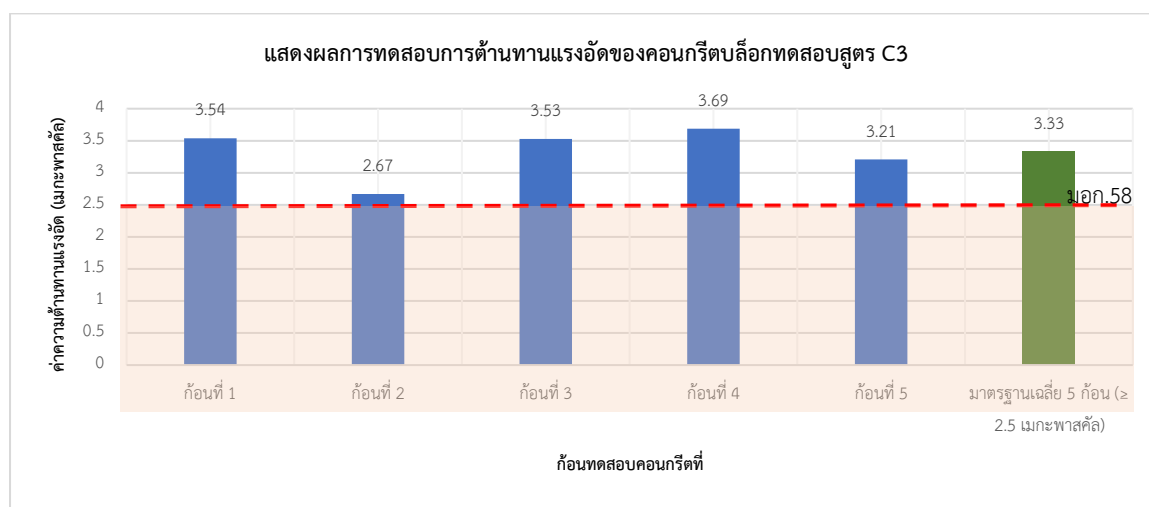
จากตารางแสดงค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบล็อกสูตร C3 พบว่าค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) แปรผกผันกับปริมาณเปลือกกะลาเผาที่ใส่ โดยเมื่อใส่เปลือกกะลาเผาเพิ่มขึ้นน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) ก้อนคอนกรีตบล็อกจะลดลงตามลำดับ ซึ่งคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จะมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 6.91 กก. ปริมาตรเฉลี่ย 0.002678 ลบ.ม. และมีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 2641.854 กก./ลบ.ม.

การทดสอบการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อก

ผลการทดสอบค่าต้านทานแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ได้ระบุค่าต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักของแต่ละก้อนไม่น้อยกว่า 2 เมกะพาสคัลและแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกทั้ง 5 ก้อนต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ได้ทำการทดสอบค่าต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้และได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 26 แสดงผลการทดสอบการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกทดสอบสูตร C3

สูตร	ค่าความต้านทานแรงอัด (เมกะพาสคัล)					ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	มาตรฐานแต่ละก้อน (≥ 2.0 เมกะพาสคัล)						มาตรฐานเฉลี่ย 5 ก้อน (≥ 2.5 เมกะพาสคัล)
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	ก้อนที่ 4	ก้อนที่ 5		
C3	3.54	2.67	3.53	3.69	3.21	3.33	0.41



รูปที่ 214 แสดงค่าการต้านทานการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกทดสอบสูตร C3

การทดสอบปริมาณความชื้นโดยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

ผลการทดสอบปริมาณความชื้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ผลปรากฏว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานได้ระบุค่าปริมาณความชื้นโดยใช้การพิจารณาร้อยละความดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน เปรียบเทียบกับร้อยละการหดตัวทางยาว และพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยของสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุดควบคู่กันด้วย ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 27 แสดงปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกประเภทไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

ค่าการหดตัวทางยาว (ร้อยละ)	ความชื้นสูงสุด ร้อยละการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากจำนวนคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	น้อยกว่า 50	50 - 75	มากกว่า 75
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.03	35	40	45
มากกว่า 0.03 – 0.045	30	35	40
มากกว่า 0.045	25	30	35

ที่มา: มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 177, ตอนที่ 119, (10 กรกฎาคม 2533) : 13.

ในงานวิจัยนี้ได้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกจริงที่จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี 2564 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 67.20 อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีร้อยละ 50 – 75 ดังตาราง โดยจะพิจารณาควบคู่ไปกับค่าการหดตัวทางยาวดังต่อไปนี้

- 1) ถ้าการหดตัวทางยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.03 ของร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต้องมีค่าไม่เกิน 40
- 2) ถ้าการหดตัวทางยาวมากกว่าร้อยละ 0.03 – 0.045 ของร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต้องมีค่าไม่เกิน 35
- 3) ถ้าการหดตัวทางยาวมากกว่าร้อยละ 0.045 ของร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต้องมีค่าไม่เกิน 30

จากการทดสอบปริมาณความชื้นของก้อนคอนกรีตบล็อกทดสอบสูตร C3 ผลปรากฏว่าผ่านค่ามาตรฐานปริมาณความชื้นดังผลต่อไปนี้

การทดสอบการหดตัวทางยาว

ทำการทดสอบการหดตัวทางยาวของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 28 แสดงค่าการหดตัวทางยาวของคอนกรีตบล็อกสูตร C3

สูตร	ค่าการหดตัวทางยาว (ร้อยละ)	ค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำ (มอก.58 – 2533)
C3	0.057	≤ 30

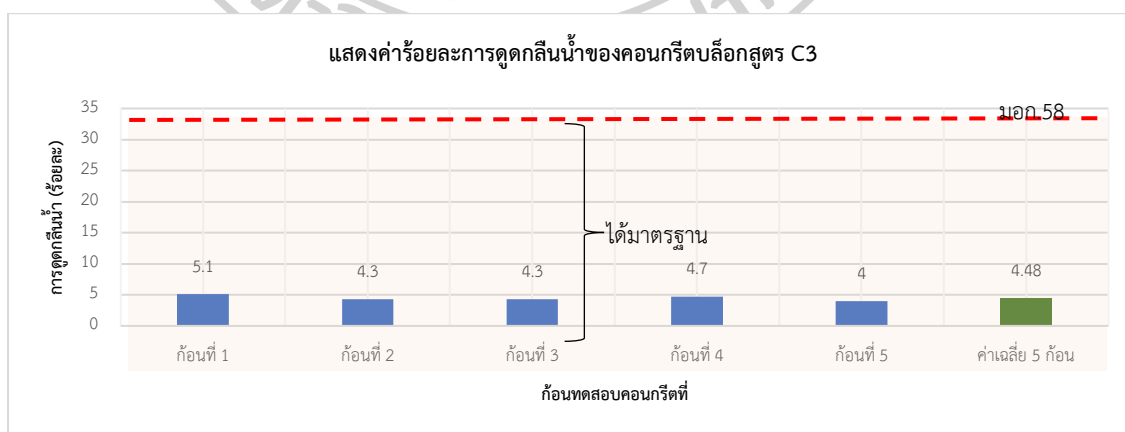
จากตารางผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ผลปรากฏว่ามีค่าการหดตัวทางยาวร้อยละ 0.057 และค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ≤ 30 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

การทดสอบการดูดกลืนน้ำ

ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งผลการทดสอบจะอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ 109 (มอก.109) จากการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จำนวน 5 ก้อนพบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานการดูดกลืนน้ำ โดยได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 29 แสดงค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3

สูตร	ร้อยละการดูดกลืนน้ำ					ค่าเฉลี่ย 5 ก้อน	ค่ามาตรฐาน (มอก.58-2533) เฉลี่ย 5 ก้อน
	ก้อนคอนกรีตทดสอบ						
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	ก้อนที่ 4	ก้อนที่ 5		
C3	5.1	4.3	4.3	4.7	4.0	4.48	≤ 30



รูปที่ 215 แผนภูมิแสดงค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3

การทดสอบค่าดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ผลปรากฏว่าคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ผ่านมาตรฐานการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยทั้ง 5 ก้อน โดยมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยทั้ง 5 ก้อนอยู่ที่ร้อยละ 4.48 ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่ระบุไว้ว่า ถ้าค่าการหดตัวทางยาวร้อยละมากกว่า 0.045 ค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 30

ตารางที่ 30 แสดงคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3 เปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

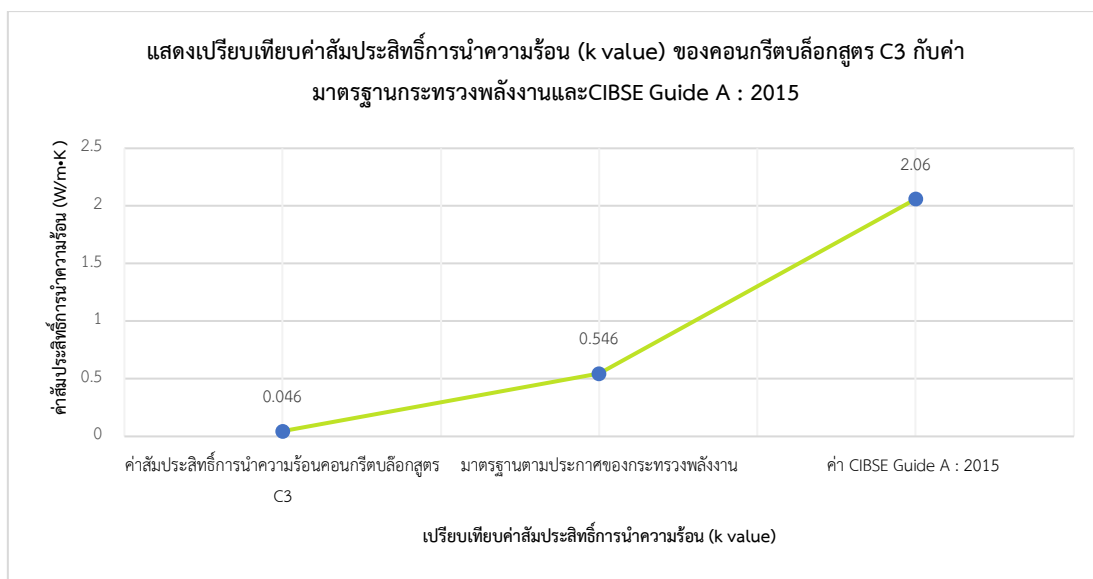
รายการคุณสมบัติเพื่อเปรียบเทียบ	คุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3	ค่ามาตรฐาน (มอก.58-2533)	ผลสรุปหลังจากเปรียบเทียบคุณสมบัติ
น้ำหนัก (กก.)	6.91	-	ไม่ระบุในมาตรฐาน
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	2641.854	-	ไม่ระบุในมาตรฐาน
ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (เมกะพาสคัล)	3.33	≥ 2.5	ผ่านมาตรฐาน
ความต้านทานแรงอัดแต่ละก้อน (เมกะพาสคัล)	ก้อนที่ 1 = 3.54 ก้อนที่ 2 = 2.67 ก้อนที่ 3 = 3.53 ก้อนที่ 4 = 3.69 ก้อนที่ 5 = 3.21	≥ 2.0	ผ่านมาตรฐาน
ร้อยละการดูดกลืนน้ำ (ร้อยละการหดตัวทางยาว 0.057)	4.48	< 30	ผ่านมาตรฐาน

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C518 ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวง วิทยาศาสตร์ ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 31 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ของคอนกรีตบล็อกสูตร C3

สูตร	ที่อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) W/m·K
C3	23.8	0.046



รูปที่ 216 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k value) ของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 กับค่ามาตรฐานกระทรวงพลังงานและCIBSE Guide A : 2015

จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบความต้านทานแรงอัดและปริมาณความชื้นมาแล้วผลปรากฏว่าค่าสภาพนำความร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 23.8 องศาเซลเซียสอยู่ที่ 0.046 W/m·K ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานตามประกาศของกระทรวงพลังงาน ซึ่งระบุว่าค่าการนำความร้อนคอนกรีตบล็อกกลางขนาด 80 มม. อยู่ที่ 0.546 W/m·K และต่ำกว่าค่า CIBSE Guide A : 2015 ซึ่งได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกลางที่อยู่ในประเภท Dense Aggregate Concrete ที่มีความหนาแน่นอยู่ที่ 2,400 กก./ลบ.ม.อยู่ที่ 2.06 W/m·K

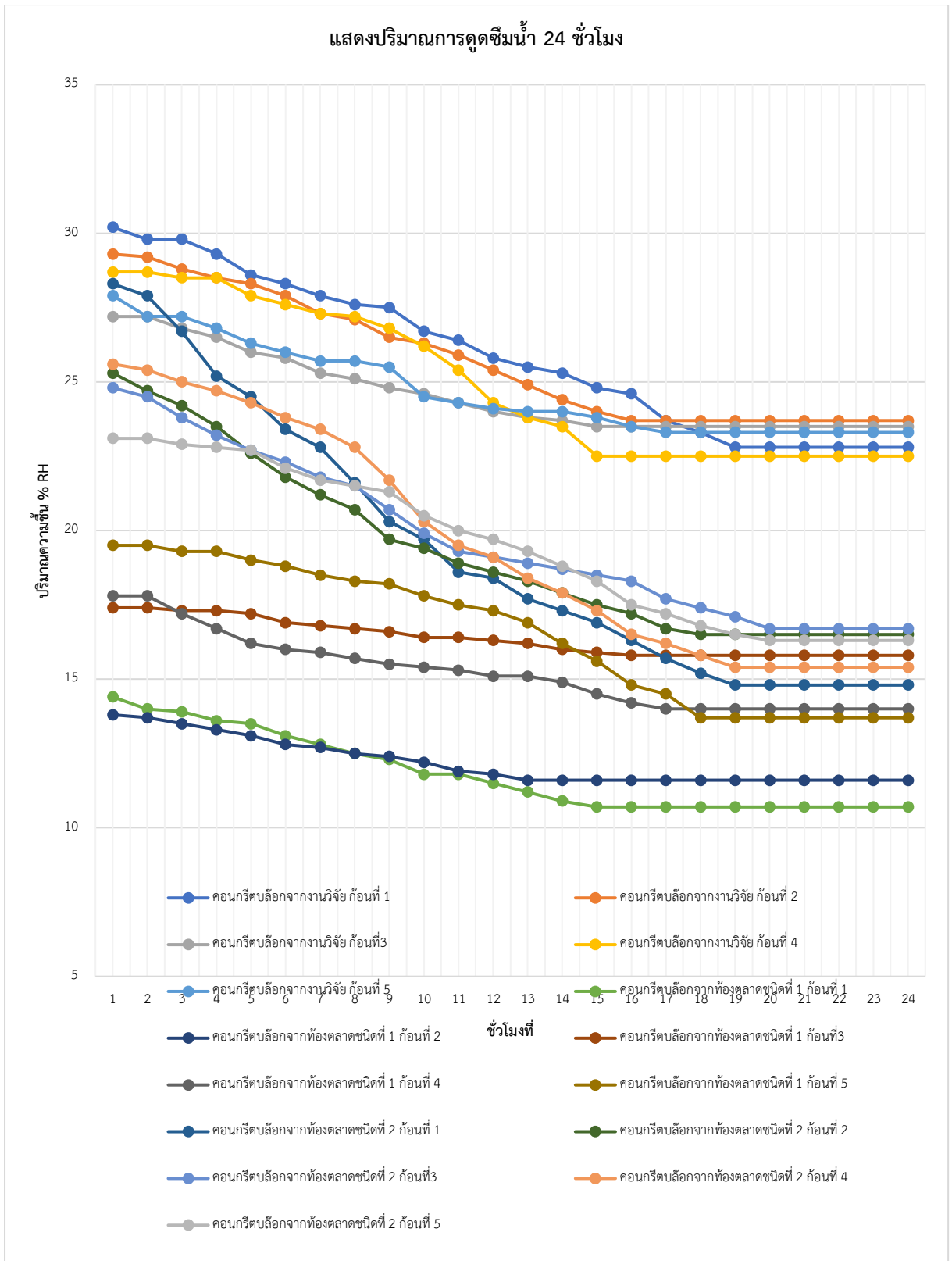
ตารางที่ 32 แสดงคุณสมบัติด้านความร้อนของคอนกรีตบล็อกสูตร C3

รายการเปรียบเทียบ	คุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3	มาตรฐานกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552	มาตรฐาน CIBSE 2015
ความหนาแน่น (กก.ลบ.ม.)	2641.854	2210	1040
ความหนา (มม.)	70.44	80	150
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m·K)	0.046	0.546	0.62

ช่วงทดสอบค่าดูดซึ่มความชื้น ทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่างๆ

การทดสอบค่าดูดซึ่มความชื้นเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ปีห้ก่อนนำไปทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบความสามารถในการดูดซึ่มความชื้นในสภาวะต่างๆ วัดค่าความชื้นก่อนแช่และหลังแช่น้ำโดยวิธีแบ่งเส้นชั้นคอนกรีตให้มีความห่างชั้นละ 1 ซม.แล้วนำไปแช่น้ำโดยส่วนที่แช่น้ำ 2 ซม.ทำการวัดค่าความชื้นโดยใช้ Moisture Meter ประเภท Radio Frequency Test วัดความชื้นแต่ละชั้นทุกๆ 1 ชั่วโมงที่ผิวแต่ละช่วงเวลาตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ผิวด้านบนสุดและคุณสมบัติการดูดซึ่มความชื้นในแต่ละชั้นของคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิด ได้ผลการทดสอบดังนี้

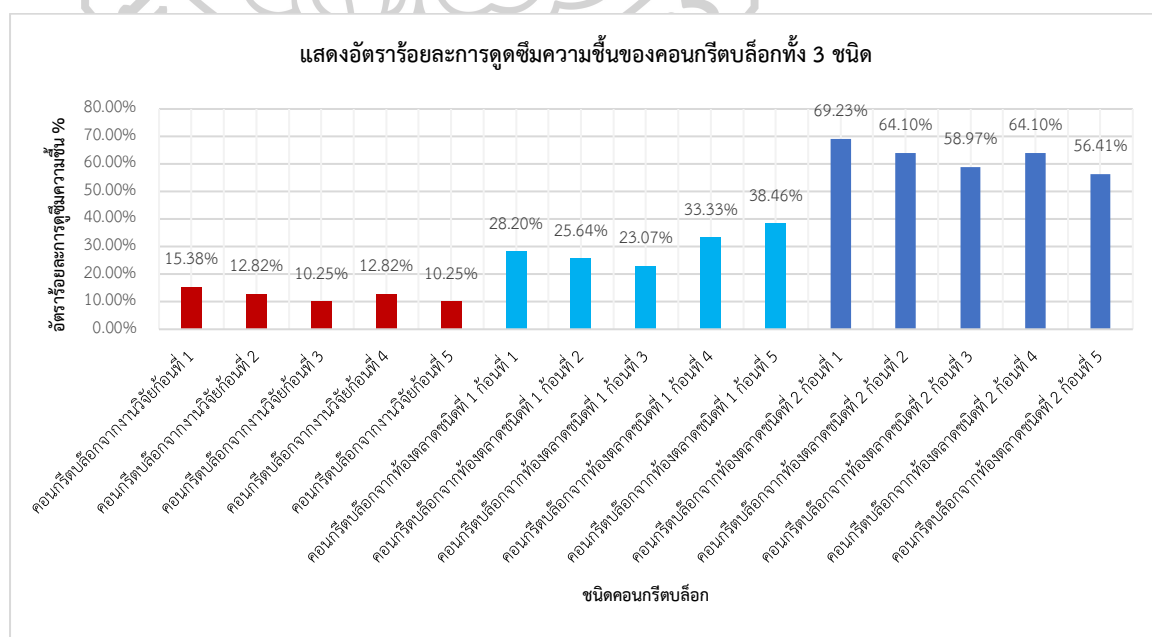




รูปที่ 217 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก 3 ชนิด

ตารางที่ 33 แสดงอัตราร้อยละการดูซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด

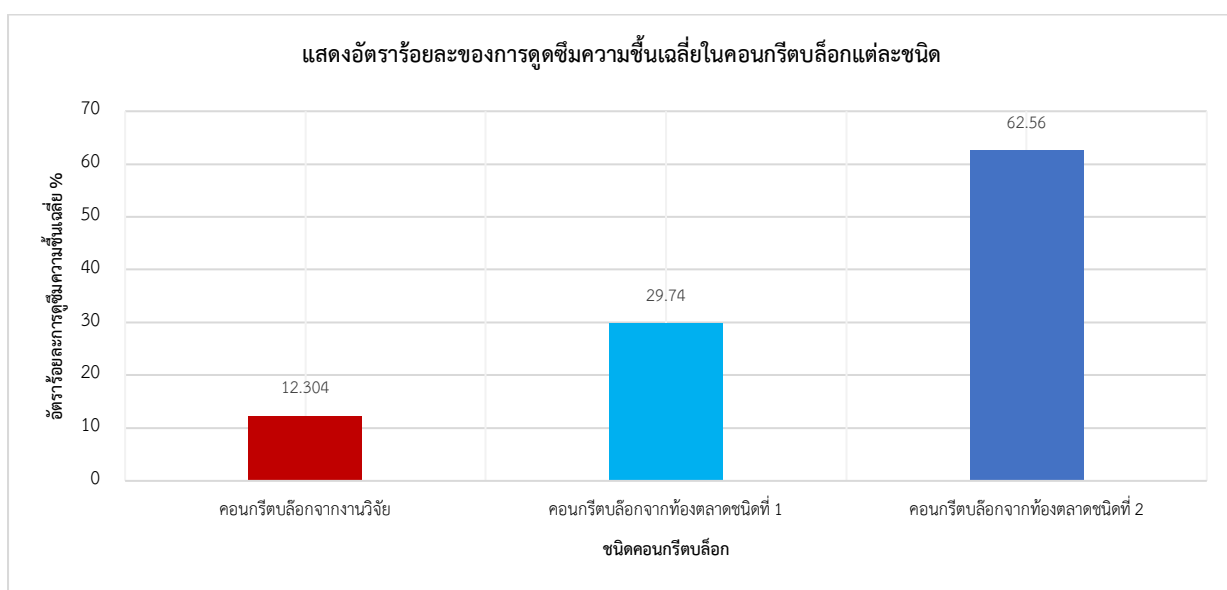
อัตราร้อยละการดูซึมความชื้น		
คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย	ก้อนที่ 1	15.38
	ก้อนที่ 2	12.82
	ก้อนที่ 3	10.25
	ก้อนที่ 4	12.82
	ก้อนที่ 5	10.25
คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1	ก้อนที่ 1	28.20
	ก้อนที่ 2	25.64
	ก้อนที่ 3	23.07
	ก้อนที่ 4	33.33
	ก้อนที่ 5	38.46
คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2	ก้อนที่ 1	69.23
	ก้อนที่ 2	64.10
	ก้อนที่ 3	58.97
	ก้อนที่ 4	64.10
	ก้อนที่ 5	56.41



รูปที่ 218 แผนภูมิแสดงอัตราร้อยละการดูซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 34 แสดงอัตราการย่อยและการดูดซึมความชื้นเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด

อัตราการย่อยและการดูดซึมความชื้นเฉลี่ย		
คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย	คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาด ชนิดที่ 1	คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาด ชนิดที่ 2
12.304	29.74	62.56



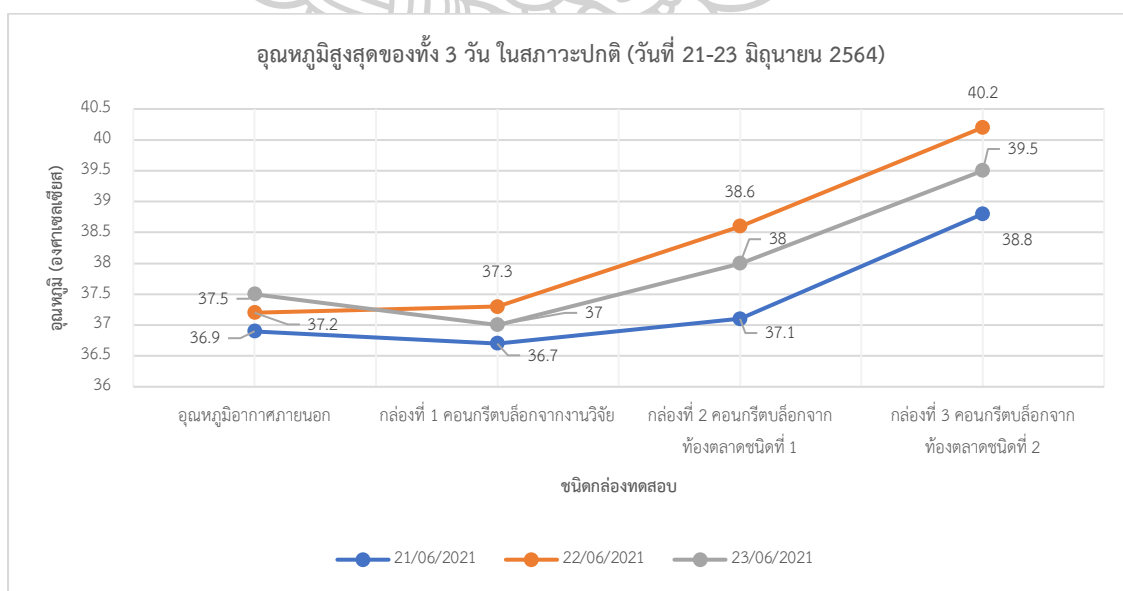
รูปที่ 219 แผนภูมิแสดงอัตราการย่อยและการดูดซึมความชื้นเฉลี่ยในคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิด

จากการทดสอบค่าดูดซึมความชื้นเพื่อเปรียบเทียบคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยกับวัสดุคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ปีหือ พบว่าลักษณะปริมาณการดูดซึมความชื้นจะแปรผกผันกับระยะเวลา กล่าวคือการดูดซึมน้ำในช่วงเวลาดันจะมีอัตราการดูดซึมน้ำในปริมาณมากและการดูดซึมจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึงจุดช่วงเวลาอิ่มตัวจะไม่ดูดซึมน้ำอีกต่อไป จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด ผลปรากฏว่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีค่าการดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 12.304 อัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ร้อยละ 29.74 และอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ร้อยละ 62.56 ทำให้สรุปได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลดีในการนำคอนกรีตบล็อกไปใช้งานวัสดุประกอบอาคารโดยจะทำให้ค่าการนำความร้อน (k) ลดลงตามไปด้วย

1. ทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่างๆ

ทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่างๆ โดยทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองไว้เป็น 2 กรณีศึกษาคือในสภาวะปกติและสภาวะที่มีความชื้นเกิดขึ้น เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดความร้อนและคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัยและคอนกรีตบล็อกที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

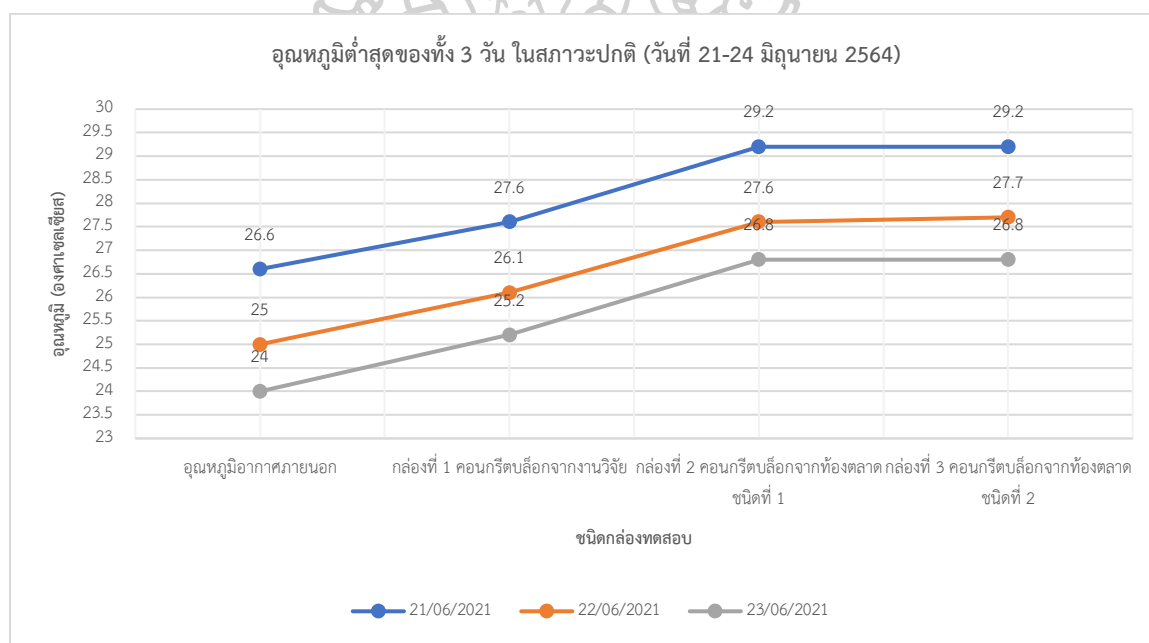
กรณีที่ 1 (ในสภาวะปกติ) ทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองขนาด $0.80 \times 0.8 \times 0.8$ ม. ซึ่งผนังขนาด 0.80×0.8 ม. เหมาะสมกับจำนวนคอนกรีตบล็อกขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. ที่นำมาก่อผนังจำนวน 8 ก้อน โดยวางซ้อนกัน 4 ชั้นจำนวน 2 แถว ฝาเรียบหนา 1.5 ซม. ซึ่งจำนวนกล่องผนังทดลองต้นแบบจะมีอยู่ 3 กล่อง โดยกล่องที่ 1 ผนังทางทิศใต้ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย สูตร C3 กล่องที่ 2 ผนังทางทิศใต้ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 กล่องที่ 3 ผนังทางทิศใต้ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 3 กำหนดจุดติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM 1365 ไว้บริเวณภายในกลางกล่องทดสอบทั้ง 3 กล่องและทำการติดตั้งนอกกล่องทดสอบอีกจำนวน 1 ชุด เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกกล่องทดสอบทุกๆ 5 นาที ทำการทดลองและเก็บข้อมูลวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564



รูปที่ 220 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิสูงสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-23 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 220 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และอุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

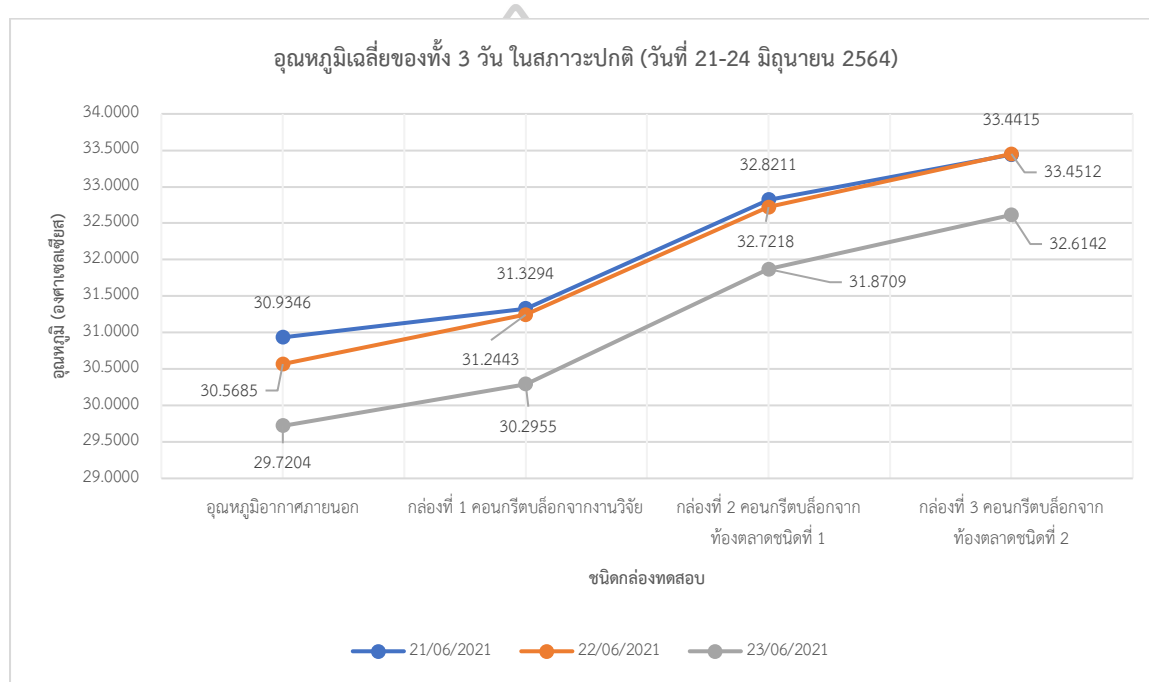
จากรูปที่ 220 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลาวันที่ 21 - 24 มิถุนายน 2564 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 37.5 °C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยอยู่ที่ 37.3 °C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 38.6 °C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 40.2 °C แสดงว่าอุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 1.3 °C และ 2.9 °C ตามลำดับ และมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ที่ 0.2 °C



รูปที่ 221 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิต่ำสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-23 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 221 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิต่ำสุดในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และอุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

จากรูปที่ 221 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 24 °C อุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 25.2 °C อุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 26.8 °C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 26.8 °C แสดงว่าอุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย ต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 1.6 °C ทั้ง 2 กล่อง และมีอุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ที่ 1.2 °C



รูปที่ 222 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

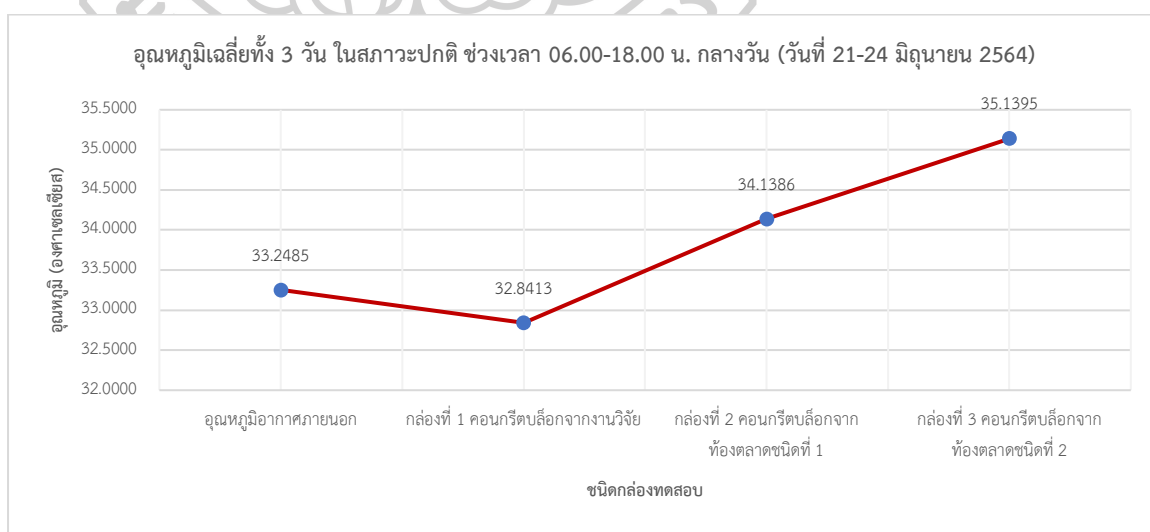
รูปที่ 222 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และอุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

จากรูปที่ 222 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 พบว่า

ในวันที่ 21 มิถุนายน 2564 อุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 31.3294 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 32.8211 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 33.4512 °C อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 30.9346 °C แสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 1.4917 °C และ 2.1218 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอากาศภายนอกอยู่ที่ 0.3948 °C

ในวันที่ 22 มิถุนายน 2564 อุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 31.24429 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 32.7218 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 33.4415 °C อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 30.5685 °C แสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 1.4775 °C และ 2.1972 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอากาศภายนอกอยู่ที่ 0.6758 °C

ในวันที่ 23 มิถุนายน 2564 อุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 30.2955 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 31.8709 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 32.6142 °C อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 29.7204 °C แสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 1.5754 °C และ 2.3187 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอากาศภายนอกอยู่ที่ 0.5751 °C

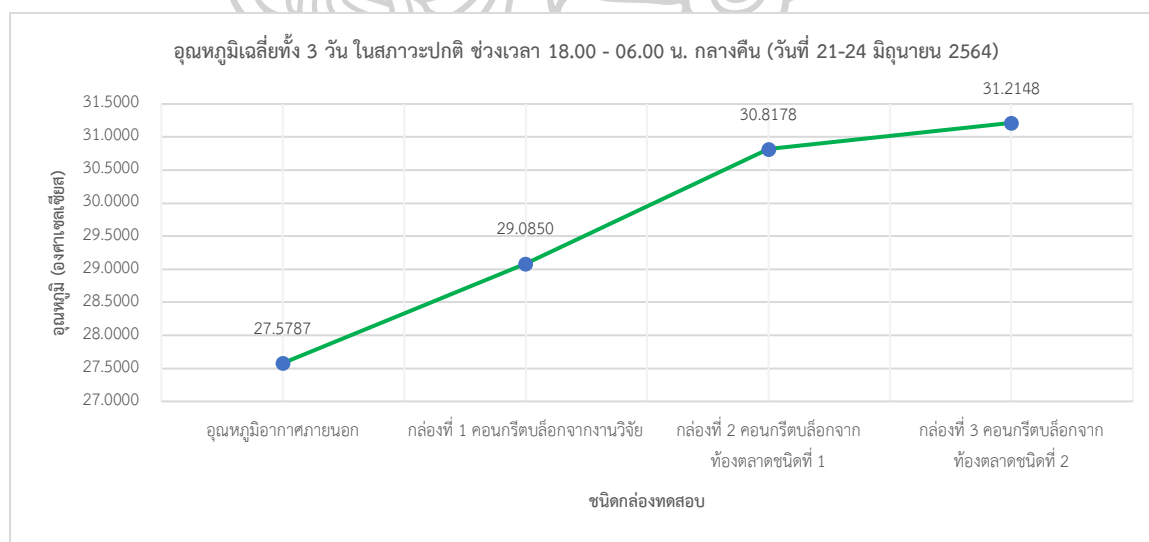


รูปที่ 223 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. กลางวัน (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 223 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. กลางวัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และ อุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

ช่วงเวลากลางวัน

จากรูปที่ 223 อุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. กลางวัน พบว่ากล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 2 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องทดสอบที่ 3 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 โดยอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วันของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 อยู่ที่ 32.8413 °C และอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 34.1386 °C และ 35.1395 °C อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 33.2485 °C ซึ่งของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยน้อยกว่าอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 1.2973 °C และ 2.2982 °C ตามลำดับ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องที่ 1 ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 0.4072 °C

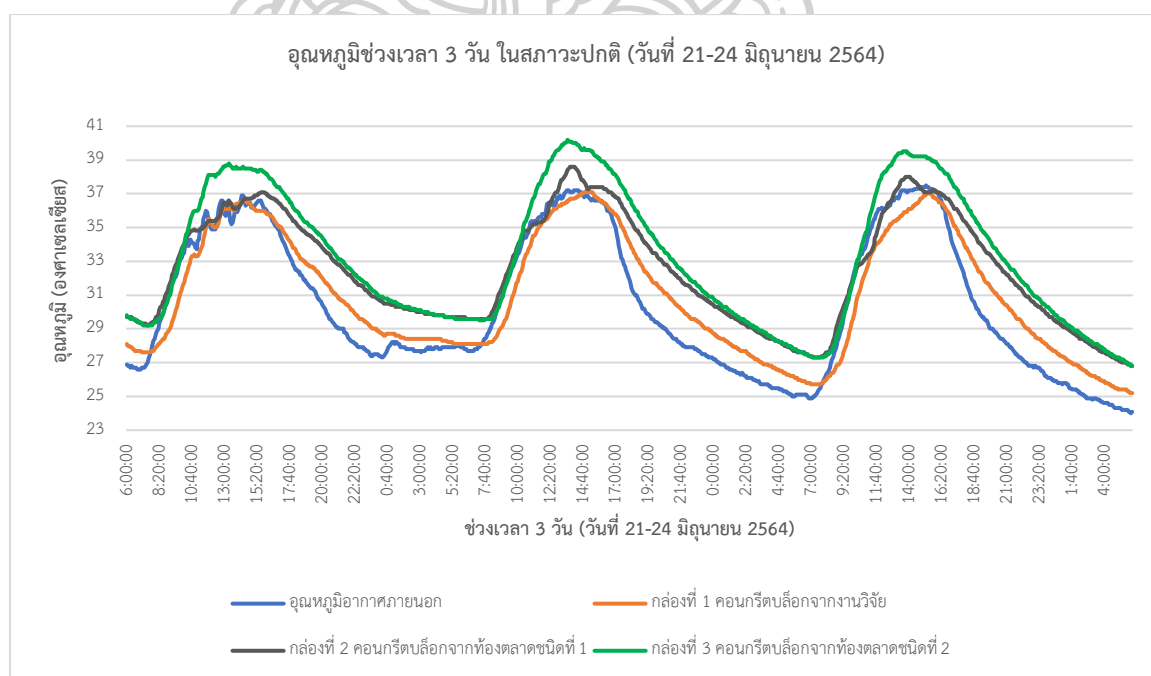


รูปที่ 224 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ ช่วงเวลา 18.00 - 06.00 น. กลางคืน (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 224 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. กลางคืน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และ อุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

ช่วงเวลากลางคืน

จากรูปที่ 224 อุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. กลางคืน พบว่ากล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 2 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องทดสอบที่ 3 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 โดยอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วันของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 อยู่ที่ 29.0850 °C และอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 30.8178 °C และ 31.2148 °C อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 27.5787 °C ซึ่งของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยน้อยกว่าอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 1.7328 °C และ 2.1298 °C ตามลำดับ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องที่ 1 สูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5063 °C

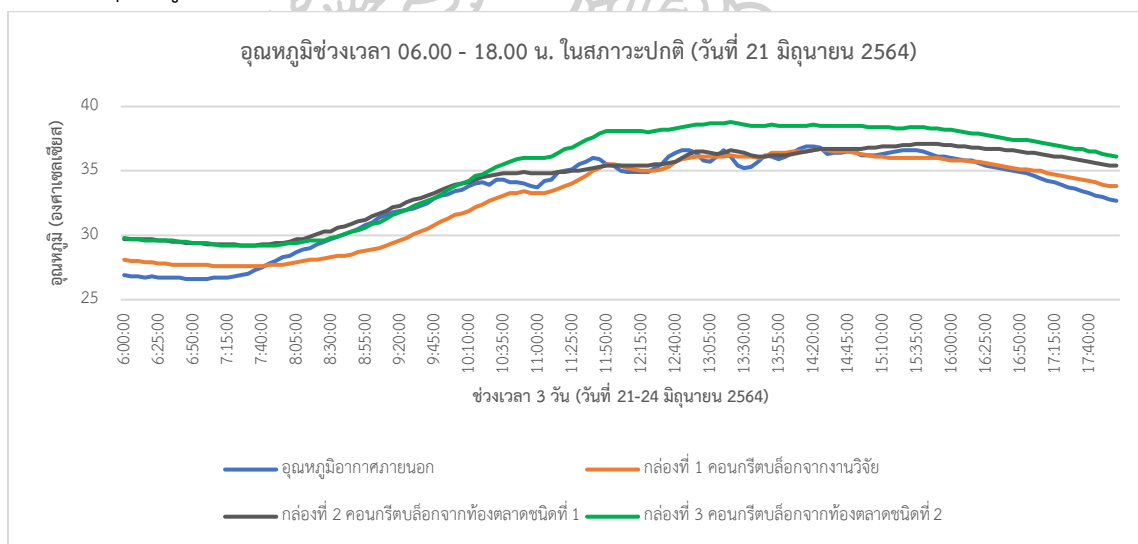


รูปที่ 225 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 225 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

จากรูปที่ 225 เป็นการวิเคราะห์อุณหภูมิในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 พบว่าทั้ง 3 กล่องมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่กล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 40.2 °C ถัดมาเป็นอุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 38.6 °C และน้อยสุดคืออุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 36.9 °C ในช่วงเวลา 13.00 -15.00 น. ส่วนกล่องที่มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดอยู่ที่กล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยโดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 25.2 °C ถัดมาเป็นกล่องทดสอบที่ 2 และกล่องทดสอบที่ 3 ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากันอยู่ที่ 26.8 °C ในช่วงเวลา 03.00 – 05.00 น. และกล่องที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดคือกล่องที่ 3 อยู่ที่ 33.54121 °C ถัดมาคือกล่องที่ 2 อยู่ที่ 32.8211 °C ส่วนกล่องที่ 1 อยู่ที่ 31.32941 °C ทำให้สรุปได้ว่ากล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 2 และ กล่องทดสอบที่ 3

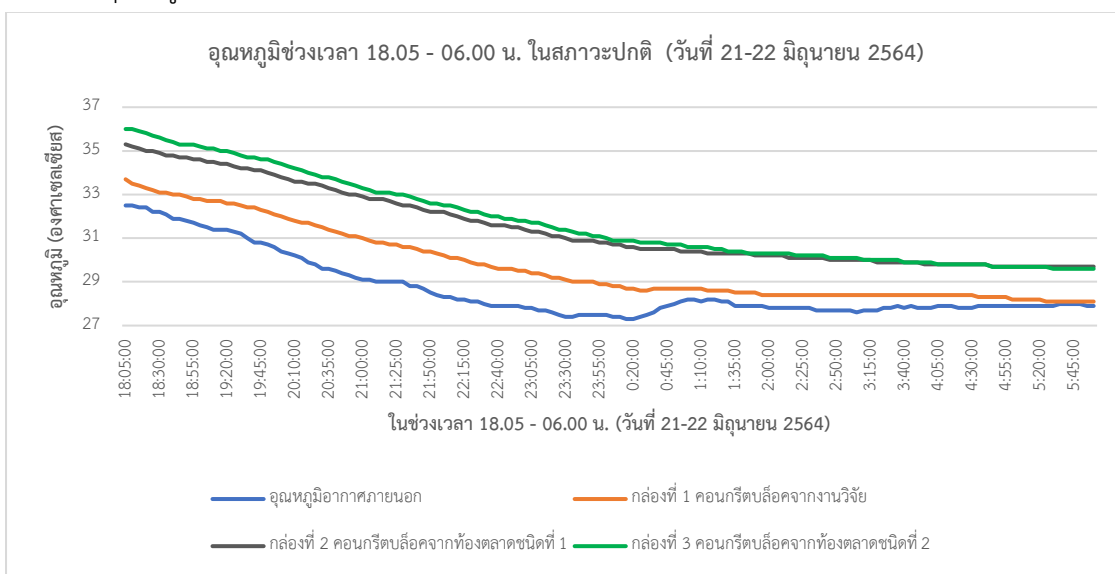
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 226 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 21 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 226 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 21 มิถุนายน 2564 เวลา 06.00–18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

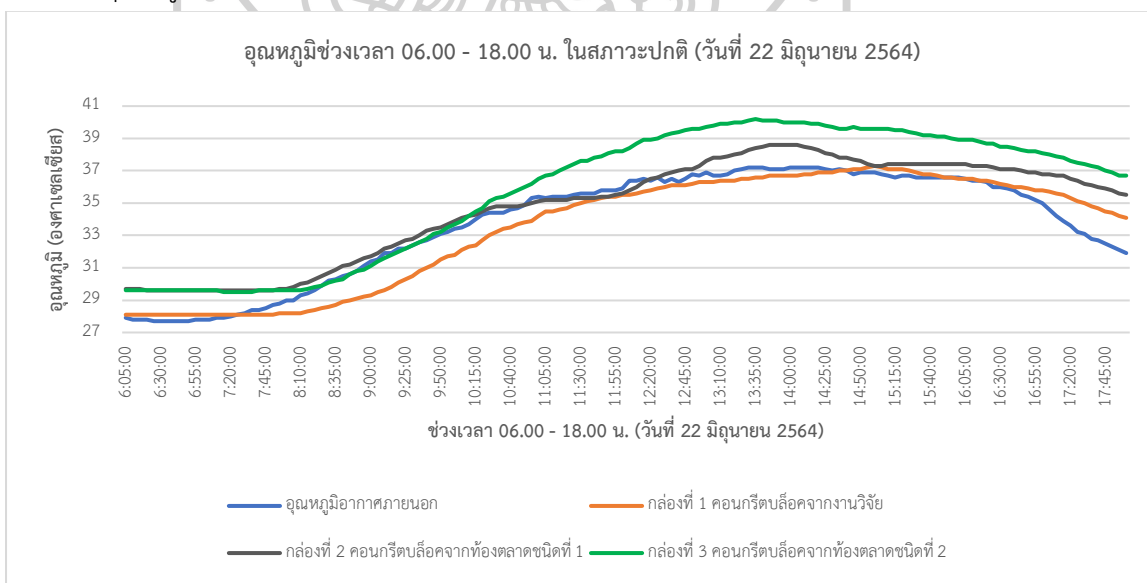
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 227 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-22 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 227 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่อง ทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 21 - 22 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 - 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีตีสனிห อากาศค่อนข้างร้อน

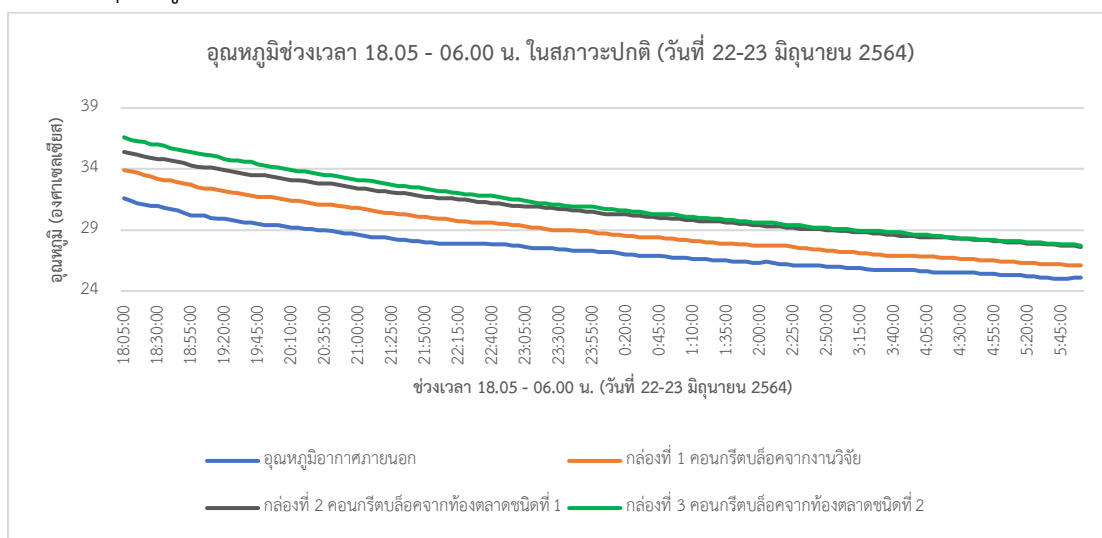
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 228 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 22 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 228 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กลุ่มทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 22 มิถุนายน 2564 เวลา 06.00–18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

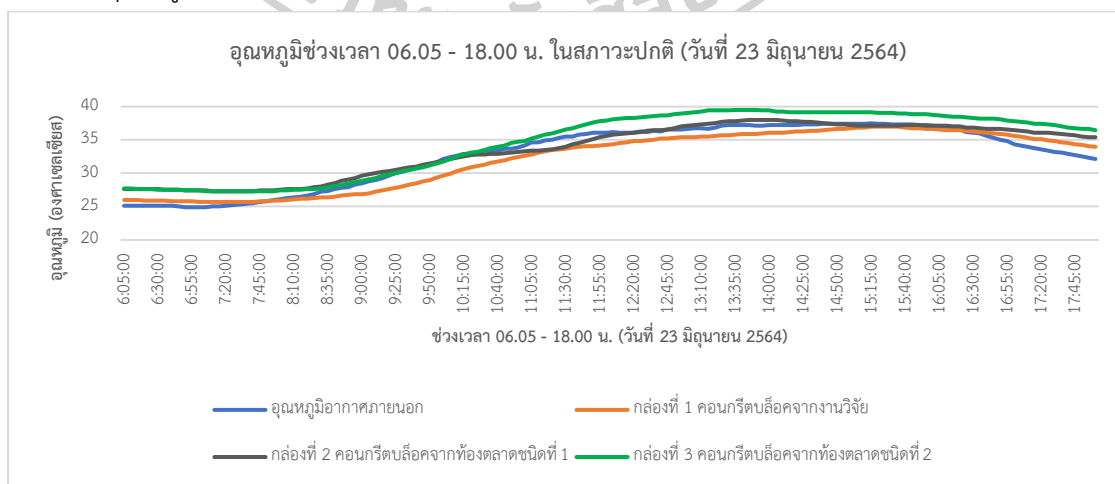
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 229 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 22-23 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 229 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กลุ่มทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 22 - 23 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 - 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีดสนิท อากาศค่อนข้างร้อน

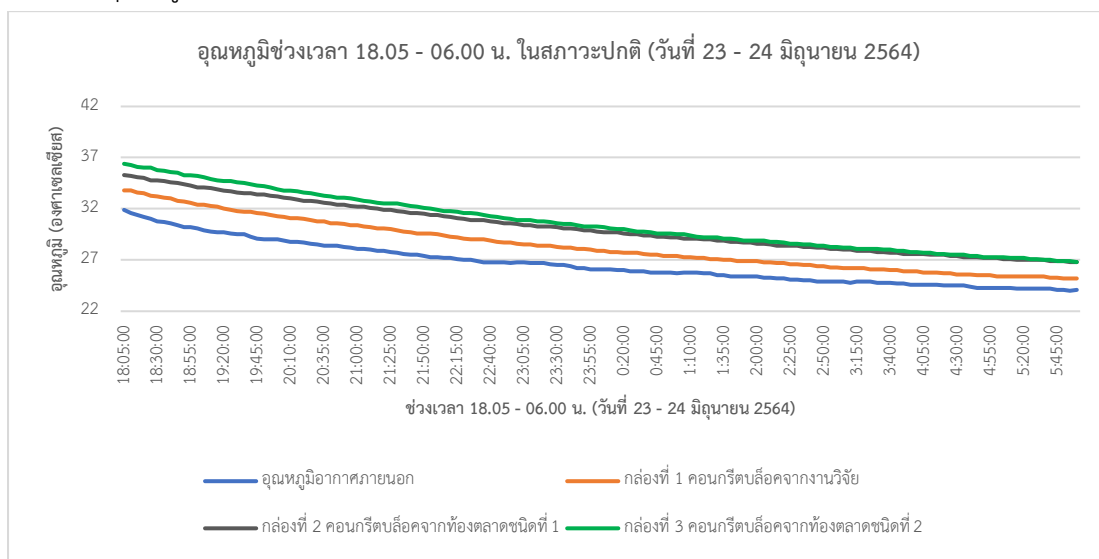
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 230 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 23 มิถุนายน 2564)

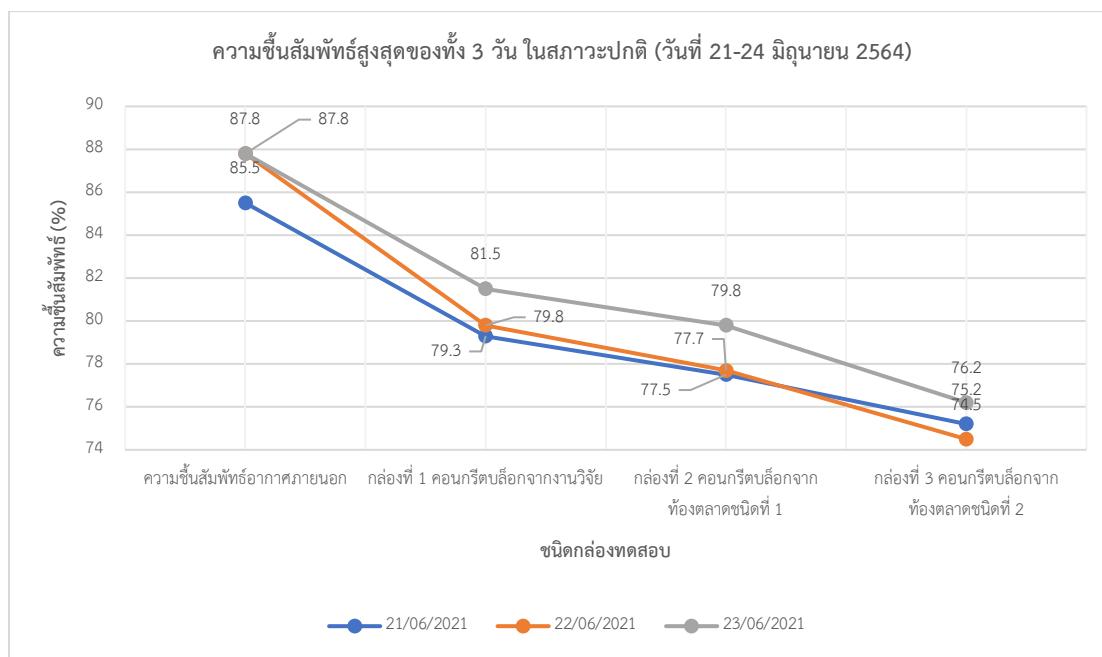
รูปที่ 230 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่อง ทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 23 มิถุนายน 2564 เวลา 06.05–18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 231 อุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (วันที่ 23 - 24 มิถุนายน 2564)

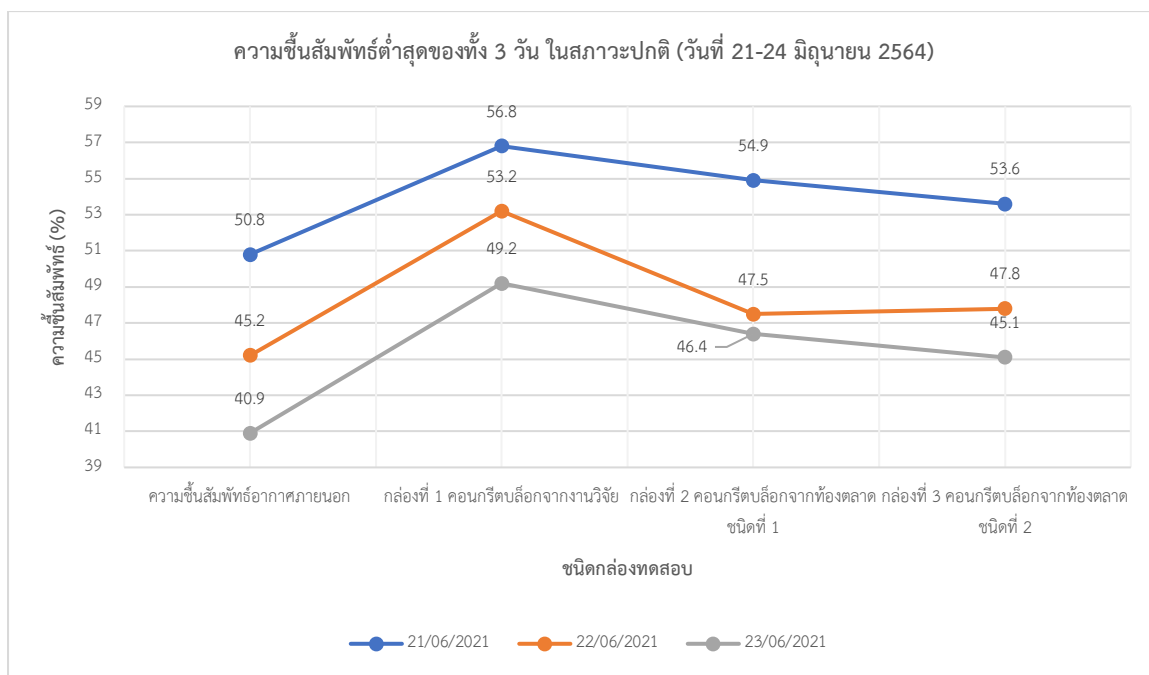
รูปที่ 231 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่อง ทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 23 - 24 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 - 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก อากาศค่อนข้างร้อน



รูปที่ 232 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 232 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล้องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล้องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

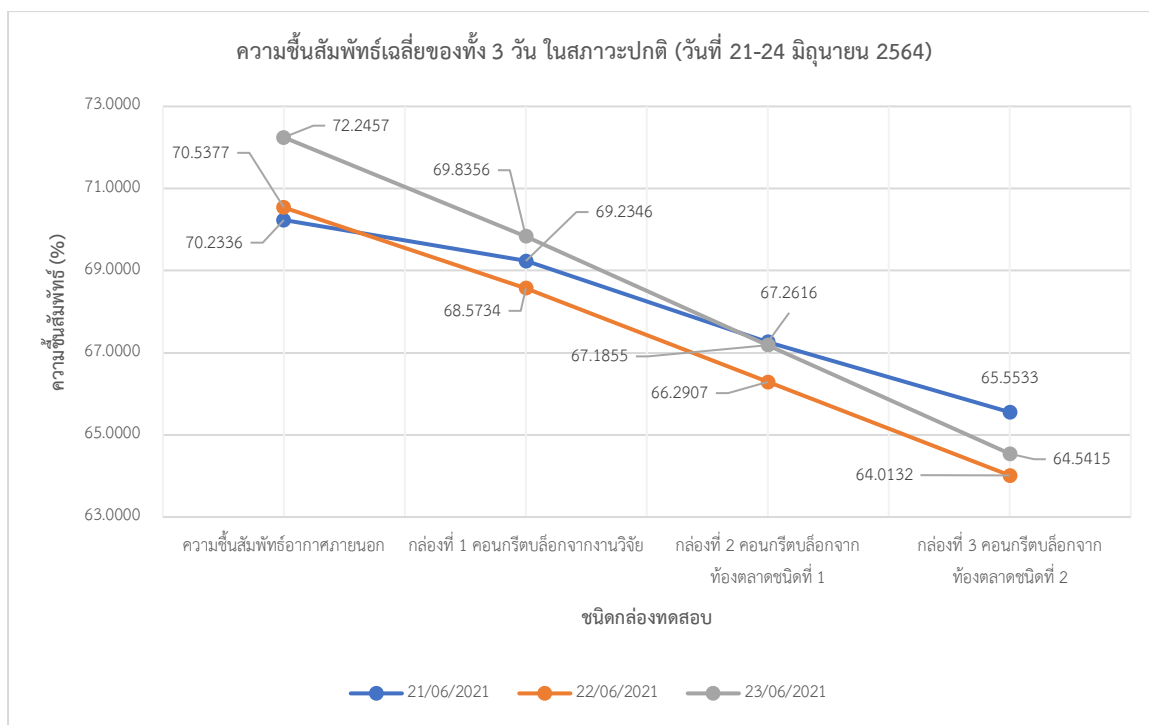
จากรูปที่ 232 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 87.8 % ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 81.5 % ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล้องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 79.8 % ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล้องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 76.2 % แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล้องที่ 2 และกล้องที่ 3 อยู่ที่ 6.3 % และ 11.6 % ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดอากาศภายนอกอยู่ที่ 6.3 %



รูปที่ 233 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 233 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุด ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาด ชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

จากรูปที่ 233 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 40.9 % ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 49.2 % ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 46.4 % ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 45.1 % แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 2.8 % และ 4.1 % ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดอากาศภายนอกอยู่ที่ 8.3 %



รูปที่ 234 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 234 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

จากรูปที่ 234 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 พบว่า

ในวันที่ 21 มิถุนายน 2564 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 69.2346 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 67.2616 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 65.5533 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 70.2336 % แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 1.9730 % และ 3.6813 % และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกอยู่ที่ 0.999 %

ในวันที่ 22 มิถุนายน 2564 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 68.5734 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 66.2907 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 64.0132 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 70.5377 % แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 2.2827 % และ 4.5602 % และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกอยู่ที่ 1.9643 %

ในวันที่ 23 มิถุนายน 2564 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 69.8356 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 67.1855 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 64.5415 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 72.2457 % แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 2.6501 % และ 5.2941 % และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกอยู่ที่ 2.4101 %

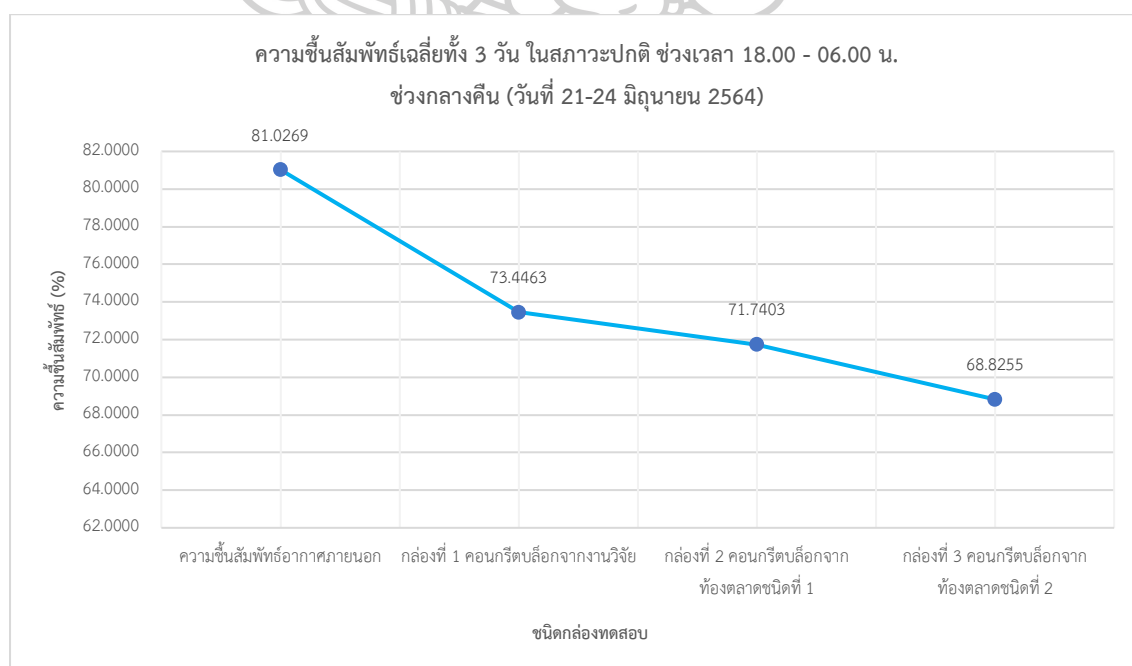


รูปที่ 235 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ ช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ช่วงกลางวัน (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 235 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. กลางวัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

ช่วงเวลากลางวัน

จากรูปที่ 235 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. กลางวัน พบว่า กล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยสูงกว่ากล่องทดสอบที่ 2 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องทดสอบที่ 3 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 โดยความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วันของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 อยู่ที่ 64.9538% และความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 62.0531 % และ 60.5490% ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 60.9499% ซึ่งกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 2.9007% และ 4.4048% ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยภายในกล่องที่ 1 สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 4.0039%



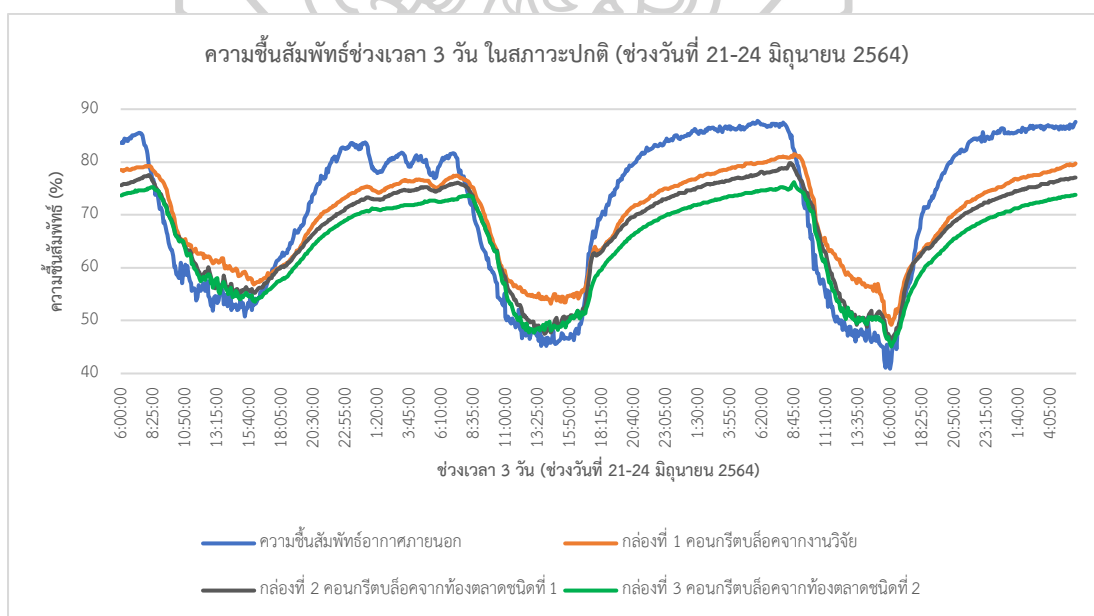
รูปที่ 236 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติ ช่วงเวลา 18.00 - 06.00 น. ช่วงกลางคืน (วันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 236 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. กลางคืน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

ช่วงเวลากลางคืน

จากรูปที่ 236 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะปกติช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. กลางคืน พบว่า กล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยสูงกว่ากล่องทดสอบที่ 2 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องทดสอบที่ 3 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 โดยความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วันของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 อยู่ที่ 73.4463% และความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 71.7403% และ 68.8255% ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 81.0269% ซึ่งของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 1.706% และ 4.6208% ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยภายในกล่องที่ 1 ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 7.5806%

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ

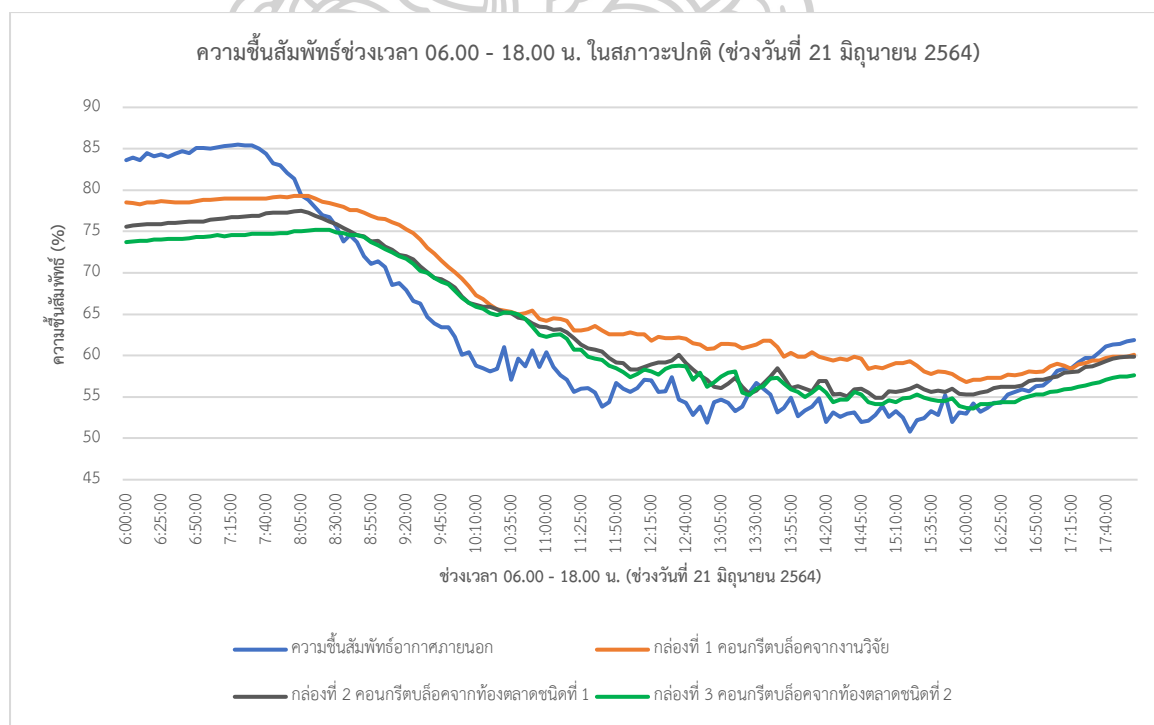


รูปที่ 237 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 3 วัน ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 21-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 237 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

จากรูปที่ 237 เป็นการวิเคราะห์ความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะปกติทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลาวันที่ 21 – 24 มิถุนายน 2564 พบว่าทั้ง 3 กล่องมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่กล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย อยู่ที่ 81.5% ถัดมาเป็นความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 79.8% และน้อยสุดคือความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 76.2% ในช่วงเวลา 07.00 -09.00 น. ส่วนกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องต่ำสุดอยู่ที่กล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกท้องตลาดชนิดที่ 2 โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 45.1% ถัดมาเป็นกล่องทดสอบที่ 2 และกล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 46.4 % และ 49.2% ในช่วงเวลา 14.00 – 16.00 น. และกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดคือกล่องที่ 1 อยู่ที่ 89.6356% ถัดมาคือกล่องที่ 2 อยู่ที่ 67.2616% ส่วนกล่องที่ 3 อยู่ที่ 65.5533% ทำให้สรุปได้ว่ากล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่ากล่องทดสอบที่ 2 และ กล่องทดสอบที่ 3

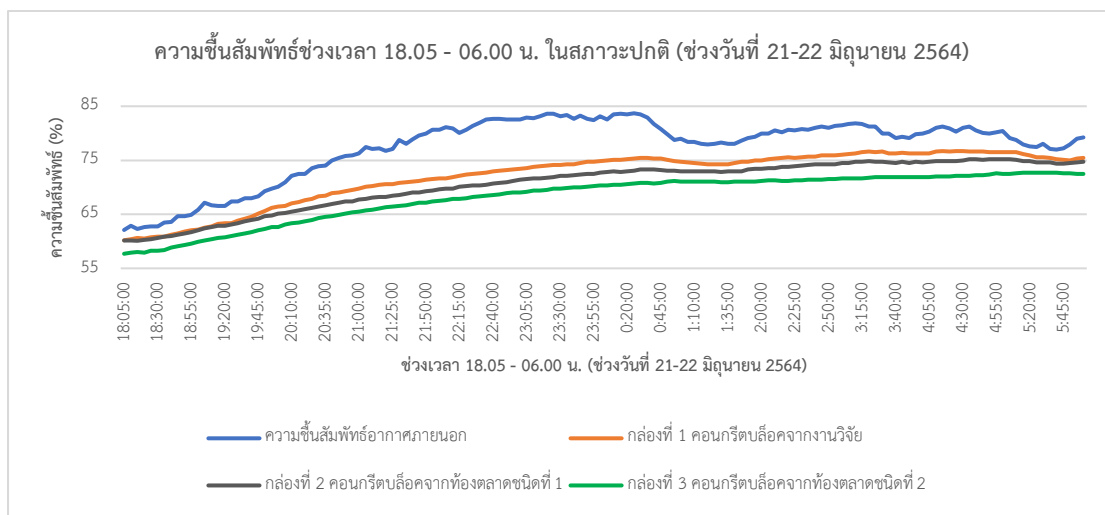
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 238 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 21 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 238 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 21 มิถุนายน 2564 เวลา 06.00 – 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

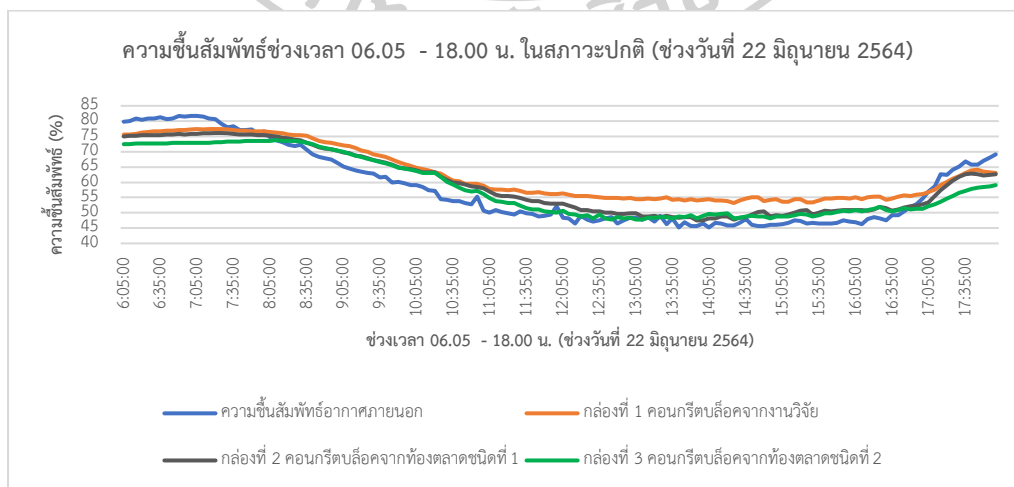
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 239 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 21-22 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 239 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 21 - 22 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 – 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อย อากาศค่อนข้างร้อน

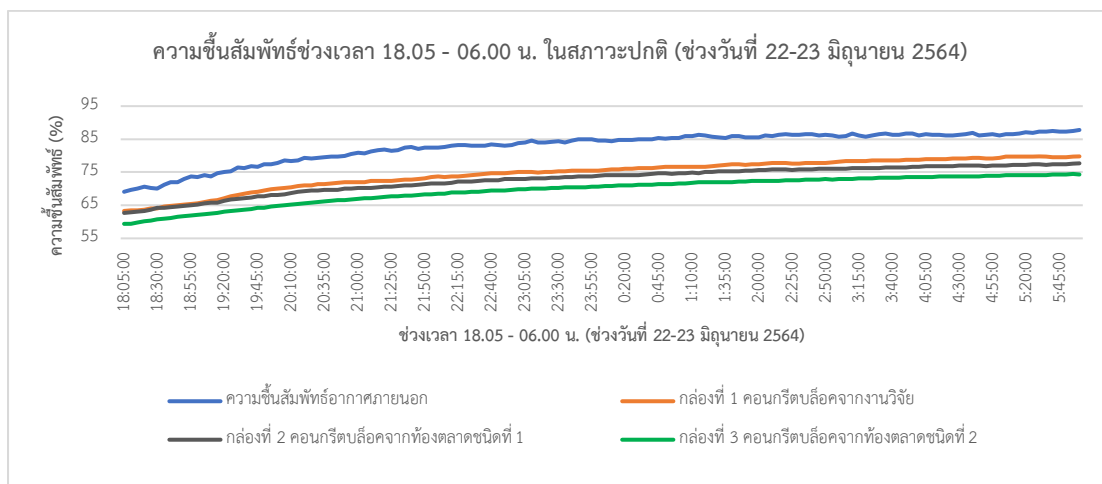
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 240 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 22 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 240 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 22 มิถุนายน 2564 เวลา 06.05 – 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

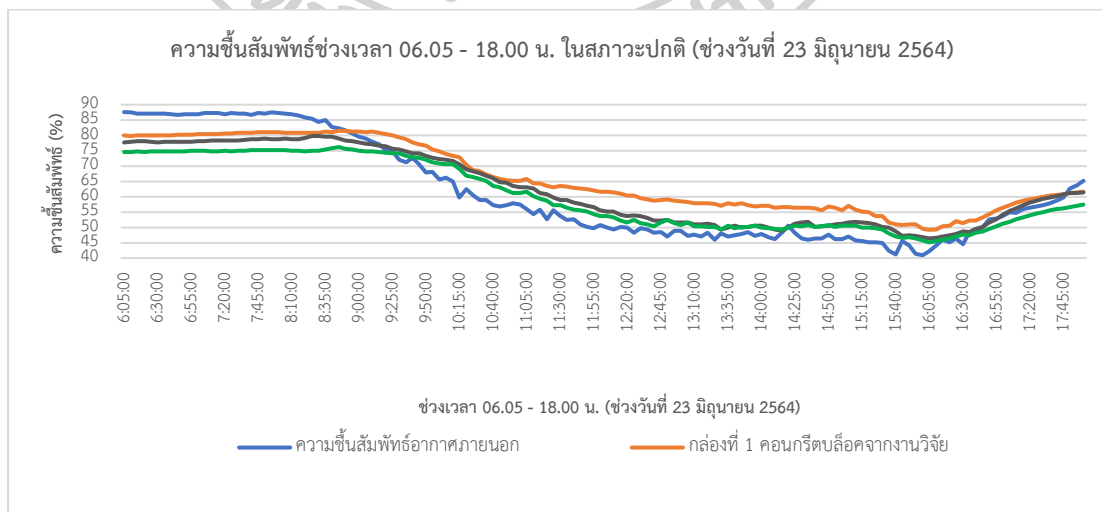
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 241 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 22-23 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 241 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 22 - 23 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 – 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีเมฆสนิม อากาศค่อนข้างร้อน

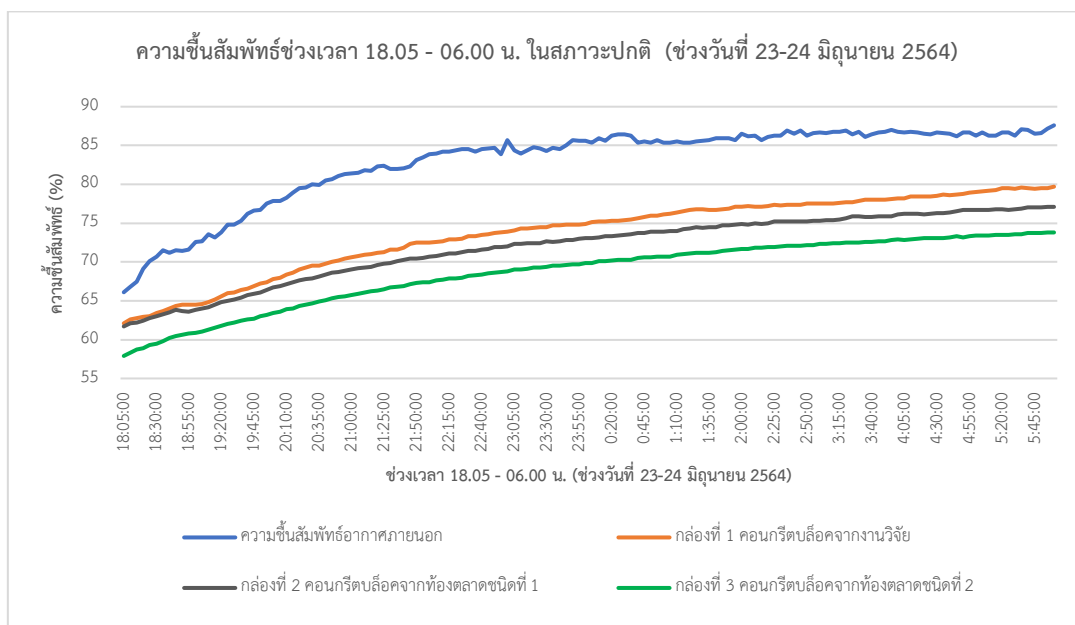
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 242 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 23 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 242 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 23 มิถุนายน 2564 เวลา 06.00 – 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

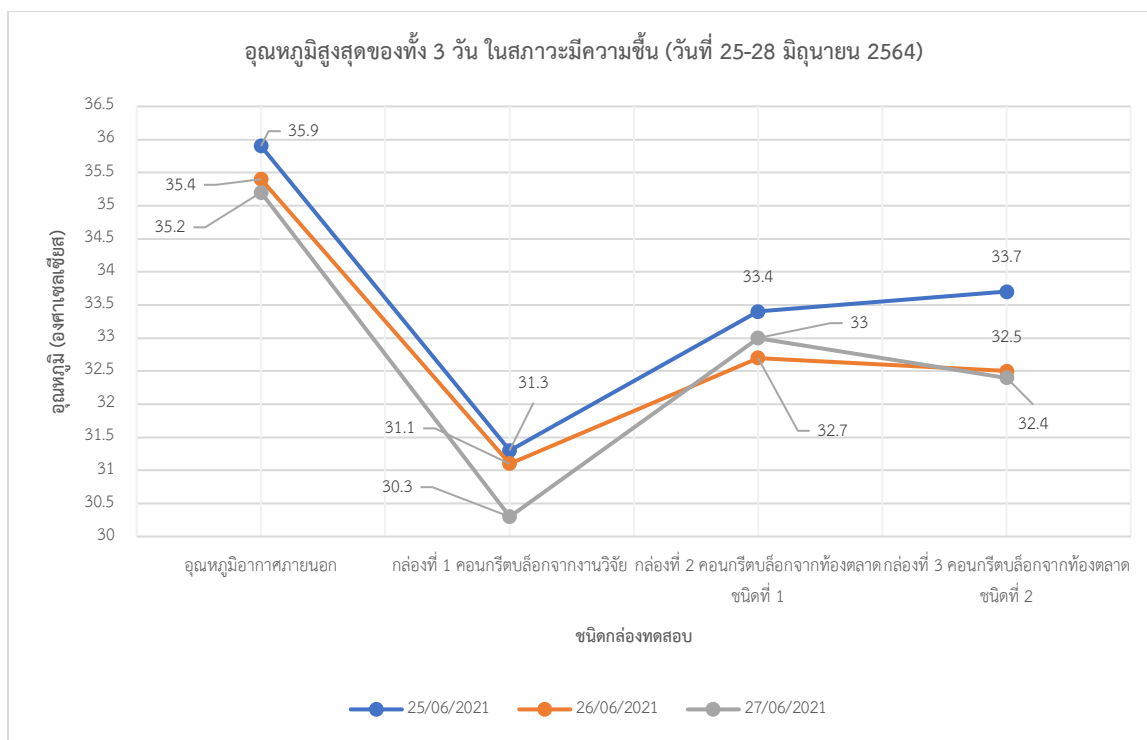
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะปกติ



รูปที่ 243 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะปกติ (ช่วงวันที่ 23-24 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 243 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะปกติทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 23 - 24 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 – 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก อากาศค่อนข้างร้อน

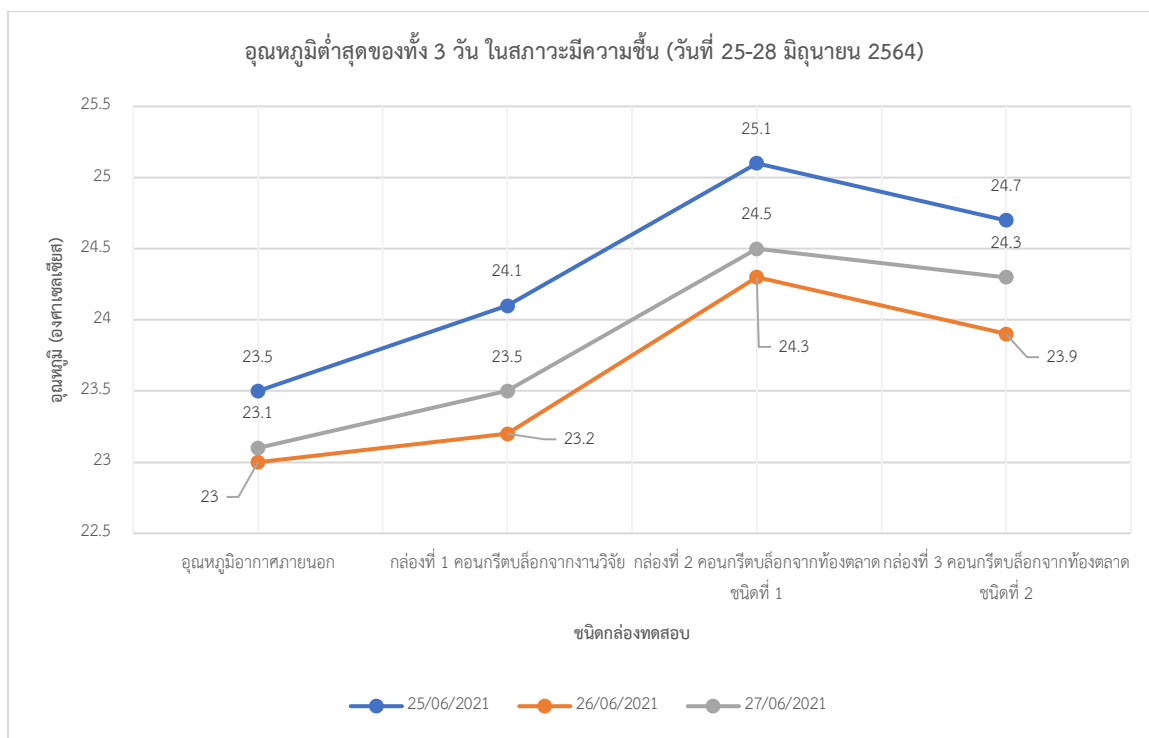
กรณีที่ 2 (ในสภาวะที่ความชื้นเกิดขึ้น) ทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองขนาด $0.80 \times 0.8 \times 0.8$ ม. ซึ่งผนังขนาด 0.80×0.8 ม. เหมาะสมกับจำนวนคอนกรีตบล็อกขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. ที่นำมาก่อผนังจำนวน 8 ก้อน โดยวางซ้อนกัน 4 ชั้นจำนวน 2 แถว ฉาบเรียบหนา 1.5 ซม. ซึ่งจำนวนกล่องผนังทดลองต้นแบบจะมีอยู่ 3กล่อง คือ คอนกรีตบล็อกแบบที่ 1 คอนกรีตบล็อกแบบที่ 2 และคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัย ทำการติดตั้งระบบฉีดน้ำแบบ Spray ที่มีระบบตั้งเวลาเปิด-ปิด ห่างจากผนังคอนกรีตบล็อก 1 ฟุต จำนวน 5 หัวฉีด บริเวณด้านบนซ้าย-ขวา ด้านล่างซ้าย-ขวา และตรงกลาง โดยหัวฉีดจะทำการปล่อยน้ำตลอดเวลา 24 ชั่วโมง เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกกล่องทดสอบทุกๆ 5 นาที ทำการทดลองและเก็บข้อมูลวันที่ 25 - 28 มิถุนายน 2564



รูปที่ 244 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิสูงสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 244 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุด ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และอุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

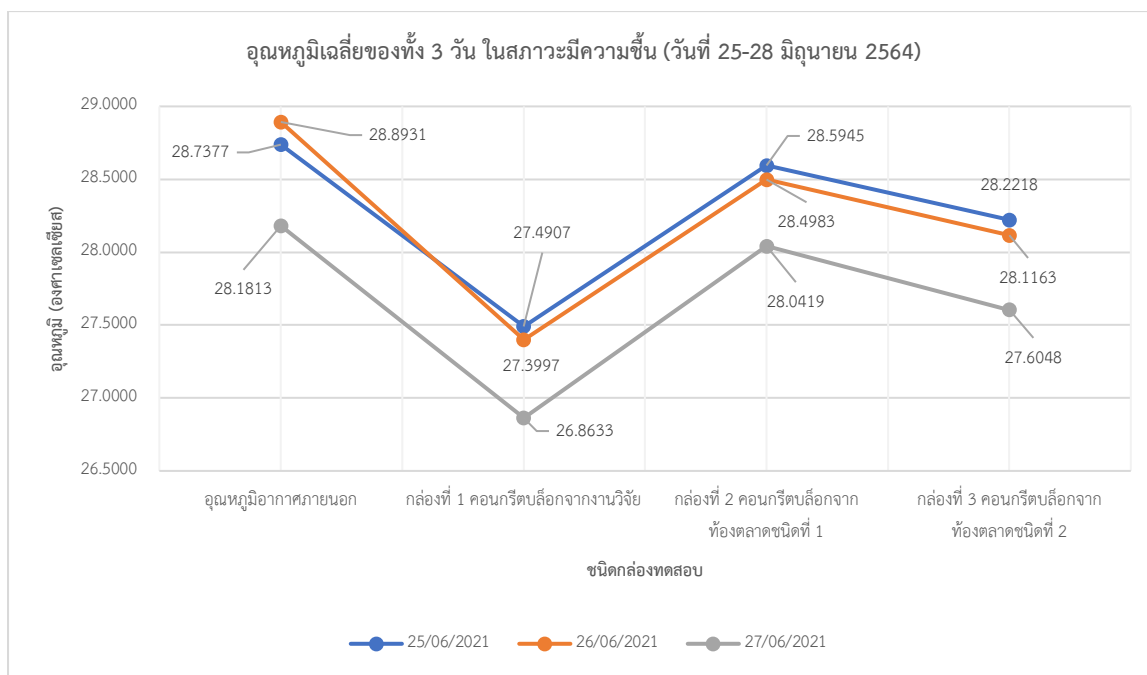
จากรูปที่ 244 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลาวันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 35.9°C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 31.3°C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 33.4°C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 33.7°C แสดงว่าอุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 2.1°C และ 2.4°C ตามลำดับ และมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ที่ 4.6°C



รูปที่ 245 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิต่ำสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 245 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิต่ำสุดในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุด ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และอุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

จากรูปที่ 245 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลาวันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 24 °C อุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 23.2 °C อุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 24.3 °C อุณหภูมิสูงสุดในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 23.9 °C แสดงว่าอุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย ต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดในกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 1.1 °C และ 0.7 1.1 °C ตามลำดับและมีอุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ที่ 0.2 °C



รูปที่ 246 แผนภูมิที่แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 246 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุด ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล้องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และอุณหภูมิในกล้องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

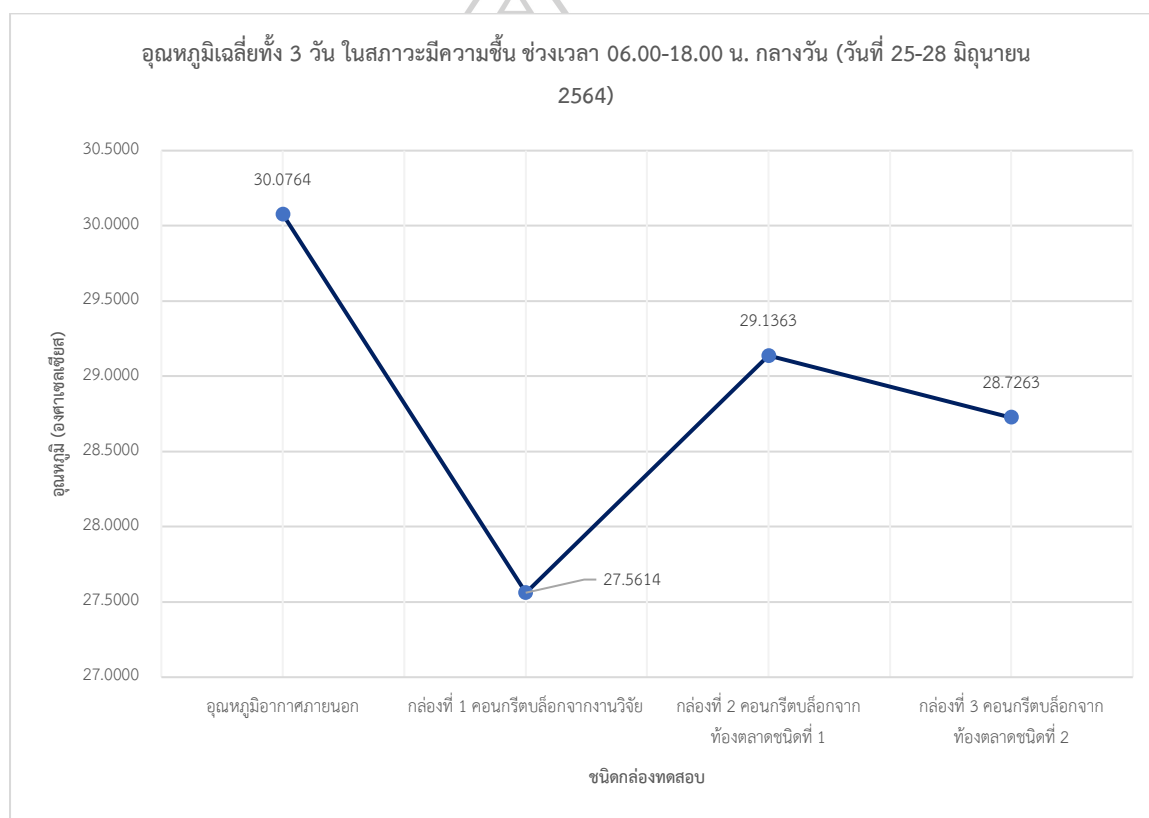
จากรูปที่ 246 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลาวันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 พบว่า

ในวันที่ 25 มิถุนายน 2564 อุณหภูมิเฉลี่ยของกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 27.4907 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล้องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 28.5945 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล้องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 28.2218 °C อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 28.7377 °C แสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล้องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 1.1038 °C และ 0.7311 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าอากาศภายนอกอยู่ที่ 1.247 °C

ในวันที่ 26 มิถุนายน 2564 อุณหภูมิเฉลี่ยของกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 27.3997 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล้องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 28.4983 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล้องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 28.1163 °C อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 28.8931 °C แสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย

ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 1.0986 °C และ 0.7166 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าอากาศภายนอกอยู่ที่ 1.4934 °C

ในวันที่ 27 มิถุนายน 2564 อุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 26.8633 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 28.0419 °C อุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 27.6048 °C อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 28.1813 °C แสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 1.1786 °C และ 0.7415 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าอากาศภายนอกอยู่ที่ 1.318 °C

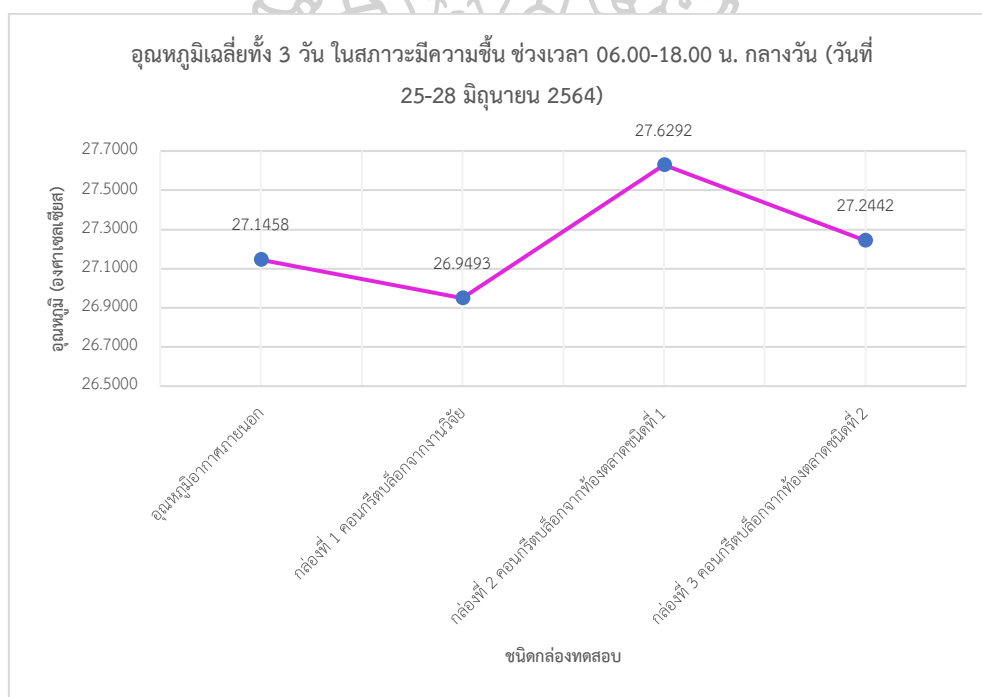


รูปที่ 247 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. กลางวัน (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 247 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. กลางวัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และ อุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

ช่วงเวลากลางวัน

จากรูปที่ 247 อุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. กลางวัน พบว่ากล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 2 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องทดสอบที่ 3 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 โดยอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วันของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 อยู่ที่ 27.5614 °C และอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 29.1363 °C และ 28.7263 °C อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 30.0764 °C ซึ่งของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยน้อยกว่าอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 1.5749 °C และ 1.1649 °C ตามลำดับ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องที่ 1 ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 2.515 °C



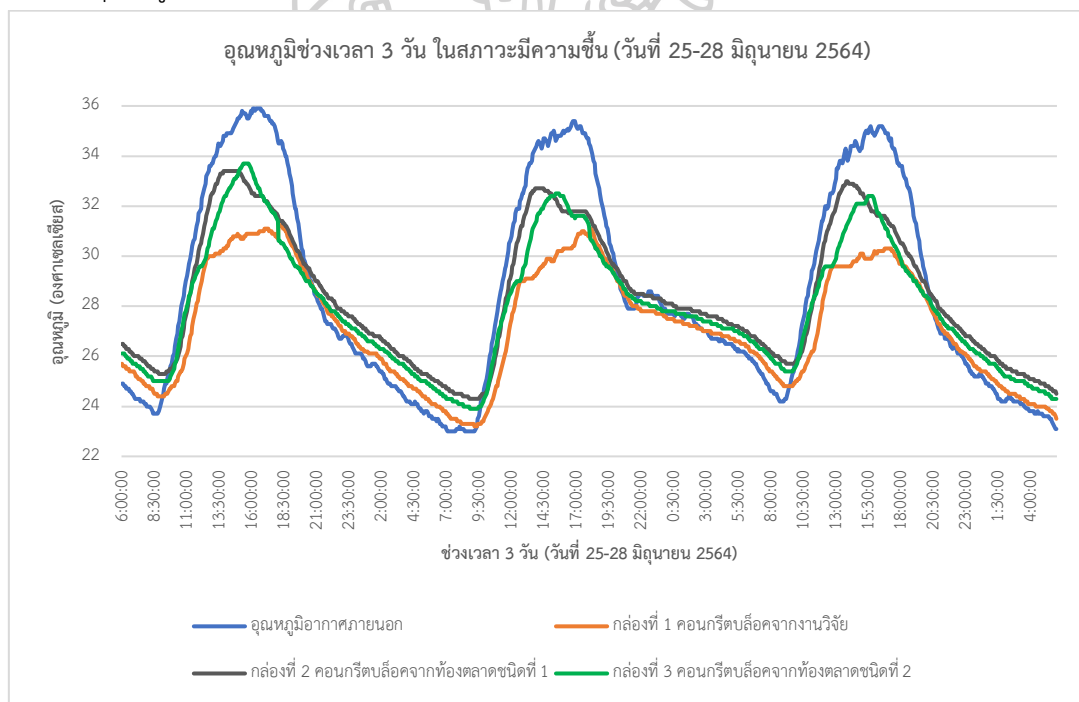
รูปที่ 248 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. กลางวัน (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 248 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. กลางคืน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และอุณหภูมิในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

ช่วงเวลากลางคืน

จากรูปที่ 248 อุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. กลางคืน พบว่ากล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 2 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องทดสอบที่ 3 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 โดยอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วันของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 อยู่ที่ 26.9463°C และอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 27.6292°C และ 27.2442°C อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 27.1458°C ซึ่งของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยน้อยกว่าอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 0.6749°C และ 0.2949°C ตามลำดับ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องที่ 1 ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 0.1965°C

อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น

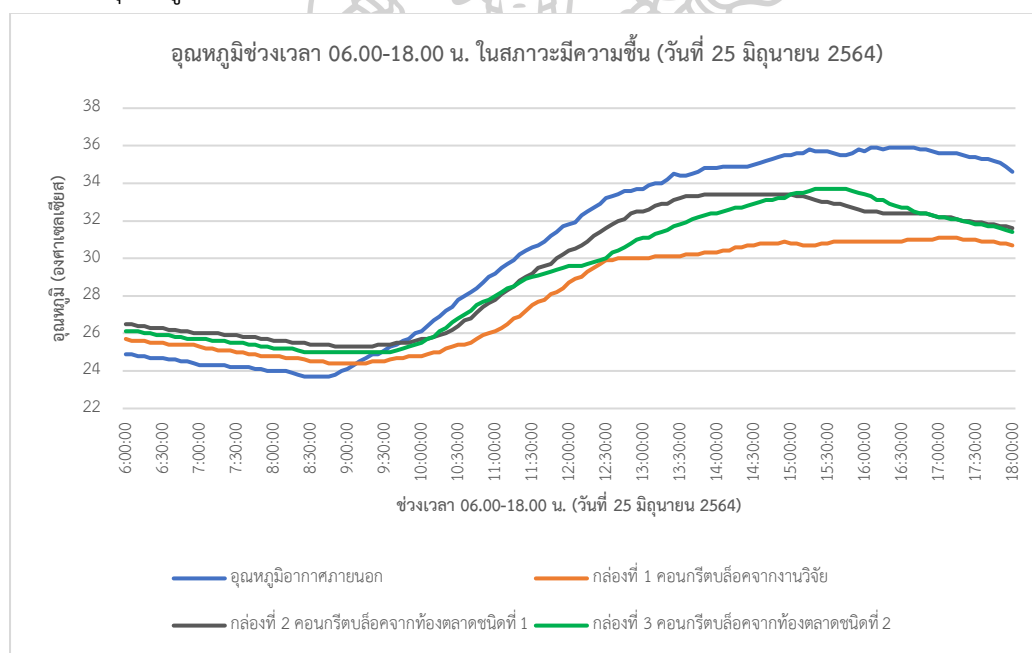


รูปที่ 249 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 249 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

จากรูปที่ 249 เป็นการวิเคราะห์อุณหภูมิในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลาวันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 พบว่าทั้ง 3 กล่องมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่กล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 33.7 °C ถัดมาเป็นอุณหภูมิในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 33.4 °C และน้อยสุดคืออุณหภูมิในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 31.3 °C ในช่วงเวลา 15.00 -17.00 น. ส่วนกล่องที่มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดอยู่ที่กล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยโดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 23.2 °C ถัดมาเป็นกล่องทดสอบที่ 3 และกล่องทดสอบที่ 2 ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 24.3 °C และ 23.9 °C ตามลำดับ ในช่วงเวลา 07.00 – 09.00 น. และกล่องที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดคือกล่องที่ 2 อยู่ที่ 28.5945 °C ถัดมาคือกล่องที่ 3 อยู่ที่ 28.2218 °C ส่วนกล่องที่ 1 อยู่ที่ 27.4907 °C ทำให้สรุปได้ว่ากล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 2 และ กล่องทดสอบที่ 3

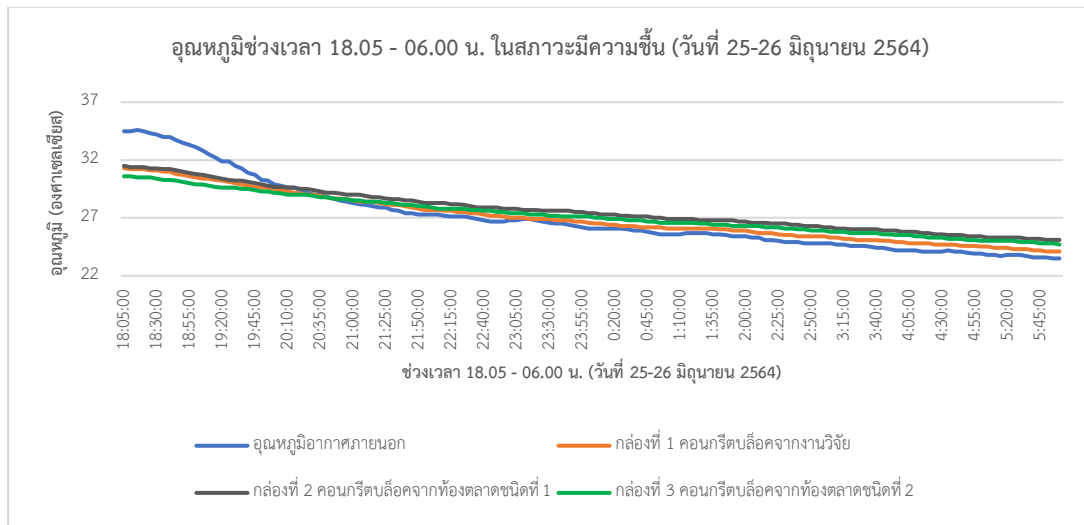
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 250 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.00-18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 250 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 25 มิถุนายน 2564 เวลา 06.00 – 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

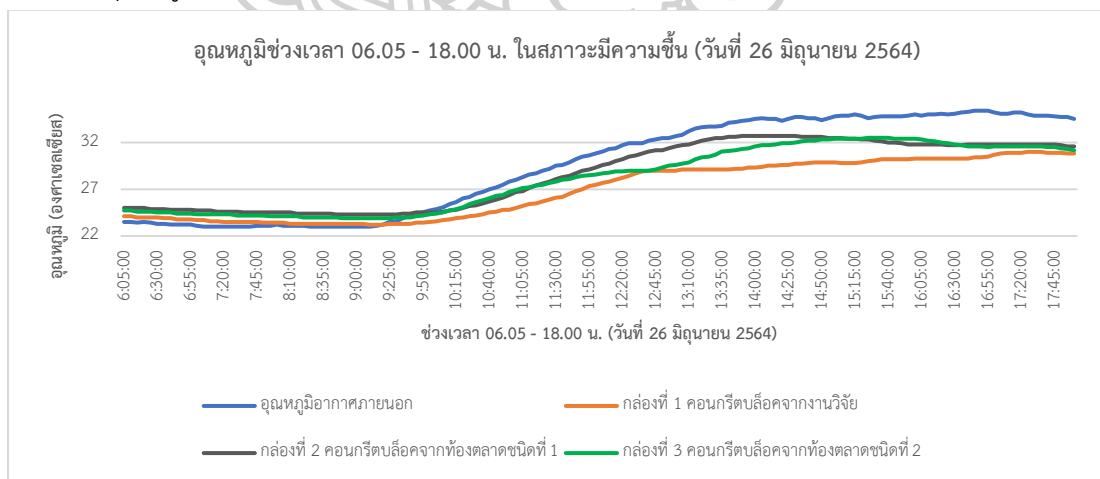
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 251 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-26 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 251 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 25 - 26 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 - 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีดสนิท อากาศค่อนข้างร้อน

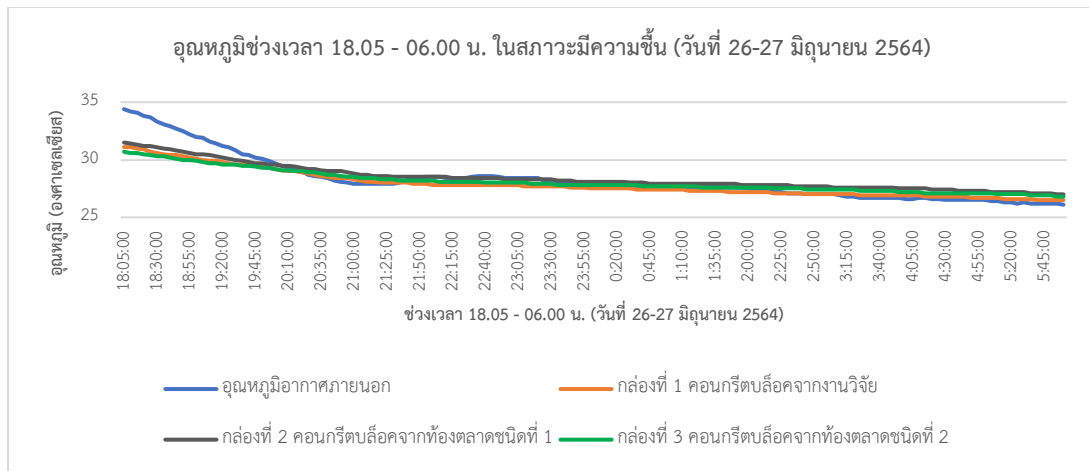
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 252 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 26 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 252 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 26 มิถุนายน 2564 เวลา 06.00 - 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

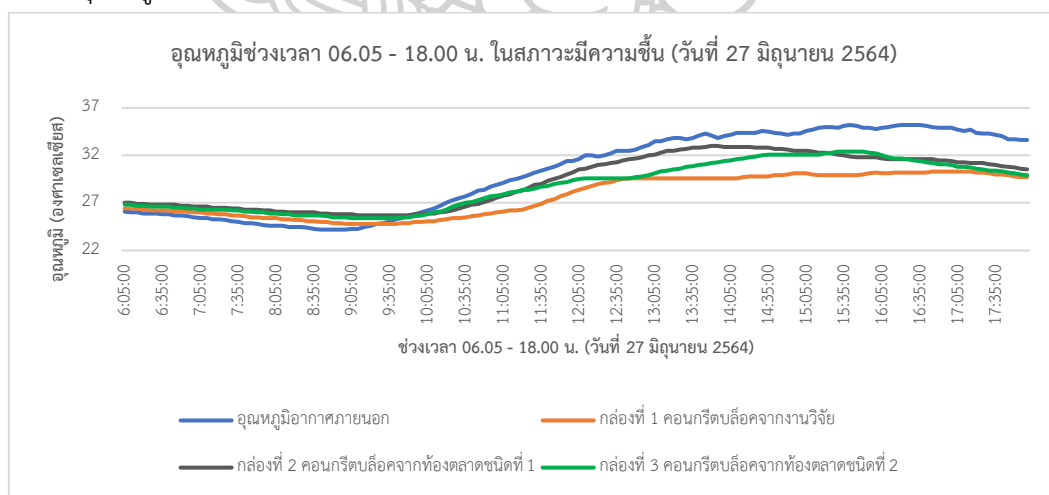
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 253 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 26-27 มิถุนายน 2564)

แผนภูมิที่ 4.47 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 26 - 27 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 - 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อย อากาศค่อนข้างร้อน

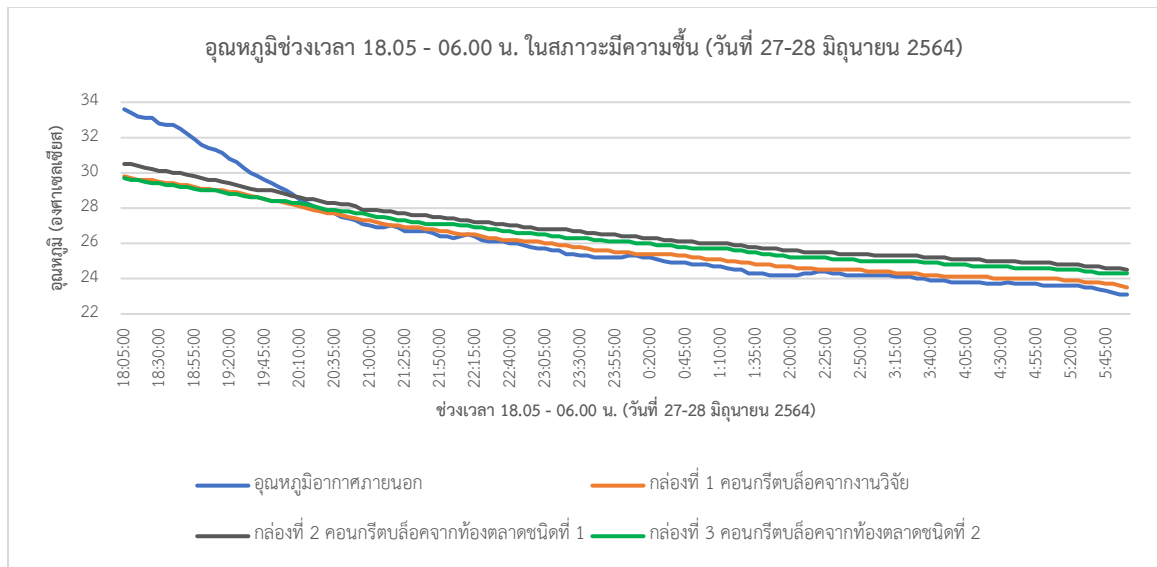
อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 254 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 27 มิถุนายน 2564)

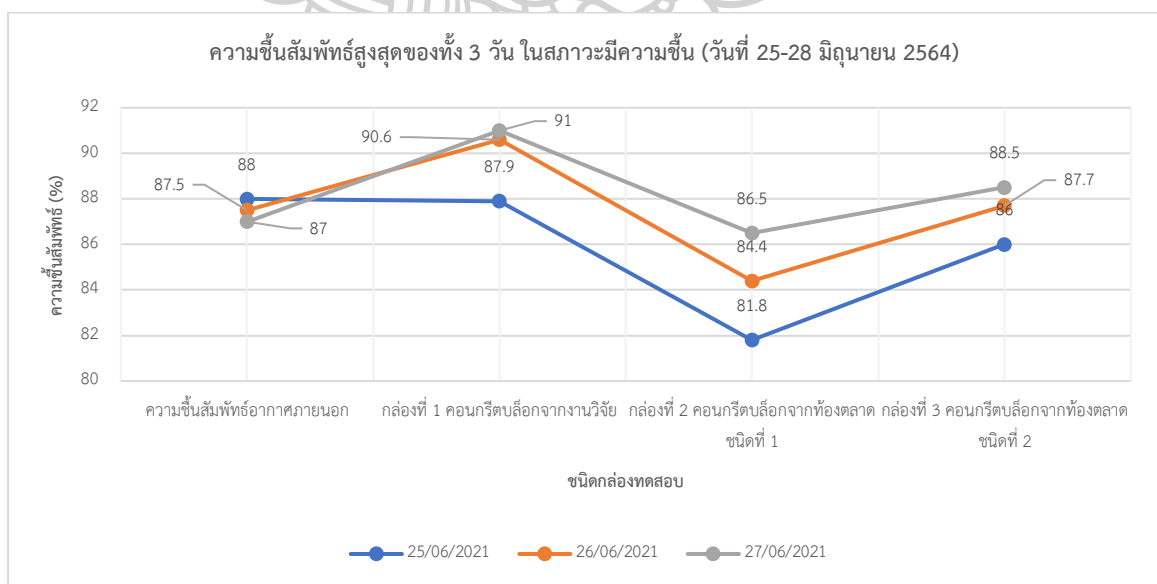
รูปที่ 254 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 27 มิถุนายน 2564 เวลา 06.05 - 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 255 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 27-28 มิถุนายน 2564)

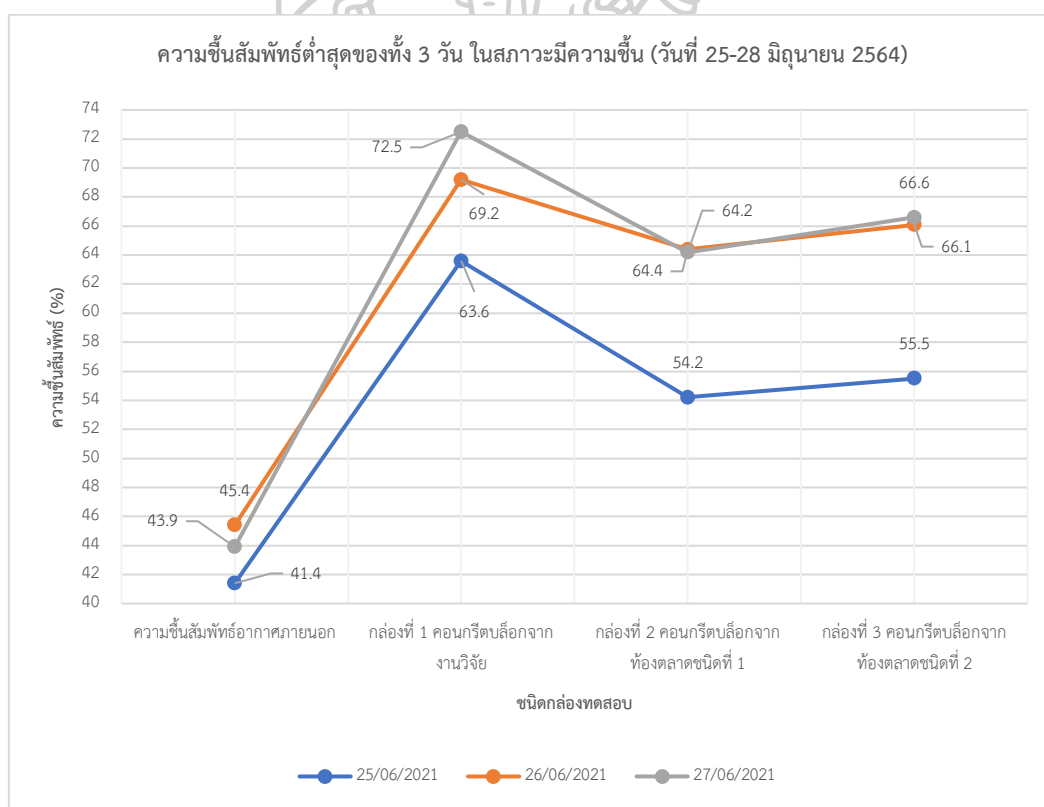
รูปที่ 255 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 27 - 28 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 - 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีดสนิมทึบ อากาศค่อนข้างร้อน



รูปที่ 256 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 256 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

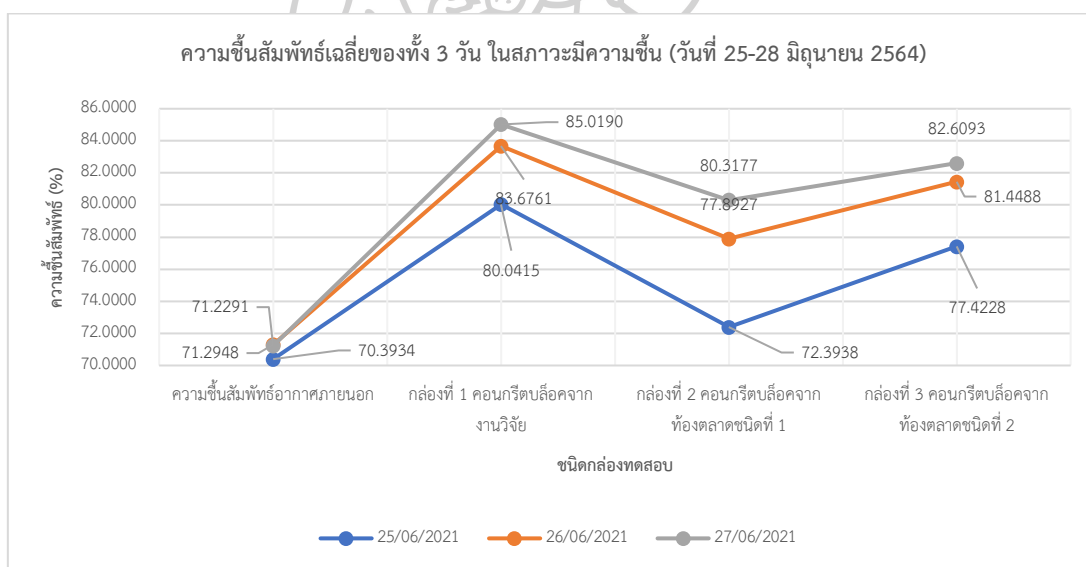
จากรูปที่ 256 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลาวันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 88 % ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยอยู่ที่ 91 % ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 86.5 % ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 88.5 % แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 4.5 % และ 2.5 % ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดอากาศภายนอกอยู่ที่ 3 %



รูปที่ 257 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 257 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

จากรูปที่ 257 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลาวันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของอากาศภายนอกอยู่ที่ 41.4 % ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยอยู่ที่ 63.6 % ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 54.2 % ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 55.5 % แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 9.4 % และ 8.1 % ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดอากาศภายนอกอยู่ที่ 22.2 %



รูปที่ 258 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

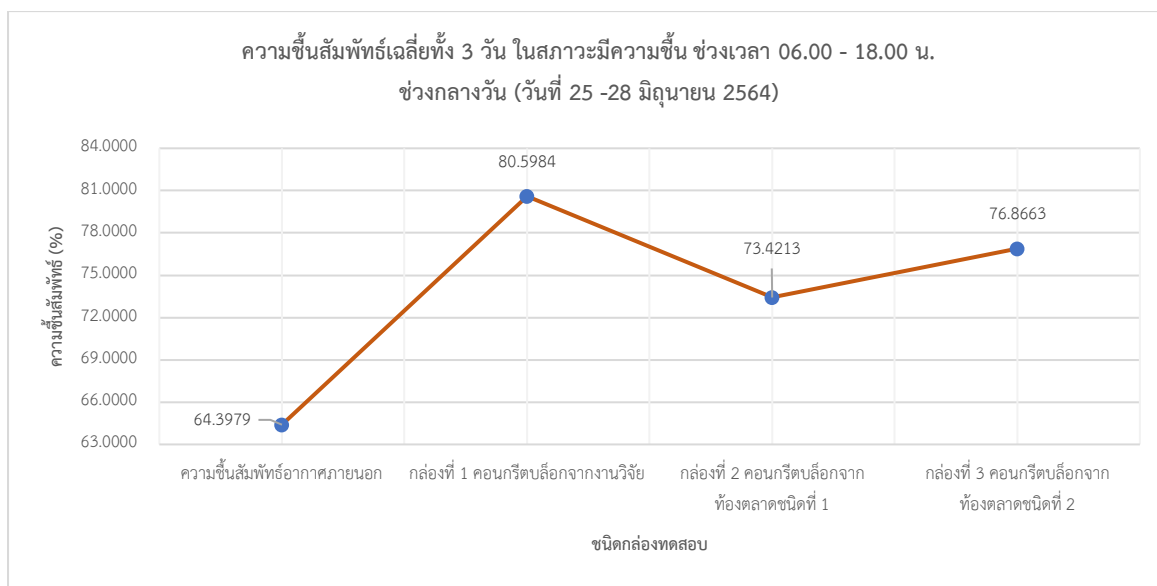
รูปที่ 258 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกล่องกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

จากรูปที่ 258 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลา วันที่ 25 – 28 มิถุนายน 2564 พบว่า

ในวันที่ 25 มิถุนายน 2564 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 80.0415% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 72.3938% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 77.4228% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 70.3934% แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 7.6477% และ 2.6187% และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกอยู่ที่ 9.6481%

ในวันที่ 26 มิถุนายน 2564 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 83.6761% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 77.8927% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 81.4488% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 71.2948% แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 5.7834% และ 2.2273% และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกอยู่ที่ 12.3813%

ในวันที่ 27 มิถุนายน 2564 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย อยู่ที่ 85.00190% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 80.3177% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 82.6093% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศภายนอกอยู่ที่ 71.2291% แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกล่องที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 4.7013% และ 2.4097% และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกอยู่ที่ 13.7899%

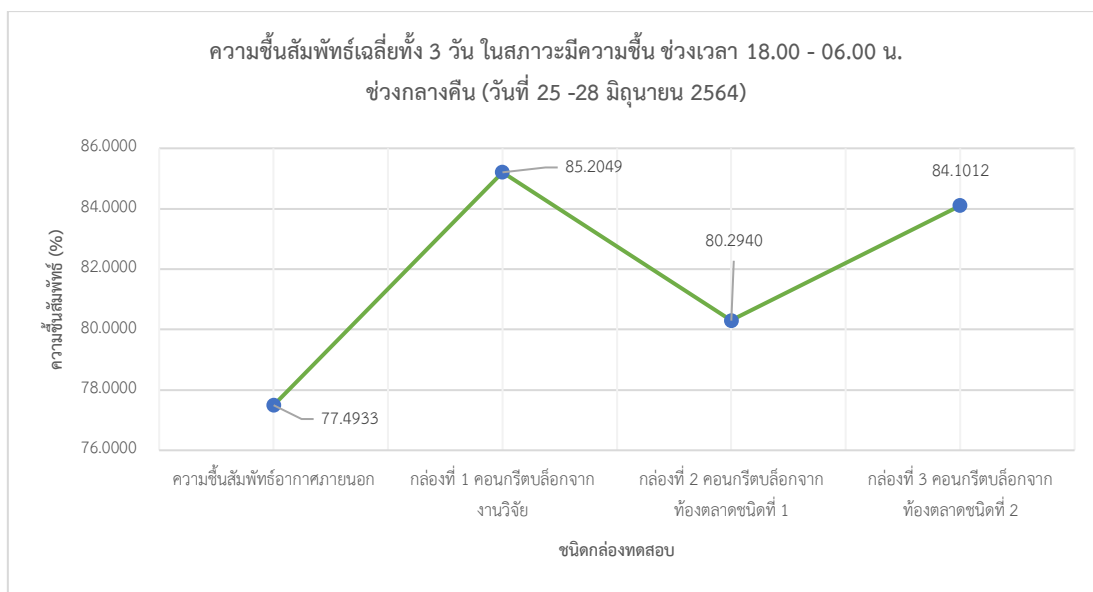


รูปที่ 259 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น ช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. ช่วงกลางวัน (วันที่ 25 -28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 259 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. กลางวัน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

ช่วงเวลากลางวัน

จากรูปที่ 259 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. กลางวัน พบว่ากล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยสูงกว่ากล่องทดสอบที่ 2 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องทดสอบที่ 3 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 โดยความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยทั้ง 3 วันของกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 อยู่ที่ 80.5984 % และความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 73.4213 % และ 76.8663 % ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 64.3979 % ซึ่งกล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องเฉลี่ยของกล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 อยู่ที่ 7.1771 % และ 3.7301 % ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยภายในกล่องที่ 1 สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 16.2005 %



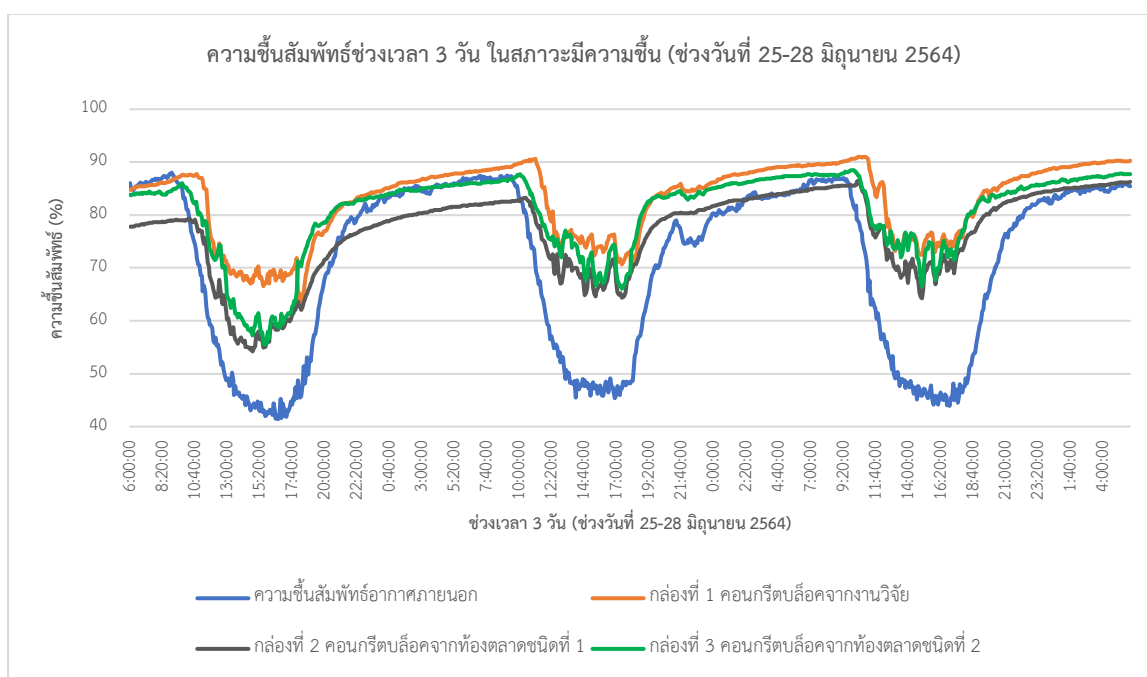
รูปที่ 260 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น ช่วงเวลา 18.00 - 06.00 น. ช่วงกลางคืน (วันที่ 25 -28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 260 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา 18.00 - 06.00 น. กลางคืน ของทั้ง 4 จุดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ในกล้องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัย ความชื้นสัมพัทธ์ในกล้องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และความชื้นสัมพัทธ์ในกล้องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

ช่วงเวลากลางคืน

จากรูปที่ 260 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล้องเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ในสภาวะมีความชื้นช่วงเวลา 18.00 - 06.00 น. กลางคืน พบว่ากล้องทดสอบที่ 1 ซึ่งทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล้องเฉลี่ยสูงกว่ากล้องทดสอบที่ 2 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และกล้องทดสอบที่ 3 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 โดยความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล้องเฉลี่ยทั้ง 3 วันของกล้องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 อยู่ที่ 85.2049 % และความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล้องเฉลี่ยของกล้องที่ 2 และกล้องที่ 3 อยู่ที่ 80.2940 % และ 84.1012 % ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 77.4933 % ซึ่งกล้องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล้องเฉลี่ยสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล้องเฉลี่ยของกล้องที่ 2 และกล้องที่ 3 อยู่ที่ 4.9109 % และ 1.1037 % ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยภายในกล้องที่ 1 สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 7.7116 %

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น

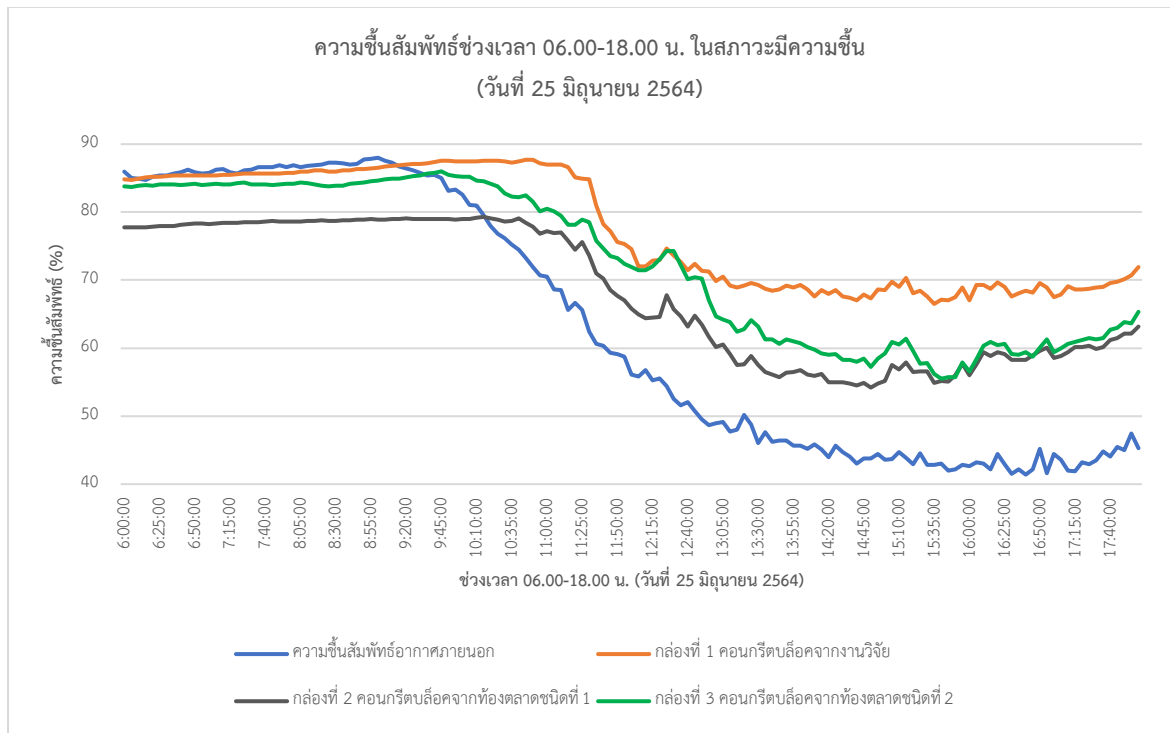


รูปที่ 261 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 3 วัน ในสภาวะมีความชื้น (ช่วงวันที่ 25-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 261 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้น ทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 21 - 24 มิถุนายน 2564 โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

จากรูปที่ 261 เป็นการวิเคราะห์ความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 วัน ในช่วงเวลา วันที่ 25 - 28 มิถุนายน 2564 พบว่าทั้ง 3 กล่องมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ กล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัย อยู่ที่ 91 % ถัดมาเป็นความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ 88.5 % และน้อยสุดคือความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ 86.5 % ในช่วงเวลา 10.00 -12.00 น. ส่วนกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องต่ำสุดอยู่ที่กล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกที่ท้องตลาดชนิดที่ 1 โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 54.2 % ถัดมาเป็นกล่องทดสอบที่ 3 และกล่องทดสอบที่ 1 ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 55.5 % และ 63.6 % ในช่วงเวลา 15.00 - 17.00 น. และกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดคือ กล่องที่ 1 อยู่ที่ 85.0190 % ถัดมาคือกล่องที่ 3 อยู่ที่ 82.6093 % ส่วนกล่องที่ 2 อยู่ที่ 80.3177 % ทำให้สรุปได้ว่ากล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่ากล่องทดสอบที่ 2 และ กล่องทดสอบที่ 3

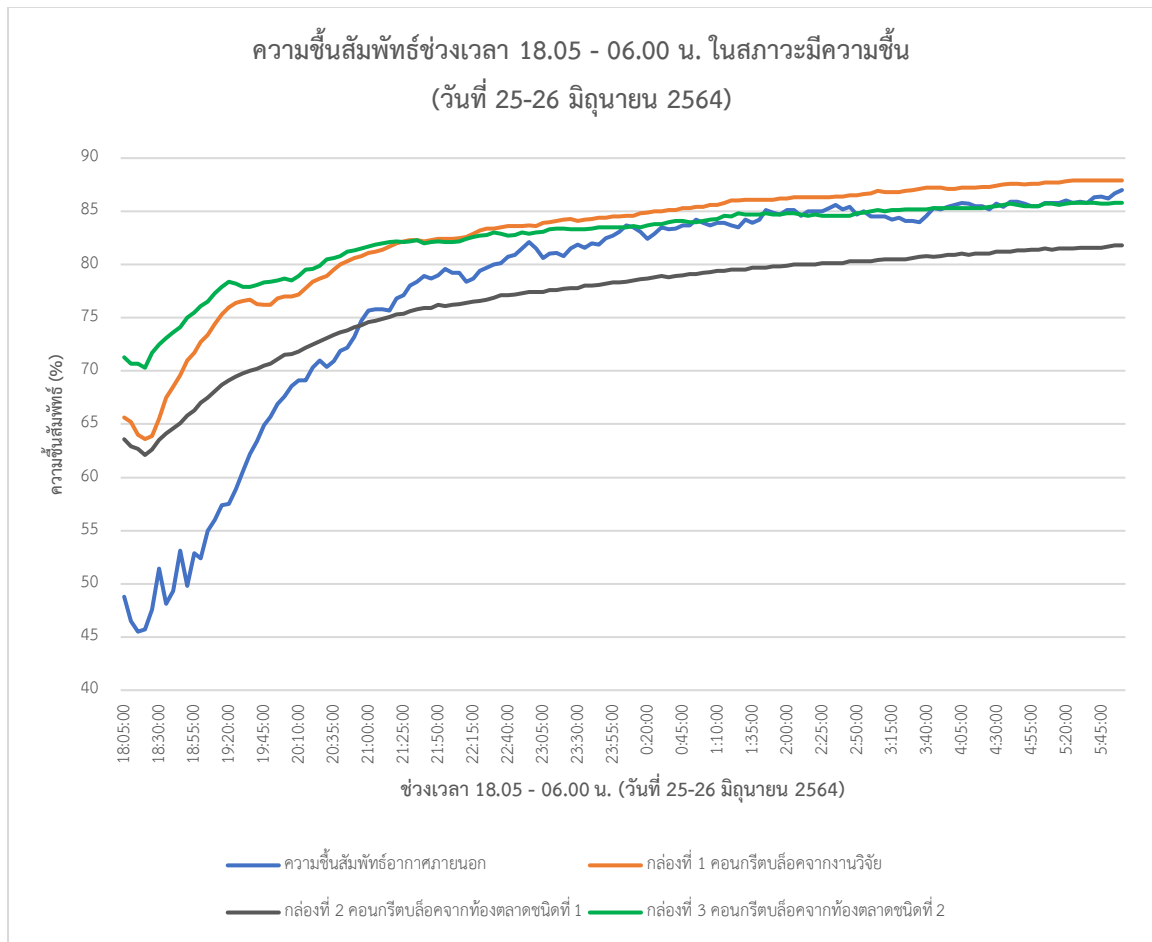
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 262 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 262 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้น ทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 25 มิถุนายน 2564 เวลา 06.00 – 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

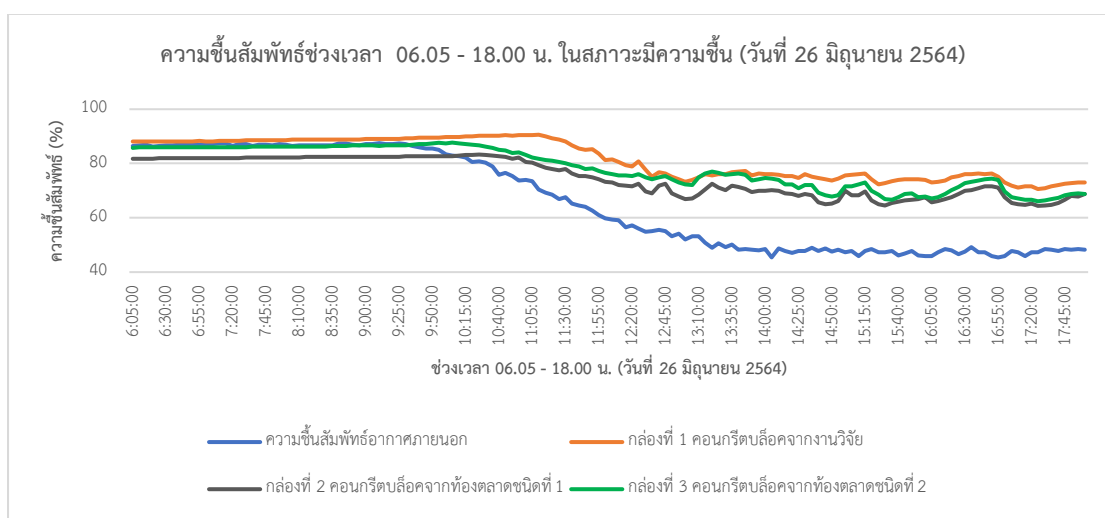
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 263 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 25-26 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 263 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 25 - 26 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 - 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน อากาศค่อนข้างร้อน

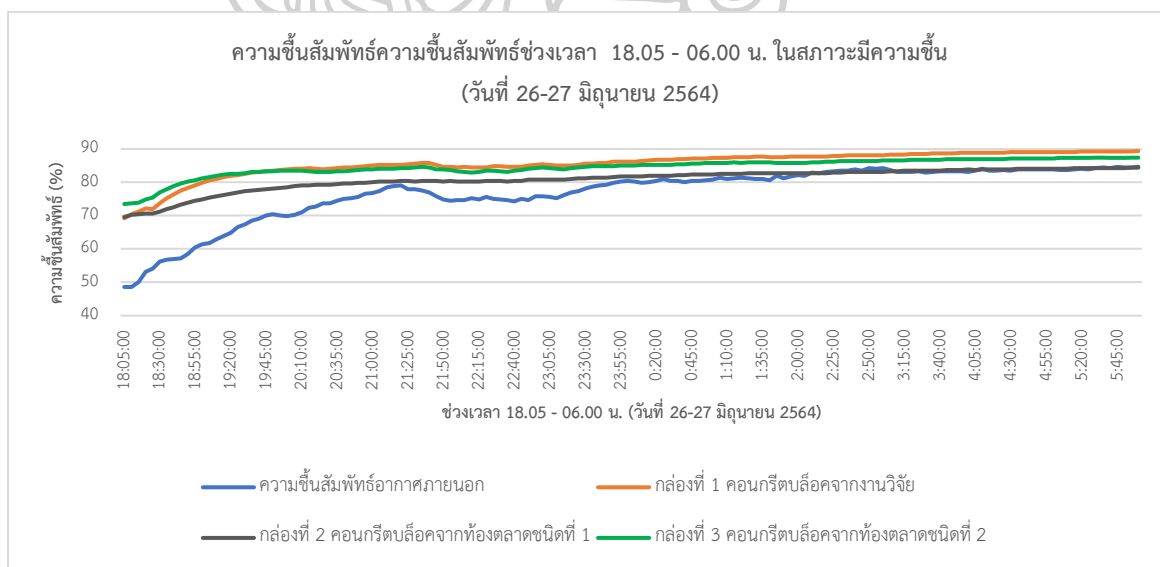
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 264 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 26 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 264 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 26 มิถุนายน 2564 เวลา 06.05 - 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

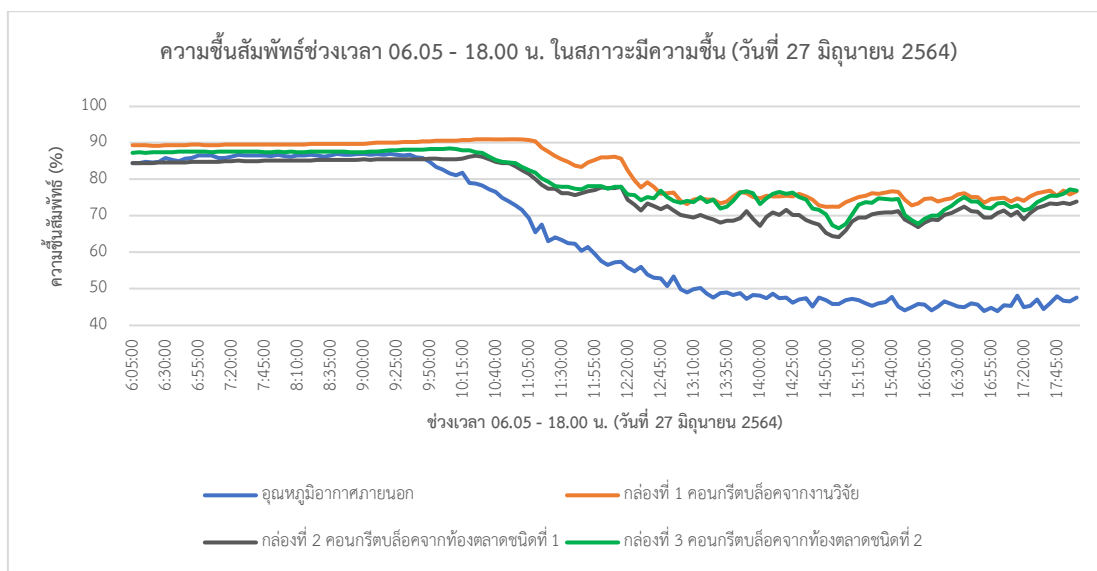
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 265 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 26-27 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 265 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 26 - 27 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 – 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีดสนิท อากาศค่อนข้างร้อน

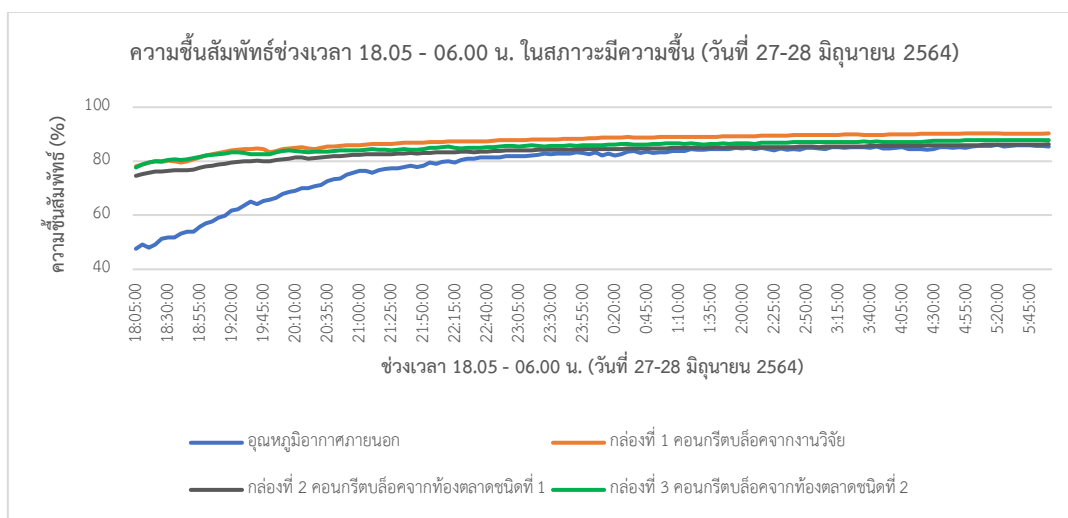
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 266 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 06.05 - 18.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 27 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 266 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้นทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 27 มิถุนายน 2564 เวลา 06.00 – 18.00 น. (ช่วงกลางวัน) โดยมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย มีแดดมาก อากาศร้อน

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่อง ในสภาวะมีความชื้น



รูปที่ 267 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 18.05 - 06.00 น. ในสภาวะมีความชื้น (วันที่ 27-28 มิถุนายน 2564)

รูปที่ 267 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องในสภาวะมีความชื้น ทั้ง 3 กล่องทดสอบ กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกกล่อง ช่วงเวลาวันที่ 27 - 28 มิถุนายน 2564 เวลา 18.05 - 06.00 น. (ช่วงกลางคืน) โดยมีสภาพท้องฟ้ามีเมฆสลับ อากาศค่อนข้างร้อน

การอภิปรายผล

1. การอภิปรายผลช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิธีลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมวัสดุธรรมชาติโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติตามแนวทางการวิจัยนี้ ทำให้เข้าใจองค์ประกอบต่างๆที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติและวิธีการที่จะทำให้วัสดุธรรมชาติที่อยู่ในคอนกรีตบล็อกมีการดูดซึมน้ำลดลงซึ่งมีความสัมพันธ์กับลักษณะของวัสดุธรรมชาติที่เลือกใช้และวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาประยุกต์ใช้กับวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก

ความชื้นที่เข้ามาในคอนกรีตบล็อกคือการดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนเล็กๆ ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นวัสดุที่มีรูพรุนจะดูดซับน้ำไว้ภายใน ถ้าผนังส่วนนี้ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ น้ำที่ดูดซับไว้ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำจากวัสดุผนังส่วนนี้ไปยังบริเวณที่ติดกันซึ่งมีอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ต่ำกว่า ความชื้นที่เกิดขึ้นทำให้ภายในอาคารมีค่าการนำความร้อนที่สูงผ่านเข้ามาในอาคารเกิดสภาวะไม่สบายในอาคาร ต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากเพื่อลดความชื้นในระบบปรับอากาศ

ในการป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าไปในวัสดุคือต้องทำให้ความดันไอน้ำภายในวัสดุสูงกว่าความดันไอน้ำภายนอกหรือทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก กระบวนการลดความชื้นที่เหมาะสมที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคือการใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา โดยการใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา โดยมีรูปแบบการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้ปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะ Phase Change Material (PCM) จะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุมีความหนาแน่นที่สูงกว่า ทำให้ความชื้นไม่สามารถแพร่ผ่านเข้ามาได้

วัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมการนำมาผสมในคอนกรีตบล็อกควบคู่กับการใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในการปรับสภาพวัสดุธรรมชาติเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามาคือพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเนื่องจากมีลักษณะของมัดท่อลำเลียงแบบกระจายขึ้นไปทางตั้งทำให้มีช่องว่างที่เหมาะสมในการยึดเกาะกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมีระยะเวลาที่สั้นเพื่อใช้หมุนเวียนเป็นวัตถุดิบและยังสอดคล้องกับความตั้งใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสู่วัสดุการก่อสร้างแบบ Green Smart Buildings Materials. โดยมีคุณสมบัติที่เข้าเกณฑ์ดังคือวัตถุดิบได้มาจากแหล่งธรรมชาติ มีความทนทาน มีต้นทุนในการขนส่งและการจัดการต่ำ สามารถลดปริมาณของเสียที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ มีการจัดการที่ปราศจากขั้นตอนเกี่ยวกับสารเคมี มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี มีคุณสมบัติด้านพลังงาน จึงพบว่าไม้วัตถุดิบ 2 ชนิดที่มีความน่าสนใจคือ แกลบ และเปลือกกะลาเผาโดยได้นำมาทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติที่เหมาะสมในขั้นตอนการวิจัยก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตบล็อก

การใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในการปรับสภาพวัสดุธรรมชาติโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน (Palm Wax) ซึ่งไม่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิต โดยใช้ผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ได้จากไขถั่วเหลือง (Soybean Wax) เพื่อลดจุดหลอมเหลวให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยขณะนำไปใช้งาน และให้จุดหลอมเหลวลดลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 45-65 °C (ซึ่งเทียบเท่ากับพาราฟิน) ที่นิยมนำมาใช้ในงานวิจัยด้านวัสดุก่อสร้าง จากการทดสอบพบว่าส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1 ส่วนต่อ 1 ส่วน จะมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 37 °C - 67.5 °C จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์การเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะมีค่าแปรผกผันกับอุณหภูมิหลอมเหลว กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้าไปในส่วนผสมจะทำให้ค่าการหลอมเหลวลดลง ผลการทดสอบอุณหภูมิเริ่มต้นหลอมเหลวที่ได้ต่ำกว่าพาราฟินทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะได้เร็วกว่าพาราฟิน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่

กำลังศึกษาโดยสามารถเก็บพลังงานความร้อนในวัสดุได้ก่อน จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับงานวิจัยในขั้นตอนปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปเป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อก โดยรูปแบบที่เหมาะสมในการนำคุณสมบัติการสะสมพลังงานวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุคือวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะห่อหุ้มใน Microcapsule ก่อนการนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกจะช่วยป้องกันการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของวัสดุเปลี่ยนสถานะและยังช่วยแก้ปัญหาคุณสมบัติเชิงกล การบวมตัวของวัสดุให้ได้ค่ามาตรฐานที่กำหนด

2. การอภิปรายผลช่วงเตรียมวัสดุดิบ

ช่วงเตรียมวัสดุดิบโดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อพัฒนาวัสดุประเภท Green Smart Buildings Materials. และทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาว่าสูตรใดดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซ้ำที่ดูดและคายน้ำเร็วที่สุดของวัสดุ 2 ชนิดคือ แกลบและเปลือกกะลาเผา พบว่าสูตร B1 มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและใช้เวลามากที่สุดก่อนถึงจุดอิ่มตัวและหลังจากพักไว้เพื่อให้ น้ำหายหยดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าสูตร B1 จะมีอัตราการคายน้ำเร็วที่สุด โดยสูตร B1 มีอัตราส่วนผสมของเปลือกกะลาเผาที่ 1 Kg. ต่อวัสดุเปลี่ยนสถานะ 20 % ของน้ำหนักเปลือกกะลาเผาและปริมาณน้ำยาราว 70 % ของน้ำหนักเปลือกกะลาเผา จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไป กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะในการเคลือบวัสดุดิบจะส่งผลให้ปริมาณการดูดซึมน้ำในวัสดุสูงขึ้น จากการวิเคราะห์น่าจะเกิดจากการที่ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีจำนวนมากจะเข้าไปยึดเกาะกับพื้นผิววัสดุดิบทำให้ความชื้นหรือน้ำเข้าไปเกาะจับได้ง่ายขึ้นเพราะมีพื้นที่แรงดึงผิวระหว่างวัสดุดิบและน้ำเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้เกิดการดูดซึมน้ำมากขึ้น โดยลักษณะการดูดซึมจะค่อยๆ ดูดซึมในช่วงต้นและเริ่มสูงขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวและจะไม่มี การดูดซึมน้ำอีกต่อไป

3. การอภิปรายผลช่วงทดลองหาส่วนผสม

ในขั้นตอนหาสูตรส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกที่มีการนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพแล้วไปทดแทนส่วนผสมซึ่งมี ปูนซีเมนต์ ทราย หิน เป็นส่วนประกอบหลัก จะใช้สูตรในการทดสอบทั้งหมด 20 สูตรและคัดเลือกหาสูตรที่การดูดซึมน้ำน้อยที่สุด จำนวน 10 สูตร อีก พบว่าสูตรที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุด มีดังนี้ A1, A2, A3, A4, B1, C3, C4, D2, D3, D4 จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเติมหรือทดแทนวัสดุธรรมชาติเข้าไปจะแปรผันตรงกับปริมาณการดูดซึมน้ำและแปรผันตรงกับช่วงเวลาในการแช่น้ำ กล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มวัสดุธรรมชาติเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตบล็อกจะทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นและถ้าใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำนานขึ้นจะส่งผลให้การดูดซึมน้ำสูงตามขึ้นไปจนถึงจุดที่มีการอิ่มตัวจะไม่ดูดซึมน้ำเข้าไปอีก จากนั้นนำสูตรที่ที่มีการดูด

ซึมน้ำน้อยที่สุดนำไปขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม. สูตรละ 5 ก้อนรวมทั้งหมดเป็น 50 ก้อน นำไปทดสอบการต้านทานแรงอัดเพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

4. การอภิปรายผลช่วงการทดสอบการต้านทานแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม. จำนวน 10 สูตร

การทดสอบการต้านทานแรงอัดเพื่อคัดเลือกสูตรที่มีความแข็งแรงผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่มีค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล จะได้สูตรที่ผ่านเกณฑ์ 2 สูตรคือ สูตร B1 และ C3 แต่เกณฑ์ที่สำคัญของงานวิจัยในการคัดเลือกข้างต้นคือจะต้องเป็นสูตรที่มีค่าปริมาณการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซึ่งสูตร B1 มีปริมาณการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 0.10 กิโลกรัม ส่วนสูตร C3 มีปริมาณการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 0.08 กิโลกรัม ทำให้สูตร C3 ผ่านเกณฑ์การทดสอบการดูดซึมน้ำและการต้านทานแรงอัด จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเพิ่มปริมาณวัสดุธรรมชาติที่ใส่เข้าไปในคอนกรีตบล็อกจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานแรงอัด กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุธรรมชาติเข้าไปจะทำให้ค่าต้านทานแรงอัดในคอนกรีตบล็อกลดลง

5. การอภิปรายผลช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

การผลิตขึ้นรูปจริงคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. จากสูตร C3 โดยใช้เครื่องจักรผลิตบล็อกกลวงแบบสายพานลำเลียงสามารถขึ้นรูปได้สำเร็จตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ซึ่งวัดขนาดความคลาดเคลื่อนได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มม. ขนาดความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 มม. ลักษณะทางกายภาพคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้จะมีสีอ่อนกว่าคอนกรีตบล็อกที่ขายตามท้องตลาด ไม่มีส่วนกะเทาะปราศจากรอยแตกร้าวที่จะส่งผลกระทบต่อประสานคอนกรีตบล็อกหรือเสียกำลังต้านทานแข็งแรงของสิ่งก่อสร้าง ผิวเรียบมีความขรุขระเล็กน้อยสามารถยึดจับกับปูนก่อและปูนฉาบได้ ซึ่งลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้จากงานวิจัยสูตร C3 จะมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกับคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาด ซึ่งจะมีลักษณะผิวที่หยาบมีรูพรุนมากสังเกตเห็นได้ชัด มีรอยบิ่นกะเทาะไม่เต็มพื้นที่ของผิวคอนกรีตบล็อก จากการวิเคราะห์อาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตและการขนส่งกล่าวคือในการผลิตคอนกรีตบล็อกในท้องตลาดส่วนมากจะไม่นิยมผสมทรายลงไปคอนกรีตบล็อกเพราะสิ้นเปลืองงบประมาณและทำให้มีน้ำหนักมากขึ้นส่งผลให้เกิดระยะห่างในพื้นที่ผิวคอนกรีตเพราะมีส่วนผสมเฉพาะหินฝุ่นกับปูนซีเมนต์ ซึ่งหินฝุ่นที่ใช้มีขนาดใหญ่เล็กบ้างส่งผลต่อการยึดเกาะกับปูนซีเมนต์และความแข็งแรงตามมาตรฐานอาจลดลง ในช่วงการกดขึ้นรูปถ้าแรงรีบและกดกระทันหันบ่อยครั้งก็ส่งผลกระทบต่อลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อก ในด้านการขนส่งจะมีการลำเลียงจากโรงงาน

หลักไปยังจุดจำหน่ายในแต่ละพื้นที่ซึ่งไม่มีการป้องกันการกระแทกทำให้คอนกรีตบล็อกเกิดการกระเทาะและบิ่นไม่เต็มก้อนคอนกรีตบล็อก

6. การอภิปรายผลการชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกจริงที่ผลิตได้ของสูตร C3

มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) กำหนดมาตรฐานการชักตัวอย่างไว้ดังนี้ ความยาวอยู่ที่ 390 ± 2 มม. ความสูง 190 ± 2 มม. ความหนา 70 ± 2 มม. ความหนาเปลือก ≥ 12 มม. จากการชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน พบว่ามีขนาดมิติเฉลี่ยดังนี้ ความยาวอยู่ที่ 390.16 มม. ความสูง 189.6 มม. ความหนา 70.44 มม. ความหนาเปลือก 15 มม. ซึ่งผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่กำหนดไว้ และมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ได้กำหนดพื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกในนิยามไว้ว่ามีพื้นที่หน้าตัดสุทธิน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน จากการคำนวณพบว่าพื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกตัวอย่างทั้ง 5 ก้อนมีค่า 52.28 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกันซึ่งตรงกับมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) จากผลการทดสอบที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) เนื่องมาจากช่วงกระบวนการขึ้นรูปทางผู้วิจัยได้ดำเนินงานร่วมกับเจ้าของโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกที่สามารถพูดคุยและควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ความเที่ยงตรงตามสูตรที่ได้มา ตั้งแต่กระบวนการตวงซังวัตถุดิบตามสัดส่วนที่กำหนดปริมาณน้ำที่ใช้จนถึงการใช้เครื่องผลิตบล็อกจริงแบบสายพานลำเลียง และกระบวนการกดกระทุ้งขึ้นรูปที่กำหนดจำนวนการกด 5 ครั้งต่อก้อนทำให้ได้คอนกรีตบล็อกเต็มก้อน และการลำเลียงมาฝั่งซึ่งทางผู้วิจัยได้ดำเนินการเองในการจัดเรียงอย่างระมัดระวัง จนถึงกระบวนการลำเลียงไปตามระยะเวลาและขนส่งไปทดสอบความแข็งแรงเพื่อป้องกันการกระแทกเป็นสาเหตุให้เกิดการกระเทาะและบิ่นของก้อนคอนกรีตบล็อกที่จะส่งผลต่อการทดสอบความแข็งแรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ในขั้นตอนต่อไป

7. การอภิปรายผลค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบล็อกสูตร C3

มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ไม่ได้กำหนดมาตรฐานค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) เอาไว้โดยจะใช้ค่าต้านทานแรงอัดเป็นค่าทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อก แต่ค่าความหนาแน่นจะมีผลมาจากพื้นที่หน้าตัดจากการชักตัวอย่างเพื่อหาค่าปริมาตรมาแทนค่าในสูตรหาค่าความหนาแน่น โดยที่ค่าความหนาแน่นมีสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)} = \text{น้ำหนัก (กก.)} / \text{ปริมาตร (ลบ.ม.)}$$

จากการทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จะมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 6.91 กก. ปริมาตรเฉลี่ย 0.002678 ลบ.ม. และมีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 2641.854 กก./ลบ.ม. จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) จะแปรผกผันกับปริมาณเปลือกกะลาเผาที่ใส่ กล่าวคือเมื่อใส่เปลือกกะลาเผาเพิ่มขึ้นน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) ก่อนคอนกรีตบล็อกจะลดลงตามลำดับ ซึ่งตรงกับผลทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ของคอนกรีตบล็อกที่ผสมวัสดุธรรมชาติในหลายงานวิจัยที่ได้พบทวนวรรณกรรมมาที่พบว่า การเพิ่มปริมาณวัสดุธรรมชาติทดแทนวัสดุมวลรวมหลักจะทำให้ค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) ก่อนคอนกรีตบล็อกจะลดลง

8. การอภิปรายผลการทดสอบการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกสูตร C3

การทดสอบค่าต้านทานแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ได้ระบุค่าต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักของแต่ละก้อนไม่น้อยกว่า 2 เมกะพาสคัลและแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกทั้ง 5 ก้อนต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ซึ่งผลการทดสอบค่าต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ของก้อนทดสอบ 5 ก้อนมีค่าดังนี้ ก้อนที่ 1 มีค่า 3.54, ก้อนที่ 2 มีค่า 2.67, ก้อนที่ 3 มีค่า 3.53, ก้อนที่ 4 มีค่า 3.69, ก้อนที่ 5 มีค่า 3.21, และมีค่ามาตรฐานเฉลี่ย 5 ก้อนอยู่ที่ 3.33 ซึ่งทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่กำหนดไว้ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุธรรมชาติที่ใส่เข้าไปทดแทนวัสดุมวลรวมในคอนกรีตบล็อกจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานแรงอัด โดยการเพิ่มปริมาณเปลือกกะลาเผาเข้าไปโดยตรงจะทำให้ค่าต้านทานแรงอัดในคอนกรีตบล็อกลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนการเติมเปลือกกะลาเผาเข้าไปทดแทนปูนและการเติมเปลือกกะลาเผาเข้าไปทดแทนทรายสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ และการเติมเปลือกกะลาเผาเข้าไปทดแทนหินทุกกรณีไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จากผลการทดสอบอาจเกิดจากวัสดุมวลรวมที่เป็นหินเป็นตัวแปรหลักของความแข็งแรงสามารถทำให้ค่าต้านทานแรงอัดสูงผ่าน

มาตรฐาน แต่เมื่อนำวัสดุธรรมชาติคือเปลือกกะลาเผาเข้ามาทดแทนจะส่งผลต่อความแข็งแรงทำให้ค่าต้านทานแรงอัดลดลง

9. การอภิปรายผลการทดสอบปริมาณความชื้นโดยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ได้ระบุค่ามาตรฐานปริมาณความชื้นโดยให้พิจารณาร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อนเปรียบเทียบกับร้อยละการหดตัวทางยาว และพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยของสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุดควบคู่กันด้วย จากการขึ้นรูปคอนกรีตที่จังหวัดนนทบุรีซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี 2564 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 67.20 อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีร้อยละ 50 – 75 ต้องมีการหดตัวทางยาวตามข้อกำหนดที่ว่า ถ้าการหดตัวทางยาวมากกว่าร้อยละ 0.045 ของร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต้องมีค่าไม่เกิน 30

10. การอภิปรายผลการทดสอบการหดตัวทางยาว

จากผลการทดสอบพบว่ามีค่าการหดตัวทางยาวร้อยละ 0.057 ซึ่งคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 จะต้องมีค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต้องมีค่าไม่เกิน 30 เพื่อให้เข้ากับข้อกำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) จากการวิเคราะห์ผลเนื่องมาจากผลทดสอบค่าการหดตัวทางยาวจะขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยของสถานที่ใกล้แหล่งผลิต ทำให้ข้อมูลบางพื้นที่หรือบางจังหวัดที่ไม่มีการรายงานเข้ามาในส่วนของกรมอุตุนิยมวิทยาและบางข้อมูลของแต่ละพื้นที่จะรายงานเป็นช่วง 6 เดือนทำให้ต้องเสียเวลาในการคำนวณผลในปีนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นที่ข้างเคียงอาจส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวทางยาวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และอาจไม่ตรงกับค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงที่จะนำค่ามาใช้เปรียบเทียบตามข้อกำหนดตามมาตรฐานที่กำหนด

11. การอภิปรายผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ซึ่งผลการทดสอบจะอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ 109 (มอก.109) และจากการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จำนวน 5 ก้อนพบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานการดูดกลืนน้ำทุกก้อน โดยได้ผลค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยทั้ง 5 ก้อนอยู่ที่ร้อยละ 4.48 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของค่ามาตรฐานที่ระบุไว้ว่า ถ้าค่าการหดตัวทางยาวร้อยละมากกว่า 0.45 ค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 30 จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไป กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะในการเคลือบวัสดุผิวจะส่งผลให้ปริมาณการดูดซึมน้ำในวัสดุสูงขึ้นเหมือนกรณีขั้นตอนทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีต

บล็อกทดสอบขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. เพื่อหาสูตรที่ปริมาณน้ำถูกดูดซึมเข้าไปน้อยที่สุดนำมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อก

12. การอภิปรายผลคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จากงานวิจัยเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

จากการขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อกจริงขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. ของสูตร C3 และผ่านกระบวนการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) พบว่ามีค่าน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 6.91 กิโลกรัม มีความหนาแน่นอยู่ที่ 2641.854 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งในมาตรฐานไม่ได้ระบุค่าไว้ ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 3.33 เมกะพาสคัล ซึ่งผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ว่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 เมกะพาสคัล ค่าต้านทานแรงอัดแต่ละก้อนอยู่ที่ 3.54, 2.67, 3.53, 3.69, 3.21 ผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ว่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2.0 เมกะพาสคัล และค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำอยู่ที่ร้อยละ 4.48 ผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ว่าไม่เกินร้อยละ 30 สรุปได้ว่าก้อนคอนกรีตบล็อกจริงขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. ของสูตร C3 ที่ผลิตขึ้นผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) เนื่องจากจากช่วงกระบวนการขึ้นรูปทางผู้วิจัยได้ดำเนินงานตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการตวงซังวัตถุดิบตามสัดส่วนที่กำหนดปริมาณน้ำที่ใช้จนถึงกระบวนการขึ้นรูปและการขนส่งอย่างระมัดระวังและให้ตรงตามแนวทางวิจัยที่กำหนดไว้ เพื่อให้ส่งผลต่อกระบวนการทดสอบความแข็งแรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) น้อยที่สุด

13. การอภิปรายผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) ตามประกาศของกระทรวงพลังงาน ซึ่งระบุว่าค่าการนำความร้อนคอนกรีตบล็อกกลางขนาด 80 มม. อยู่ที่ $0.546 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ไม่ได้ชี้แจงถึงรูปแบบวิธีการทดสอบและมีมาตรฐานกำกับไว้ และขนาดความหนาของคอนกรีตบล็อกที่ 80 มม. ก็ไม่มีในมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และการผลิตขึ้นใช้ในประเทศไทย ซึ่งในมาตรฐานได้ระบุค่าความหนาไว้ที่ 70 มม., 90 มม., 140 มม., และขนาด $190 \text{ มม.} \pm 2 \text{ มม.}$ เท่านั้น อีกทั้งมาตรฐานของต่างประเทศ CIBSE Guide A : 2015 ได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกลางที่ไม่ได้มีค่าตรงกับค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้และไม่มีการระบุประเภทชนิดคอนกรีตบล็อกไว้ โดยขนาดความหนาดังกล่าวของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยก็ไม่ได้ระบุไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) เหมือนกัน ดังนั้นการนำค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามประกาศกระทรวงพลังงานและค่ามาตรฐาน CIBSE Guide A : 2015 จากต่างประเทศ มาเปรียบเทียบค่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ร้อนของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 ที่ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C518 อาจจะไม่เที่ยงตรงร้อยเปอร์เซ็นต์แต่อยู่ในค่าที่เปรียบเทียบได้ในหลายงานวิจัยเกี่ยวกับมาตรฐาน ความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกที่ได้ทบทวนวรรณกรรมมา ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ คอนกรีตบล็อกสูตร C3 มีค่าสภาพนำความร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 23.8 องศาเซลเซียสอยู่ที่ 0.046 W/m•K โดยมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานตามประกาศของกระทรวงพลังงานที่ระบุว่าค่าการนำความร้อน คอนกรีตบล็อกกลางขนาด 80 มม. อยู่ที่ 0.546 W/m•K และต่ำกว่าค่า CIBSE Guide A : 2015 ซึ่ง ได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกลางที่อยู่ในประเภท Dense Aggregate Concrete ที่มีความหนาแน่นอยู่ที่ 2,400 กก./ลบ.ม.อยู่ที่ 2.06 W/m•K แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์การ นำความร้อนของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 มีค่าการนำความร้อนน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด อันมี สาเหตุมาจากปริมาณการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่ผสมวัสดุธรรมชาติคือเปลือกกาแฟที่ ผ่านการปรับสภาพแล้วมีปริมาณการดูดซึมน้ำน้อยลงเพราะวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ได้เคลือบ เปลือกกะลากาแฟไว้แล้วและยังมีน้ำยางพาราที่เคลือบที่วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ไว้อีกชั้นหนึ่ง ด้วย ทำให้น้ำและความชื้นไม่สามารถเข้าไปในวัสดุเปลือกกะลากาแฟได้ โดยเฉพาะคุณสมบัติการ สะสมความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบส่งผลทำให้ ความชื้นที่จะเข้ามาลดลง

14. การอภิปรายผลการทดสอบค่าดูดซึมความชื้น

การทดสอบค่าดูดซึมความชื้นเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่ จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อถือว่าเป็นขั้นตอนสำคัญของงานวิจัยที่จะเปรียบเทียบความสามารถใน การต้านทานการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักของจุดประสงค์ ในการวิจัยที่มุ่งจะพัฒนาคุณสมบัติการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติ จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด ผลปรากฏว่าอัตราการ ดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีค่าการดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 12.304 อัตราการดูดซึมน้ำ เฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ร้อยละ 29.74 และอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ของคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ร้อยละ 62.56 ทำให้สรุปได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของ คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณการ ดูดซึมความชื้นจะแปรผกผันกับระยะเวลา กล่าวคือการดูดซึมน้ำในช่วงเวลาดันจะมีอัตราการดูดซึมน้ำ ในปริมาณมากและการดูดซึมจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึงจุดช่วงเวลาอิ่มตัวจะไม่ดูดซึมน้ำ อีกต่อไป จากผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีค่าการนำความร้อนน้อยเหมาะสมที่จะ นำไปใช้งานวัสดุประกอบอาคารไม่ส่งผลต่อปัญหาการสะสมความร้อนในอาคาร และประเด็นที่มีความ น่าสนใจที่ทำให้ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดทั้ง 2 ชนิดมีค่าสูง อาจ เนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกที่มีมิติขนาดไม่เท่ากันและสูตรส่วนผสมที่ต่างกัน

ขึ้นกับกระบวนการผลิตของแต่ละยี่ห้อ แต่เมื่อนำไปทดสอบการต้านทานแรงอัดตามมาตรฐาน อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ถึงแม้ว่า ขนาดมิติความกว้างยาว ความหนาของเปลือกที่ต่างกันแต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก็ตาม โดยจะมีผล ทำให้น้ำหนักคอนกรีตบล็อกเบาว่า ความหนาแน่นน้อยกว่าแตกหักได้ง่ายกว่าคอนกรีตบล็อกที่ได้ มาตรฐานทุกมิติ และขนาดมิติของคอนกรีตบล็อก โพรงอากาศที่ต่างกันก็จะส่งผลต่อค่าการนำความร้อนเข้ามาในอาคารต่างกันเช่นคอนกรีตบล็อกที่มีความหนากว่า หนักกว่าก็จะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงสามารถลดความร้อนเข้าสู่ในอาคารได้มากกว่า เป็นต้น

15. การอภิปรายผลการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณ ความชื้นในสถานะต่างๆ

การทดสอบในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลคุณสมบัติในด้านความสามารถ ในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสถานะต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในการนำคอนกรีตบล็อก จากงานวิจัยไปใช้ในงานก่อสร้างเพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ จากการทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองไว้เป็น 2 กรณีศึกษาคือในสถานะปกติและสถานะที่มีความ ชื้นเกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลสนับสนุนความเชื่อมั่นจากการนำผลงานวิจัยการลด ความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมวัสดุธรรมชาตินำไปประยุกต์ใช้และเป็นแนวทางต่อยอดใน งานวิจัยที่จะนำวัสดุธรรมชาติที่เหลือทิ้งชนิดต่างๆมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพิ่มมูลค่า เป็นแนวทางในการ ผลิตวัสดุก่อสร้างอาคารที่นำความร้อนต่ำ มีน้ำหนักเบา ลดการใช้พลังงานในอาคารเพื่อปรับสถานะใน อาคารให้อยู่ในสถานะสบาย

จากผลการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนกรณีที่ 1 (ในสถานะปกติ) และกรณีที่ 2 (ในสถานะมีความชื้นเกิดขึ้น) พบว่ามีผลคล้ายคลึงกันกล่าวคือคอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีอุณหภูมิ อากาศภายในกล่องสูงสุด อุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 และผล การทดสอบปริมาณความชื้นกรณีที่ 1 (ในสถานะปกติ)

และกรณีที่ 2 (ในสถานะมีความชื้นเกิดขึ้น) พบว่าคอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีความชื้น สัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องต่ำสุดและความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ยสูงสุดสูงกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจาก ท้องตลาดชนิดที่ 2 จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์พบว่าค่า อุณหภูมิจะแปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง ถึงแม้ว่าในกรณีที่เกิดความชื้นขึ้นด้วยเช่นกัน จึงทำให้เห็นได้ว่ากล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีต บล็อกจากงานวิจัยโดยการนำวัสดุธรรมชาติ (เปลือกกะลาเผา) มาผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุตาม

ขั้นตอนงานวิจัยและนำไปผสมลงในคอนกรีตบล็อกมีความแข็งแรงสามารถผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ยังมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีในการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดและมีการนำความร้อนน้อยกว่าค่ามาตรฐาน ASTM C518 และ CIBSE Guide A : 2015 ที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้การนำความร้อนในอาคารเกิดขึ้นได้ช้าและลดการสะสมอุณหภูมิภายในอาคารที่จะส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับสภาพอากาศให้ลดลง

อีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้กล่องทดสอบที่ 1 ที่ทำจากคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีความสามารถในการลดความร้อนที่ดีกว่าคือมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมีความหนาแน่นของเนื้อคอนกรีตบล็อกมากกว่าคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดทั้งสองชนิดที่เห็นได้ว่ามีลักษณะพื้นผิวขรุขระมีความพรุนของเนื้อคอนกรีตที่สูงทำให้มีน้ำหนักเบาและแตกหักได้ง่าย ในขณะที่คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดบางชนิดผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ไม่ครบทุกข้อโดยข้อสรุปที่เห็นได้ชัดคือถ้าคอนกรีตบล็อกที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ในด้านการต้านทานแรงอัดจะทำให้คอนกรีตบล็อกมีน้ำหนักมากและมีความแข็งแรง ซึ่งลักษณะพื้นผิวและความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่เต็มแม่พิมพ์ของคอนกรีตบล็อกจากการขึ้นรูปของงานวิจัยทำให้คอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นมากกว่ารวมทั้งความหนาของเปลือกที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 12 มม. ตามมาตรฐานและขนาดโพรงที่เต็มพื้นผิวส่งผลให้การนำความร้อนในคอนกรีตบล็อกลดลง

การเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

คอนกรีตบล็อกนิยมใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมการก่อสร้างโดยมีลักษณะเป็นรูกลวงมีช่องอากาศอยู่ภายในทำให้เกิดความเป็นฉนวนแต่เนื่องจากส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ หิน กรวดและน้ำเป็นตัวนำความร้อนและทำให้ คอนกรีตบล็อกมีน้ำหนักค่อนข้างมาก จึงมีการนำเทคโนโลยีมาพัฒนากรรมวิธีการผลิตเพื่อให้คอนกรีตบล็อกเบาลงมีการนำความร้อนต่ำโดยใช้วัสดุมวลเบาที่มีการนำความร้อนต่ำทดแทนวัสดุมวลรวมเดิม แต่ยังมีข้อเสียในเรื่องความแข็งแรงที่ลดลงและกรรมวิธีการผลิตมีราคาสูง ดังนั้น จึงมีการวิจัยอูฐบล็อกที่มีน้ำหนักเบามีการนำความร้อนต่ำมีความแข็งแรงได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลายชิ้นงานวิจัย โดยงานวิจัยต่างๆมีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกโดยใช้วัสดุธรรมชาติที่มีน้ำหนักเบาเป็นส่วนผสมทดแทนวัสดุเดิม เช่น กากน้ำตาล ฟางข้าว ชังข้าวโพด แกลบ ชีไถ่ และมีการศึกษาโดยนำเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติต่างๆที่มีเส้นใยเซลลูโลส เช่น เส้นใยผักตบชวา เส้นใยปาล์ม เส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยเปลือกมะพร้าวมาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติให้ดีขึ้น ซึ่งจากการทบทวนเอกสารงานวิจัยถึงขั้นตอนวิธีการผลิตคอนกรีตบล็อก พบว่าคอนกรีตบล็อกที่ได้จากงานวิจัยคอนกรีต

บล็อกที่ผสมวัสดุธรรมชาติทั้งในประเทศและต่างประเทศจะผ่านมาตรฐานตามที่กำหนดของลักษณะคอนกรีตบล็อกชนิดนั้นๆ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยเซลลูโลสก็คือการดูดซึมน้ำมากของเส้นใยเซลลูโลสทำให้วัสดุมีความชื้น จากการทดสอบการดูดซึมน้ำความชื้นของคอนกรีตบล็อกมีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยที่ 17-19 เปอร์เซ็นต์ และผลจากห้องทดลองพบว่าถ้าคอนกรีตบล็อกดูดซึมน้ำความชื้นมากกว่า 20% จะทำให้ความร้อนผ่านผนังเป็น 2 เท่าเนื่องจากความชื้นทุกๆ 5% จะส่งผลให้ความเป็นฉนวนลดลง 25 % (NOAA national weather service : heat index)

จากการศึกษากระบวนการลดความชื้นพบว่าวิธีการที่เหมาะสมที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคือการใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา โดยมีรูปแบบการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้ปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะ Phase Change Material (PCM) จะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุมีความหนาแน่นที่สูงกว่า ทำให้ความชื้นไม่สามารถแพร่ผ่านเข้ามาได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tumadhir M. Al-Jabiri (Tumadhir M และ Al-Jabiri, 2006: 835-840) ได้ทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตเมื่อเติมพาราฟิน มีวัตถุประสงค์เพื่อจะศึกษาผลของการเติมซีเมนต์พาราฟินลงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อเพิ่มความทนทานและลดความสามารถในการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต ผลการวิจัยการเพิ่มปริมาณซีเมนต์พาราฟินส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลง ส่วนวิธีนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ในส่วนผสมของซีเมนต์ต้องมีวัสดุห่อหุ้มเพื่อป้องกันการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ahmed Hassan (Ahmed Hassan, Mohammad Shakeel Laghari และคณะ, 2016: 1046-1078) ได้ทำการทบทวนวิธีการที่วัสดุเปลี่ยนสถานะถูกห่อหุ้มด้วยวิธี Micro Encapsulation ในด้านความปลอดภัยและลักษณะทางความร้อนที่เกิดขึ้นวัสดุการเปลี่ยนแปลงสถานะ (PCMs) มีศักยภาพสำหรับการสร้างประสิทธิภาพพลังงาน อย่างไรก็ตามการรวม PCM โดยตรงเข้ากับองค์ประกอบก่อสร้างจะทำลายประสิทธิภาพเชิงโครงสร้าง การรวมกันของ Microencapsulation PCMs ในวัสดุก่อสร้างช่วยแก้ปัญหาปัญหาการรั่วไหลของ PCM

สำหรับในด้านลดการลดความร้อนสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติ เต็มมธุรพจน์ (ชาญราชวงศ์, กิตติพงษ์ ธารเอี่ยม และคณะ, 2555), วรนุช ดีละมัน (วรนุช ดีละมัน, กัลทิมา เซาร์ชาญชัยกุล และคณะ, 2559) ,สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย (สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย, 2555), B.H. Abu Baka (B.H. Abu Baka, 2011), และ Javad Torkaman (Javad Torkaman, 2015) คือ การนำวัสดุธรรมชาติมาทดแทนวัสดุมวลรวมเดิมของคอนกรีตบล็อกจะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงแต่ในกรณีถ้ามีความชื้นเกิดขึ้นจะทำให้ค่าการนำความร้อนสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งมีประเด็นสำคัญที่งานวิจัยนี้มีความแตกต่างคือถึงแม้ว่าจะเกิดความชื้นขึ้นในคอนกรีตบล็อกค่าการนำความร้อนก็ไม่สูงขึ้นเพราะวัสดุธรรมชาติที่มีเส้นใยเซลลูโลสที่ผสมในคอนกรีตบล็อกถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีคุณสมบัติด้าน

Encapsulation Coating และคุณสมบัติการเปลี่ยนสถานะ Phase Change Material (PCM) จะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงซึ่งสร้างความดันไอน้ำที่สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุมีความหนาแน่นที่สูงกว่า ทำให้ความชื้นไม่สามารถแพร่ผ่านเข้ามาได้



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่ทำจากวัสดุธรรมชาติเพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติที่ได้จากพืช (Vegetables Wax) มาเป็นสารทดแทน Paraffin โดยนำ PCM จากปาล์มน้ำมัน (Palm Wax) และไขถั่วเหลือง (Soybean Wax) มาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยเซลลูโลสจากพืชโดยวิธี Encapsulation method ซึ่งวัสดุอาคารที่มาจากสารชีวภาพจะไม่ก่ออันตรายต่อสุขภาพผู้ใช้งาน เป็นวัสดุที่ไม่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตและเป็นแนวทางลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต คอนกรีตบล็อกที่ได้จากงานวิจัยต้องผ่านมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58 - 2533 โดยมีการศึกษาความสัมพันธ์ของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ส่งผลต่อ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อก ศึกษาความสัมพันธ์ของการเตรียมวัสดุธรรมชาติ และรูปแบบการขึ้นรูปที่ตีที่ส่งผลทำให้ Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำ มีผลสรุปของงานวิจัยเป็นช่วงดังนี้

สรุปผลการวิจัยช่วงศึกษาข้อมูล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. การศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารที่ส่งผลทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุประกอบอาคารและผลกระทบที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาเรื่องความชื้นในวัสดุที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่าความชื้นในวัสดุที่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นวัสดุที่มีรูพรุนจะดูดซับน้ำไว้ภายใน ถ้าผนังส่วนนี้ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ น้ำที่ดูดซับไว้ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำจากวัสดุผนังส่วนนี้ไปยังบริเวณที่ติดกันซึ่งมีอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ต่ำกว่า ความชื้นที่เกิดขึ้นทำให้ภายในอาคารมีค่าการนำความร้อนที่สูงผ่านเข้ามาในอาคารเกิดสภาวะไม่สบายในอาคาร ต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากเพื่อลดความชื้นในระบบปรับ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างผนังให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจึงเป็นอย่างมากในการสร้างสภาวะน่าสบายในที่พักอาศัยและควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร

2. การศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ และศึกษาวิธีการที่เหมาะสม

จากการศึกษาว่ามีวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกหลายวิธีซึ่งแยกเป็นวิธีการต่างๆ และสรุปผลได้ดังนี้

วิธีที่ 1 คือการใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงดึงผิวสูงป้องกันความชื้นเข้าไปในเนื้อผิวคอนกรีตบล็อก สามารถทำได้เพราะวัสดุที่มีแรงดึงผิว (Surface Tension) จะมีคุณสมบัติป้องกันความชื้นหรือน้ำเข้าไปในวัสดุแต่วัสดุประสานของคอนกรีตบล็อกคือซีเมนต์เป็นวัสดุเหลวหรือกึ่งเหลวใช้ยึดติดคอนกรีตบล็อกเข้าด้วยกัน การที่จะทำให้การยึดเกาะได้ผลดีจะต้องมีพื้นผิวที่ขรุขระหรือมีความหยาบซึ่งจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวแข็งแรงมากขึ้น ในการที่ใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงดึงผิวสูงเคลือบผิวคอนกรีตบล็อกจะสร้างพื้นผิวที่มีความตึงของผิวสัมผัสเป็นแผ่นฟิล์มหุ้มผิวคอนกรีตเอาไว้และส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการยึดเกาะของคอนกรีตบล็อกกับซีเมนต์ลดลง

วิธีที่ 2 การใช้สารดูดซับความชื้น (Desiccant) เป็นวิธีการลดความชื้นโดยใช้หลักการของความแตกต่างระหว่างความดันไอของไอน้ำในอากาศกับสารดูดความชื้น โดยที่ผิวของสารดูดความชื้นมีความดันไอต่ำมากเมื่อเทียบกับความดันของอากาศชื้น ไอน้ำจะถูกสารดูดซับความชื้นดูดซับไว้โดยผ่านพื้นที่ผิวของสารดูดซับที่สัมผัสกับอากาศชื้นนั้น สารดูดซับความชื้นซึ่งมีหลายประเภท และมีวิธีการที่หลากหลายในการควบคุมความชื้นให้อยู่ในมาตรฐาน ปัจจุบันนิยมใช้ซิลิกาไดออกไซด์ SiO_2 แต่ประสบปัญหาในเรื่องของการกลายสภาพเป็นสารกึ่งเหลว (Swell) และแตกเป็นชิ้นเล็กๆเมื่อดูดซับความชื้นจนอิ่มตัว นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นจะลดลงและมีโอกาสที่จะคายความชื้น (Desorption) ออกมาเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 25°C (อีลิทฮัยะ, 2549; Yamaguchi and Kawasaki, 1994) แต่มีงานวิจัยที่ค้นพบว่าวัสดุที่สามารถดูดซับความชื้นได้ดีกว่าซิลิกาไดออกไซด์ คือ ถ่านกัมมันต์ (Activate Carbon) ซึ่งลักษณะภายในมีรูพรุนมากกว่าซิลิกาไดออกไซด์ มีความสามารถในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับบนผิวของแข็งเรียกว่า Adsorbate. (QS Liu, T Zheng, P Wang, L Guo, 2010) แต่ก็ประสบปัญหาเมื่อความชื้นเข้าไปในเนื้อวัสดุและเกิดการสะสมความชื้นมากขึ้นเมื่อเกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงขึ้นความชื้นก็ถูกปล่อยออกมาแต่ความชื้นยังอยู่ในเนื้อวัสดุไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปไหนทำให้ภายในวัสดุยังมีความชื้นอยู่

วิธีที่ 3 การผลิตคอนกรีตบล็อกจะมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์และมวลผสมคอนกรีต เรียกว่า วัสดุผสม (Aggregates) ซึ่งเป็นพวกแร่ธาตุเฉื่อย (Inert Materials) โดยพบว่าในเนื้อคอนกรีตนั้นจะมีรูพรุนจากฟองอากาศทำให้เกิดปัญหาคือการดูดซึมน้ำเข้าไปในรูพรุนทำให้วัสดุมีความชื้น การเพิ่มความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจะทำให้ค่าความชื้นของวัสดุลดลงโดยจะทำให้รูพรุนในวัสดุเพิ่มมากขึ้น และการแพร่ของความชื้นจากผิววัสดุชั้นนอกสุดเข้ามาในเนื้อวัสดุจะใช้เวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความ

หนาแน่นของปริมาตรที่เท่ากันจะแปรผันตรงกับมวลน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่จะมากขึ้นด้วย ส่งผลต่อการนำไปใช้งานในการก่อสร้าง ที่จะส่งผลต่องบประมาณด้านโครงสร้างที่สูงขึ้น

วิธีที่ 4 การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกโดยใช้ประโยชน์ในรูปแบบของการสะสมความร้อนแฝง (Latent Thermal Storage) โดยอุณหภูมิในขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นไม่สูงมากจนส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งแตกต่างจากการเก็บพลังงานความร้อนโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (Sensible Thermal Storage) การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกจะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุและสร้างความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำในวัสดุเพิ่มมากขึ้นทำให้ช่วยลดการแพร่ความชื้นเข้ามาในคอนกรีตบล็อกได้

จากการศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกทั้ง 4 วิธีพบว่าวิธีการที่เหมาะสมที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคือการใช้พลังงานในรูปแบบความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา โดยมีรูปแบบการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้ปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะ Phase Change Material (PCM) จะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุมีความหนาแน่นที่สูงกว่า ทำให้ความชื้นไม่สามารถแพร่ผ่านเข้ามาได้

3. การศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

วัสดุธรรมชาติที่นำมาผสมในคอนกรีตบล็อกมีหลายชนิด จากการศึกษาพบว่าวัสดุเส้นใยเซลลูโลสที่นำไปทดแทนมวลรวมต่างๆในคอนกรีตบล็อกจะใช้ในปริมาณ 10% - 40% ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมอยู่ที่ 40% ของปูนซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่ และผลทดสอบคุณสมบัติทางกลของงานวิจัยที่นำวัสดุธรรมชาติมาผสมในคอนกรีตบล็อกส่วนใหญ่พบว่าค่าน้ำหนักค่าความหนาแน่น ค่าความต้านทานแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนและค่าการนำความร้อนจะแปรผกผันกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มเข้าไป แต่มีค่าหนึ่งที่แปรผันตรงกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มคือค่าปริมาณความชื้นที่ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการหดตัวทางยาวเพิ่มขึ้น ส่งผลก่อให้เกิดปัญหาการดูดซึมน้ำมากของเส้นใยเซลลูโลสทำให้คอนกรีตบล็อกมีค่าความชื้นสูงชัน และเป็นสาเหตุให้ค่าการนำความร้อนในวัสดุสูงขึ้น การที่จะนำวัสดุธรรมชาติที่มีเส้นใยเซลลูโลสมาผสมในคอนกรีตบล็อกต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติและวิธีการเตรียมวัสดุที่จะส่งผลทำให้ค่า Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำลงและข้อจำกัดด้านงบประมาณ เวลา และปริมาณในการจัดเตรียมวัสดุที่เหมาะสมก่อนนำไปผสมคอนกรีตบล็อก

จากการศึกษาพบว่าพีซีบีเลี้ยงเดี่ยวมีลักษณะที่เหมาะสมนำมาทำวิจัยเนื่องจากมีท่อลำเลียงอาหารและน้ำ โดยมีลักษณะของมัดท่อลำเลียงแบบกระจายขึ้นไปทางตั้งทำให้มีช่องว่างที่เหมาะสมในการยึดเกาะกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมีระยะเวลาที่สั้นเพื่อใช้หมุนเวียนเป็นวัฏศุนิ เป็นกรนำส่วนต่างๆ ของพีซีบีใช้ประโยชน์สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุธรรมชาติ จึงมีความเหมาะสมกว่าพีซีบีเลี้ยงคู่ที่มีข้อด้อยในลักษณะกายภาพของที่มีเปลือกและเนื้อไม้ที่มีความแข็ง และปริมาณเส้นใยเซลลูโลสน้อยกว่าพีซีบีเลี้ยงเดี่ยว ในด้านการจัดการเพื่อนำมาเป็นวัฏศุนิต้องใช้งบประมาณและกำลังคนมากกว่า มีช่วงเวลาเติบโตที่ยาวนานจึงไม่เหมาะสมนำมาใช้เป็นวัฏศุนิ

ในการวิจัยนี้มีจุดประสงค์ความตั้งใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสู่วัสดุการก่อสร้างแบบ Green Smart Buildings Materials. จึงมีเกณฑ์ที่เพิ่มเข้ามาเป็นปัจจัยในการคัดเลือกวัฏศุนิคือวัฏศุนิที่ได้มาต้องมาจากแหล่งธรรมชาติ มีความทนทาน ต้นทุนในการขนส่งและการจัดการต่ำ สามารถลดปริมาณของเสียที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ มีการจัดการที่ปราศจากขั้นตอนเกี่ยวกับสารเคมี มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี มีคุณสมบัติด้านพลังงาน จึงพบว่าวัฏศุนิ 2 ชนิดที่มีความน่าสนใจและมีคุณสมบัติเข้ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ โดยนำมาศึกษาเพื่อใช้ในงานวิจัยในการเปรียบเทียบคุณสมบัติที่เหมาะสมก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตบล็อกคือ แกลบ และเปลือกกะลากาแฟ ซึ่งต่างก็มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปเป็นวัสดุคัดเลือกในงานวิจัย

4. การศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในด้านสะสมพลังงานเพื่อการป้องกัน ความชื้นในวัสดุ

การศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในด้านสะสมพลังงานเพื่อการป้องกัน ความชื้นในวัสดุเป็นการศึกษาเพื่อหาวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีช่วงอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเปลี่ยนสถานะในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยมีวิธีการทดสอบช่วงจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติที่คัดเลือกโดยทดสอบด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter, Mettler Toledo DSC 1 Module)

ผู้วิจัยได้สนใจการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากธรรมชาติที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน (Palm Wax) มาใช้ในงานวิจัย แต่พบปัญหาว่ามีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูงอยู่ที่ 70-80 °C ซึ่งอาจจะไม่เปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยขณะนำไปใช้งาน จึงหาวิธีลดจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) โดยใช้ทฤษฎี Latent Heat Storage Materials. โดยผสมสารอื่นๆ ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าลงไปเรียกว่าสารยูเทคติก (Eutectic) จากการศึกษพบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ได้จากไขถั่วเหลือง (Soybean Wax) มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าอยู่ที่ 50-60 °C สามารถนำมาผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์มน้ำมันได้เพื่อลดจุดหลอมเหลวให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน

ในภูมิภาคอากาศของประเทศไทยได้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการหาสูตรส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ผลิตจากพาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ผลิตจากไขถั่วเหลือง ให้ได้ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่เหมาะสมกับงานใช้งานโดยการทบทวนวรรณกรรมและสร้างสูตร ส่วนผสมเพื่อทดลองให้ได้จุดหลอมเหลวลดลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 45-65 °C (ซึ่งเทียบเท่ากับพาราฟิน)

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าสูตรที่ 3 ที่มีส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากพาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1 ส่วนต่อ 1 ส่วน จะมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 37 °C - 67.5 °C ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้นหลอมเหลวที่ต่ำกว่าพาราฟินทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะได้เร็วกว่าพาราฟิน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่กำลังศึกษาโดยสามารถเก็บพลังงานความร้อนในวัสดุได้ก่อน จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับงานวิจัยในขั้นตอนปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปเป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อก

5. การศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาประยุกต์ใช้กับวัสดุธรรมชาติที่จะส่งผลให้ Moisture Content ในเนื้อวัสดุ ที่จะนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างอาคารลดลง

การศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้กับวัสดุธรรมชาติเพื่อพัฒนาคุณสมบัติในการป้องกันและลดความชื้นเข้ามาในเนื้อวัสดุ โดยใช้กระบวนการ Encapsulation Method วัสดุธรรมชาติโดยวิธีการ Coating Mixing ของวัสดุธรรมชาติที่ได้คัดเลือกมาแล้ว 2 ชนิดคือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา นำไปทดสอบเพื่อหาสูตรส่วนผสมที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุดก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

จากการศึกษารูปแบบการนำคุณสมบัติการสะสมพลังงานวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุอาคารจะมีรูปแบบการนำไปใช้เป็น 2 แนวทาง คือแนวทางที่ 1 จะนำวัสดุเปลี่ยนสถานะผสมเข้าไปเนื้อวัสดุโดยตรงซึ่งพบว่าการนำความร้อนของคอนกรีตจะลดลงแต่คุณสมบัติความเป็นฉนวนของคอนกรีตจะดีขึ้น คอนกรีตจะสูญเสียความแข็งแรงในช่วงที่ยอมรับได้ โดยจะทำลายประสิทธิภาพเชิงโครงสร้างและเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะจะเกิดการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะไปตามรูพรุนต่างๆ ในเนื้อวัสดุ ส่วนแนวทางที่ 2 จะนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาผสมในวัสดุก่อสร้างอาคารในรูปแบบในลักษณะบรรจุใน Microcapsule พบว่าการใช้ Microencapsulation PCMs ในวัสดุก่อสร้างช่วยแก้ปัญหาคุณสมบัติเชิงกล การบวมตัวของวัสดุ และสามารถป้องกันการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะได้ดีที่สุด

สรุปผลการวิจัยช่วงเตรียมวัสดุดิบ

การทดลองในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติที่ได้คัดเลือกคือ แกลบ และเปลือกกะลา กาแฟ มาทดสอบสมมติฐานที่ว่า การเคลือบผิววัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing แกลบหรือเปลือกกะลา กาแฟ วัสดุใดจะสามารถป้องกันความชื้นเข้ามาในวัสดุได้ดีที่สุด โดยกำหนดสูตรส่วนผสมระหว่าง ปริมาณวัสดุธรรมชาติกับปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ได้จากการทดลองช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยใช้วิธี Coating Mixing กับเครื่อง Mixing จากนั้นนำส่วนผสมต่างๆเข้าเครื่องผสม (Mixing) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนอุณหภูมิลดลงจนทำให้วัสดุเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไข (Wax) เคลือบวัสดุธรรมชาติทั้งหมด จากนั้นทำการกำหนดสูตรเพื่อทำการเคลือบ (Coating) วัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตรด้วยวัสดุ น้ำ ยางพาราอีกชั้น หลังจากนั้นนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพโดยวิธีการขึ้นต้นตามอัตราส่วนสูตรต่างๆที่กำหนดไว้แล้วมาทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาว่าสูตรใดดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซ้ำที่สุดและคายน้ำเร็วที่สุด เพื่อนำไปเป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบที่จะนำไปปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนผสมในคอนกรีตบล็อก

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง พบว่าสูตร B1 มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและใช้ เวลามากที่สุดก่อนถึงจุดอิ่มตัวและหลังจากพักไว้เพื่อให้น้ำหายหยดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าสูตร B1 จะมีอัตราการคายน้ำเร็วที่สุด ซึ่งถือว่าสูตร B1 ที่มีอัตราส่วนผสมของเปลือกกะลา กาแฟที่ 1 Kg. ต่อ วัสดุเปลี่ยนสถานะ 20 % ของน้ำหนักเปลือกกะลา กาแฟและปริมาณน้ำยางพารา 70 % ของน้ำหนัก เปลือกกะลา กาแฟ ได้ผลทดสอบที่ดีเหมาะที่จะนำไปเป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบปรับสภาพวัสดุ ธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลดความชื้นที่จะเกิดขึ้น

สรุปผลการวิจัยช่วงทดลองหาส่วนผสม

การวิจัยช่วงทดลองหาส่วนผสมเป็นการคัดเลือกหาสูตรส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก ที่มีการนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพแล้วไปทดแทนส่วนผสมซึ่งมี ปูนซีเมนต์ ทราย หิน เป็น ส่วนประกอบหลัก กำหนดสัดส่วนของวัสดุธรรมชาติออกเป็น 5 สูตรทดลอง คือ 10%, 20%, 30%, 40%, 50% และแบ่งส่วนผสมในการทดสอบแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังนั้น รวมสูตรในการทดสอบทั้งหมด 20 สูตร จากนั้นจึงคัดเลือกหาสูตรที่การดูดซึมน้ำน้อยที่สุด จำนวน 10 สูตร โดยการนำไปชั่งน้ำหนัก ก่อนและหลังนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำของแต่ละสูตร

หลังจากการทดสอบได้สรุปผลเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำของแต่ละสูตร พบว่าน้ำหนัก ก่อนคอนกรีตทดสอบของสูตรที่มีการเติมหรือทดแทนวัสดุธรรมชาติเข้าไปจะแปรผันตรงกับปริมาณ การดูดซึมน้ำและแปรผันตรงกับช่วงเวลาในการแช่น้ำจนถึงจุดที่มีการอิ่มตัวจะไม่ดูดซึมน้ำเข้าไปได้อีก พบว่าสูตรที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุด มีดังนี้ A1, A2, A3, A4, B1, C3, C4, D2, D3, D4 และนำสูตรที่ที่มี การดูดซึมน้ำน้อยที่สุดนำไปขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม. สูตรละ 5 ก้อน

รวมทั้งหมดเป็น 50 ก้อน นำไปทดสอบการต้านทานแรงอัดเพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้มาตรฐาน
อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

1. ผลการทดสอบการต้านทานแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10 x 10 x 10 ซม. จำนวน 10 สูตร

นำคอนกรีตบล็อกทดสอบขนาด 10x10x10 ซม. จำนวน50 ก้อนไปทดสอบหาค่าความ
ต้านทานแรงอัดให้ได้ความแข็งแรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-
2533) ในเรื่องของความต้านทานแรงอัดที่กำหนดเอาไว้ว่าค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า
2.5 เมกะพาสคัล และค่าความต้านทานแรงอัดแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 2.0 เมกะพาสคัล

จากการทดสอบการต้านทานแรงอัดเพื่อคัดเลือกสูตรที่มีความแข็งแรงผ่านมาตรฐาน
อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่มีค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องไม่น้อย
กว่า 2.5 เมกะพาสคัล จะได้สูตรที่ผ่านเกณฑ์ 2 สูตรคือ สูตร B1 และ C3 แต่เกณฑ์ที่สำคัญของ
งานวิจัยในการคัดเลือกข้างต้นคือจะต้องเป็นสูตรที่มีค่าปริมาณการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซึ่งสูตร B1 มี
ปริมาณการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 0.10 กิโลกรัม ส่วนสูตร C3 มีปริมาณการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 0.08 กิโลกรัม ทำ
ให้สูตร C3 ผ่านเกณฑ์การทดสอบการดูดซึมน้ำและการต้านทานแรงอัด จึงนำสูตร C3 เป็นสูตร
ส่วนผสมต้นแบบที่จะนำไปขึ้นรูปทรงคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

จากผลการทดสอบทำให้สรุปความสัมพันธ์ได้ว่าปริมาณวัสดุธรรมชาติที่ใส่เข้าไปในคอนกรีต
บล็อกจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานแรงอัด โดยการเพิ่มปริมาณวัสดุธรรมชาติเข้าไปจะทำให้ค่า
ต้านทานแรงอัดในคอนกรีตบล็อกลดลง

สรุปผลการวิจัยช่วงผลิตคอนกรีตบล็อกรูปทรงจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม.

การผลิตขึ้นรูปจริงคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. จากสูตร C3 โดยใช้
เครื่องจักรผลิตบล็อกกลวงแบบสายพานลำเลียงสามารถขึ้นรูปได้สำเร็จตามมาตรฐานอุตสาหกรรม
คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ซึ่งวัดขนาดความคลาดเคลื่อนได้ตามมาตรฐานที่
กำหนด โดยความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มม. ขนาดความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 มม.
ลักษณะทางกายภาพคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้จะมีสีอ่อนกว่าคอนกรีตบล็อกที่ขายตามท้องตลาด ไม่มี
ส่วนกะเทาะปราศจากรอยแตกร้าวที่จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานคอนกรีตบล็อกหรือเสียกำลังด้าน
ความแข็งแรงของสิ่งก่อสร้าง ผิวเรียบมีความขรุขระเล็กน้อยสามารถยึดจับกับปูนก่อและปูนฉาบได้

สรุปผลการวิจัยช่วงทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

1. การชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกจริงที่ผลิตได้ของสูตร C3

การชักตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน พบว่ามีขนาดมิติเฉลี่ยดังนี้ ความยาวอยู่ที่ 390.16 มม. ความสูง 189.6 มม. ความหนา 70.44 มม. ความหนาเปลือก 15 มม. ซึ่งผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่กำหนดไว้ และมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ได้กำหนดพื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกในนิยามไว้ว่ามีพื้นที่หน้าตัดสุทธิน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน จากการคำนวณพบว่าพื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีตบล็อกตัวอย่างทั้ง 5 ก้อนมีค่าดังนี้ ก้อนที่ 1 มีค่า 50.74, ก้อนที่ 2 มีค่า 51.23, ก้อนที่ 3 มีค่า 51.98, ก้อนที่ 4 มีค่า 50.83, และก้อนที่ 5 มีค่า 52.28 ซึ่งทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกันซึ่งตรงกับนิยามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

2. ค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบล็อกสูตร C3

พบว่าค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) จะแปรผกผันกับปริมาณเปลือกกษลาภาแพที่ใส่โดยเมื่อใส่เปลือกกษลาภาแพเพิ่มขึ้นค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) ของก้อนคอนกรีตบล็อกจะมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จะมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 6.91 กก. ปริมาตรเฉลี่ย 0.002678 ลบ.ม. และมีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 2641.854 กก./ลบ.ม.

3. การทดสอบการต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกสูตร C3

การทดสอบค่าต้านทานแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ได้ระบุค่าต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักของแต่ละก้อนไม่น้อยกว่า 2 เมกะพาสคัลและแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกทั้ง 5 ก้อนต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ซึ่งผลการทดสอบค่าต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ของก้อนทดสอบ 5 ก้อนมีค่าดังนี้ ก้อนที่ 1 มีค่า 3.54, ก้อนที่ 2 มีค่า 2.67, ก้อนที่ 3 มีค่า 3.53, ก้อนที่ 4 มีค่า 3.69, ก้อนที่ 5 มีค่า 3.21, และมีค่ามาตรฐานเฉลี่ย 5 ก้อนอยู่ที่ 3.33 ซึ่งทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่กำหนดไว้

4. การทดสอบปริมาณความชื้นโดยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

การทดสอบปริมาณความชื้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) มีมาตรฐานที่ได้ระบุค่าปริมาณความชื้นโดยให้พิจารณาร้อยละความดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน เปรียบเทียบกับร้อยละการหดตัวทางยาว และพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยของสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุดควบคู่กันด้วย งานวิจัยนี้ได้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกจริงที่จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี 2564 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 67.20 อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีร้อยละ 50 – 75 ต้องมีค่าการหดตัวทางยาวตามข้อกำหนดที่ว่า ถ้าการหดตัวทางยาวมากกว่าร้อยละ 0.045 ของร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต้องมีค่าไม่เกิน 30

5. การทดสอบการหดตัวทางยาว

จากผลการทดสอบการหดตัวทางยาวของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ผลปรากฏว่ามีค่าการหดตัวทางยาวร้อยละ 0.057 และค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ≤ 30 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่กำหนดไว้

6. การทดสอบการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ซึ่งผลการทดสอบจะอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ 109 (มอก.109) และจากการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จำนวน 5 ก้อนพบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานการดูดกลืนน้ำ โดยได้ผลค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยทั้ง 5 ก้อนอยู่ที่ร้อยละ 4.48 ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่ระบุไว้ว่า ถ้าค่าการหดตัวทางยาวร้อยละมากกว่า 0.45 ค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 30

7. แสดงคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จากงานวิจัยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน
อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

ตารางที่ 35 แสดงคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3 เปรียบเทียบกับมาตรฐาน
อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

รายการคุณสมบัติเพื่อ เปรียบเทียบ	คุณสมบัติคอนกรีต บล็อกสูตร C3	ค่ามาตรฐาน (มอก.58-2533)	ผลสรุปหลังจาก เปรียบเทียบ คุณสมบัติ
น้ำหนัก (กก.)	6.91	-	ไม่ระบุในมาตรฐาน
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	2641.854	-	ไม่ระบุในมาตรฐาน
ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (เมกะพาสคัล)	3.33	≥ 2.5	ผ่านมาตรฐาน
ความต้านทานแรงอัดแต่ละ ก้อน (เมกะพาสคัล)	3.54, 2.67, 3.53, 3.69, 3.21	≥ 2.0	ผ่านมาตรฐาน
ร้อยละการดูดกลืนน้ำ (ร้อยละการหดตัวทางยาว 0.057)	4.48	< 30	ผ่านมาตรฐาน

8. การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อก
ไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C518 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำ
ความร้อนของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 มีค่าสภาพนำความร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 23.8 องศาเซลเซียสอยู่
ที่ 0.046 W/m•K ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานตามประกาศของกระทรวงพลังงาน ซึ่งระบุว่าค่าการนำ
ความร้อนคอนกรีตบล็อกกลางขนาด 80 มม. อยู่ที่ 0.546 W/m•K และต่ำกว่าค่า CIBSE Guide A :
2015 ซึ่งได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกลางที่อยู่ในประเภท Dense
Aggregate Concrete ที่มีความหนาแน่นอยู่ที่ 2,400 กก./ลบ.ม.อยู่ที่ 2.06 W/m•K

สรุปผลการวิจัยช่วงทดสอบค่าดูดซึมความชื้น ความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่าง ๆ

1. การทดสอบค่าดูดซึมความชื้น

การทดสอบค่าดูดซึมความชื้นเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆที่จำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อก่อนนำไปทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบความสามารถในการดูดซึมความชื้นในสภาวะต่างๆ พบว่าลักษณะปริมาณการดูดซึมความชื้นจะแปรผกผันกับระยะเวลา กล่าวคือการดูดซึมน้ำในช่วงเวลาต้นจะมีอัตราการดูดซึมน้ำในปริมาณมาก และการดูดซึมจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึงจุดช่วงเวลาอิ่มตัวจะไม่ดูดซึมน้ำอีกต่อไป จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด ผลปรากฏว่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีค่าการดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 12.304 อัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 อยู่ที่ร้อยละ 29.74 และอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 อยู่ที่ร้อยละ 62.56 ทำให้สรุปได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลดีในการนำคอนกรีตบล็อกไปใช้งานวัสดุประกอบอาคารโดยจะทำให้ค่าการนำความร้อน (k) ลดลงตามไปด้วย

2. ทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่างๆ

จากกระบวนการเตรียมวัสดุข้างต้นเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกทดสอบต้นแบบในงานวิจัยที่ได้ผ่านการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ทำให้ได้คอนกรีตบล็อกสูตร C3 เพื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัยและคอนกรีตบล็อกที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ โดยทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองไว้เป็น 2 กรณีศึกษาคือในสภาวะปกติและสภาวะที่มีความชื้นเกิดขึ้น

ผลการทดสอบกรณีที่ 1 (ในสภาวะปกติ)

ผลการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนกรณีที่ 1 (ในสภาวะปกติ) พบว่าในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 36.9 °C ในช่วงเวลา 13.00 - 15.00 น. ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดต่ำกว่ากล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 40.2 °C และกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 38.6 °C อยู่ที่ 3.3 °C และ 1.7 °C ตามลำดับ ส่วนกล่องที่มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดอยู่ที่

กล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยโดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 25.2 °C ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 2 และกล่องทดสอบที่ 3 มีอุณหภูมิเท่ากันอยู่ที่ 26.8 °C อยู่ที่ 1.6 °C ในช่วงเวลา 03.00 – 05.00 น. และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของกล่องที่ 1 อยู่ที่ 31.3294 °C ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่ากล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 33.5412 °C และกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 32.8211 °C อยู่ที่ 2.2118 °C และ 1.4917 °C ตามลำดับ ทำให้สรุปได้ว่ากล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุด อุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

ผลการทดสอบปริมาณความชื้นกรณีที่ 1 (ในสภาวะปกติ) พบว่าในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 81.5 % ในช่วงเวลา 07.00 -09.00 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดสูงกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 79.8 % และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 76.2 % อยู่ที่ 1.7 % และ 5.3 % ตามลำดับ ส่วนกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องต่ำสุดอยู่ที่กล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 45.1 % ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 2 และกล่องทดสอบที่ 1 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 46.4 % และ 49.2 % อยู่ที่ 1.3 % และ 4.1 % ตามลำดับ ในช่วงเวลา 14.00 – 16.00 น. และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดของกล่องที่ 1 อยู่ที่ 89.6356 % ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดสูงกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 67.2616 % และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 65.5533 % อยู่ที่ 22.374 % และ 24.0823 % ตามลำดับ ทำให้สรุปได้ว่ากล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องต่ำสุดและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดสูงกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2

ผลการทดสอบกรณีที่ 2 (ในสภาวะมีความชื้นเกิดขึ้น)

ผลการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนกรณีที่ 2 (ในสภาวะมีความชื้นเกิดขึ้น) พบว่าในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 31.3 °C ในช่วงเวลา 15.00 -17.00 น. ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุดต่ำกว่ากล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 33.7 °C และกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 33.4 °C อยู่ที่ 2.4 °C และ 2.1 °C ตามลำดับ ส่วนกล่องที่มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดอยู่ที่กล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยโดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 23.2 °C ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุด

ต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 3 และกล่องทดสอบที่ 2 มีอุณหภูมิอยู่ที่ 24.3 °C และ 23.9 °C ตามลำดับ อยู่ที่ 1.1 °C และ 0.7 °C ในช่วงเวลา 07.00 – 09.00 น. และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของกล่องที่ 1 อยู่ที่ 27.4907 °C ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 28.5945 °C และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 28.2218 °C อยู่ที่ 1.1038 °C และ 0.7311 °C ตามลำดับ ทำให้สรุปได้ว่ากล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุด อุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

ผลการทดสอบปริมาณความชื้นกรณีที่ 2 (ในสภาวะมีความชื้นเกิดขึ้น) พบว่าในกล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 91 % ในช่วงเวลา 10.00 -12.00 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดสูงกว่ากล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 88.5 % และกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุดอยู่ที่ 86.5 % อยู่ที่ 2.5 % และ 4.5 % ตามลำดับ ส่วนกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องต่ำสุดอยู่ที่กล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 54.2 % ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดต่ำกว่ากล่องทดสอบที่ 3 และกล่องทดสอบที่ 1 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 55.5 % และ 63.6 % อยู่ที่ 1.3 % และ 9.4 % ตามลำดับ ในช่วงเวลา 15.00 – 17.00 น. และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดของกล่องที่ 1 อยู่ที่ 85.0190 % ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดสูงกว่ากล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 82.6093 % และกล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 80.3177 % อยู่ที่ 2.4097 % และ 4.7013 % ตามลำดับ ทำให้สรุปได้ว่ากล่องที่ 1 คอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องต่ำสุดและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดสูงกว่ากล่องที่ 2 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 1 และกล่องที่ 3 คอนกรีตบล็อกจากห้องตลาดชนิดที่ 2

การอภิปรายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในงานวิจัย

จากงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการลดความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติที่ส่งผลต่อค่าการนำความร้อนในวัสดุสูงขึ้น ได้ให้ความสำคัญในกระบวนการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนที่จะนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกเนื่องจากความชื้นที่เข้ามาเพราะเส้นใยเซลลูโลสในวัสดุธรรมชาติมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นจึงต้องหาวิธีการที่จะป้องกันความชื้นที่จะเข้าไปในวัสดุธรรมชาติ ในขั้นตอนแรกจึงเป็นขั้นตอนในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมเพื่อนำมาทดแทนวัสดุมวลรวมในคอนกรีตบล็อก ปัจจัยที่ต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อความเหมาะสมในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติได้แก่ปัจจัยลักษณะกายภาพของวัสดุธรรมชาติที่เลือกใช้ควรมีปริมาณการหมุนเวียนของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ได้ตลอดทั้งปี โดยใช้ประโยชน์จากซากเหลือจากการเก็บเกี่ยวมาสร้างมูลค่าเพิ่ม ในการนำวัตถุดิบที่มีความชื้นจากการเก็บเกี่ยวมาทำให้แห้งต้องเลือกให้เหมาะสมต่อการนำมาเป็นส่วนผสมคอนกรีต ถ้านำมาเป็นส่วนผสมโดยตรงที่ไม่ต้องนำมาผ่านกระบวนการอื่นก่อนควรมีลักษณะที่แห้งขนาดไม่เกิน 3 ซม. จะทำให้การกระจายตัวสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตไม่ดูดซับความชื้นมากเกินไป แต่ถ้านำวัตถุดิบมาทำให้ขนาดเล็กลงจนเป็นชิ้นละเอียดจะทำให้ไม่มีมวลของวัสดุเซลลูโลสซึ่งจะไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติที่ช่วยในการลดการนำความร้อนในคอนกรีตบล็อก ส่วนกรณีที่ต้องนำวัสดุธรรมชาติมาผ่านกระบวนการด้วยการนำไปผสมกับวัสดุอื่นก่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดความดูดซับความชื้นก่อนนำไปเป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อกควรมีลักษณะพื้นผิวที่เอื้อต่อการยึดเกาะกับส่วนผสมอื่น มีขนาดที่ไม่เล็กเกิน 0.5 ซม. เพื่อให้เกิดมวลของวัสดุธรรมชาติที่มีเส้นใยเซลลูโลสสร้างความหนาแน่นให้ผิวของวัสดุธรรมชาติสูงขึ้นป้องกันความดันของไอน้ำที่จะแพร่เข้ามายังพื้นผิวภายในเส้นใยเซลลูโลสได้ ในด้านปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ความคุ้มค่าในการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติที่ถือว่าเป็นเกณฑ์สำคัญในการที่จะพัฒนาต่อยอดให้เกิดมูลค่าเพิ่มในเชิงพาณิชย์ คือการเตรียมวัสดุธรรมชาติต้องมีความคุ้มค่าในการลงทุน ขั้นตอนการนำน้ำและความชื้นออกจากวัสดุธรรมชาติ ต้องไม่ผ่านกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูง ควรเลือกใช้วัสดุธรรมชาติที่มีความชื้นน้อยหรือแห้งจะเกิดการคุ้มทุนมากกว่า

วิธีการที่เลือกใช้ในการลดความชื้นของงานวิจัยคือการใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา โดยมีรูปแบบการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้ปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะ Phase Change Material (PCM) จะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุมีความหนาแน่นที่สูงกว่า ทำให้ความชื้นไม่สามารถแพร่ผ่านเข้ามาได้ จากการศึกษาพบว่าพืชที่เหมาะสมกับการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาใช้ปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกคือพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเพราะมีท่อลำเลียงอาหารและน้ำ ซึ่งมีมัดท่อลำเลียงแบบกระจัดกระจายขึ้นไปทางตั้งทำให้มีช่องว่างที่เหมาะสมในการยึดเกาะกับวัสดุเปลี่ยน

สถานะ (PCM) และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมีระยะเวลาที่สั้นเพื่อใช้หมุนเวียนเป็นวัตถุดิบ เมื่อให้ผลผลิตเสร็จแล้วก็กลายเป็นวัชพืชเพื่อรอการทำลาย การนำส่วนต่างๆ ของพืชมาใช้ประโยชน์สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัชพืชธรรมชาติจึงเหมาะสมกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ที่มีข้อด้อยในลักษณะ กายภาพของส่วนต่างของต้นที่มีเปลือกและมีความแข็งของเนื้อไม้ และส่วนที่เป็นเส้นใยเซลลูโลสน้อยกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ส่วนในการเตรียมวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ในห้องทดลองพบว่าการเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะผลิตจากปาล์มน้ำมัน (Palm Wax) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 70-80 °C แต่เนื่องจากอุณหภูมิ จุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างสูงอาจจะไม่เปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยขณะนำไปใช้งาน ซึ่งจากทฤษฎี Latent Heat Storage Materials. กล่าวว่าการที่จะสามารถลดจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ได้นั้นต้องมีสารผสมสารอื่นๆ ลงไปเรียกว่าสารยูเทกติก (Eutectic) พบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ได้จากไขถั่วเหลือง (Soybean Wax) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 50-60 °C สามารถนำมาผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากปาล์มน้ำมันได้เพื่อลดจุดหลอมเหลวให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน และได้พบความสัมพันธ์การเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะมีค่าแปรผกผันกับอุณหภูมิหลอมเหลว กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้าไปในส่วนผสมจะทำให้ค่าการหลอมเหลวลดลง

หลังจากได้ปรับสภาพวัชพืชธรรมชาติตามขั้นตอนในกระบวนการวิจัยได้นำมาทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อคัดเลือกสูตรที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเพื่อนำไปขึ้นรูปก้อนทดสอบเพื่อนำไปทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) พบว่าปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไป กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะในการเคลือบวัตถุดิบจะส่งผลให้ปริมาณการดูดซึมน้ำในวัสดุสูงขึ้น จากการวิเคราะห์น่าจะเกิดจากการที่ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีจำนวนมากจะเข้าไปยึดเกาะกับพื้นผิววัตถุดิบทำให้ความชื้นหรือน้ำเข้าไปเกาะจับได้ง่ายขึ้นเพราะมีพื้นที่แรงดึงผิวระหว่างวัตถุดิบและน้ำเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้เกิดการดูดซึมน้ำมากขึ้น เมื่อก่อนทดสอบคอนกรีตบล็อกผ่านมาตรฐาน ได้นำมาทดสอบการดูดซึมน้ำพบความสัมพันธ์ของการเติมหรือทดแทนวัชพืชธรรมชาติเข้าไปจะแปรผันตรงกับปริมาณการดูดซึมน้ำและแปรผันตรงกับช่วงเวลาในการแช่น้ำ กล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มวัชพืชธรรมชาติเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตบล็อกจะทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นและถ้าใช้ระยะเวลาในการแช่นานขึ้นจะส่งผลให้การดูดซึมน้ำสูงตามขึ้นไปจนถึงจุดที่มีการอิ่มตัวจะไม่ดูดซึมน้ำเข้าไปอีก จากนั้นนำคอนกรีตบล็อกที่ได้จากสูตรการวิจัย C3 มาขึ้นรูปบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม. และทดสอบค่าต้านทานแรงอัดทำให้พบความสัมพันธ์ของการเพิ่มปริมาณวัชพืชธรรมชาติที่ใส่เข้าไปในคอนกรีตบล็อกจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานแรงอัด กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัชพืชธรรมชาติเข้าไปจะทำให้ค่าต้านทานแรงอัดในคอนกรีตบล็อกลดลง ซึ่งลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้จากงานวิจัยสูตร C3 จะมีลักษณะผิวเรียบมีความขรุขระเล็กน้อยมีสีอ่อนกว่าคอนกรีตบล็อกที่ขายตามท้องตลาด ไม่มีส่วนกะเทาะ

ปราศจากรอยแตกร้าวต่างกับคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาด ซึ่งจะมีลักษณะผิวที่หยาบมีรูพรุนมาก สังเกตเห็นได้ชัด มีรอยบิ่นกะเทาะไม่เต็มพื้นที่ของผิวคอนกรีตบล็อก จากการวิเคราะห์ห่ออาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตและการขนส่งกล่าวคือในการผลิตคอนกรีตบล็อกในท้องตลาดส่วนมากจะไม่นิยมผสมทรายลงไปคอนกรีตบล็อกเพราะสิ้นเปลืองงบประมาณและทำให้มีน้ำหนักมากขึ้น ส่งผลให้เกิดระยะห่างในพื้นที่ผิวคอนกรีตเพราะมีส่วนผสมเฉพาะหินฝุ่นกับปูนซีเมนต์ ซึ่งหินฝุ่นที่ใช้มีขนาดใหญ่เล็กบ้างส่งผลต่อการยึดเกาะกับปูนซีเมนต์และความแข็งแรงตามมาตรฐานอาจลดลงในช่วงการกวดขึ้นรูปถ้าแรงรีบและกวดกระทันหันบ่อยครั้งก็ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวคอนกรีตบล็อก ในด้านการขนส่งจะมีการลำเลียงจากโรงงานหลักไปยังจุดจำหน่ายในแต่ละพื้นที่ซึ่งไม่มีการป้องกันการกระแทกทำให้คอนกรีตบล็อกเกิดการกะเทาะและบิ่นไม่เต็มก้อนคอนกรีตบล็อก จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) พบว่าจะแปรผกผันกับปริมาณเปลือกกะลาเผาที่ใส่เพิ่มเข้าไป กล่าวคือเมื่อใส่เปลือกกะลาเผาเพิ่มขึ้นน้ำหนักและค่าความหนาแน่น (Density) ก้อนคอนกรีตบล็อกจะลดลงตามลำดับ และได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุธรรมชาติที่ใส่เข้าไปทดแทนวัสดุรวมในคอนกรีตบล็อกจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานแรงอัด โดยการเพิ่มปริมาณเปลือกกะลาเผาเข้าไปโดยตรงจะทำให้ค่าต้านทานแรงอัดในคอนกรีตบล็อกลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนการเติมเปลือกกะลาเผาเข้าไปทดแทนปูนและการเติมเปลือกกะลาเผาเข้าไปทดแทนทรายสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ และการเติมเปลือกกะลาเผาเข้าไปทดแทนหินทุกกรณีไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จากผลการทดสอบอาจเกิดจากวัสดุรวมที่เป็นหินเป็นตัวแปรหลักของความแข็งแรงสามารถทำให้ค่าต้านทานแรงอัดสูงผ่านมาตรฐาน แต่เมื่อนำวัสดุธรรมชาติคือเปลือกกะลาเผาเข้ามาทดแทนจะส่งผลต่อความแข็งแรงทำให้ค่าต้านทานแรงอัดลดลง

จากนั้นนำคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัยสูตร C3 มาทดสอบปริมาณความชื้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) มีมาตรฐานที่ได้ระบุค่าปริมาณความชื้นโดยให้พิจารณาร้อยละความดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน เปรียบเทียบกับร้อยละการหดตัวทางยาว และพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยของสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด ควบคู่กันด้วย งานวิจัยนี้ได้ขึ้นรูปผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกจริงที่จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี 2564 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 67.20 อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีร้อยละ 50 – 75 ต้องมีค่าการหดตัวทางยาวตามข้อกำหนดที่ว่า ถ้าการหดตัวทางยาวมากกว่าร้อยละ 0.045 ของร้อยละการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต้องมีค่าไม่เกิน 30 จากผลการทดสอบการหดตัวทางยาวของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ผลปรากฏว่ามีค่าการหดตัวทางยาวร้อยละ 0.057 และค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ≤ 30 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ที่กำหนดไว้ ซึ่งผลทดสอบค่าการหด

ตัวทางยาวจะขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยของสถานที่ใกล้แหล่งผลิต ทำให้ข้อมูลบางพื้นที่หรือบางจังหวัดที่ไม่มีการรายงานเข้ามาในส่วนของกรมอุตุนิยมวิทยาและบางข้อมูลของแต่ละพื้นที่จะรายงานเป็นช่วง 6 เดือนทำให้ต้องเสียเวลาในการคำนวณผลในปีนั้น จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นที่ข้างเคียงอาจส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวทางยาวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และอาจไม่ตรงกับความสัมพันธ์เฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงที่จะนำค่ามาใช้เปรียบเทียบตามข้อกำหนดตามมาตรฐานที่กำหนด จากนั้นนำมาทดสอบการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533 ซึ่งผลการทดสอบจะอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ 109 (มอก.109) และจากการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 จำนวน 5 ก้อนพบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานการดูดกลืนน้ำ โดยได้ผลค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยทั้ง 5 ก้อนอยู่ที่ร้อยละ 4.48 ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่ระบุไว้ว่า ถ้าค่าการหดตัวทางยาวร้อยละมากกว่า 0.45 ค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 30 และได้พบความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไป กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะในการเคลือบวัตถุบจะส่งผลให้ปริมาณการดูดซึมน้ำในวัสดุสูงขึ้น

หลังจากการนำคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัยสูตร C3 ผ่านการทดสอบปริมาณความชื้นการหดตัวทางยาว และการดูดกลืนน้ำแล้วได้นำมาทดสอบค่าดูดซึมความชื้นซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการแสดงผลเปรียบเทียบคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกสูตร C3 ในด้านการป้องกันความชื้นที่จะเข้ามาในวัสดุเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกชนิดอื่น ได้พบความสัมพันธ์ปริมาณการดูดซึมความชื้นจะแปรผกผันกับระยะเวลา กล่าวคือการดูดซึมน้ำในช่วงเวลาต้นจะมีอัตราการดูดซึมน้ำในปริมาณมาก และการดูดซึมจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึงจุดช่วงเวลาอิ่มตัวจะไม่ดูดซึมน้ำอีกต่อไป จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิด ผลปรากฏว่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลดีในการนำคอนกรีตบล็อกไปใช้งานวัสดุประกอบอาคารโดยจะทำให้ค่าการนำความร้อน (k) ลดลงตามไปด้วย คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยขนาด 70 x 190 x 390 มม. ของสูตร C3 ที่ผลิตขึ้นผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) เนื่องมาจากช่วงกระบวนการขึ้นรูปมีการทวงซั้งวัตถุบตามสัดส่วนที่กำหนดปริมาณน้ำที่ใช้จนถึงกระบวนการขึ้นรูป ส่งผลในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกสูตร C3 น้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด อันมีสาเหตุมาจากปริมาณการดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่ผสมวัสดุธรรมชาติคือเปลือกกาแพที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมีปริมาณการดูดซึมน้ำน้อยลงเพราะวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ได้เคลือบเปลือกกาแพไว้แล้วและยังมีน้ำยางพาราที่เคลือบทับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ไว้อีกชั้นหนึ่งด้วย ทำให้น้ำและความชื้นไม่สามารถเข้าไปในวัสดุเปลือกกาแพได้ โดยเฉพาะคุณสมบัติการสะสมความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบส่งผลทำให้ความชื้นที่จะเข้ามาลดลง สุดท้าย

เป็นการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนและทดสอบปริมาณความชื้นในสภาวะต่างๆ โดยทำกล่องผนังทดลองต้นแบบจำลองไว้เป็น 2 กรณีศึกษาคือในสภาวะปกติและสภาวะที่มีความชื้นเกิดขึ้น เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดความร้อนและคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการวิจัยและคอนกรีตบล็อกที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ พบว่าความสามารถในการลดความร้อนกรณีที่ 1 (ในสภาวะปกติ) และกรณีที่ 2 (ในสภาวะมีความชื้นเกิดขึ้น) พบว่ามีผลคล้ายคลึงกันกล่าวคือคอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุด อุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่ากล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 และผลการทดสอบปริมาณความชื้นกรณีที่ 1 (ในสภาวะปกติ) และกรณีที่ 2 (ในสภาวะมีความชื้นเกิดขึ้น) พบว่าคอนกรีตบล็อกจากการวิจัยมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในกล่องสูงกว่ากล่องที่ 2 และกล่องที่ 3 ซึ่งพบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์พบว่าค่าอุณหภูมิจะแปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงทั้งในกรณีสภาวะปกติและกรณีมีความชื้นเกิดขึ้นในกรณีงานวิจัยนี้

ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกจากการวิจัยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาด

1. ค่าต้นทุนวัสดุเปลี่ยนสถานะต่อ 1 กิโลกรัม

1.1. ราคาต้นทุนวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ผสมกันระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์ม น้ำมันและวัสดุเปลี่ยนสถานะจากไขถั่วเหลืองแล้วต่อกิโลกรัมจะมีราคา ดังนี้

- ราคาต้นทุนปาล์มน้ำมัน กิโลกรัมละ 110 บาท
- ราคาต้นทุนไขถั่วเหลือง กิโลกรัมละ 150 บาท
- ราคาผงตะไบเหล็ก ขนาดบรรจุ 100 กรัม ราคา 60 บาท
- ราคาน้ำยารักษา ขนาดบรรจุ 1 ลิตร (เท่ากับ 1 กิโลกรัม) ราคา 225 บาท
- ราคาเปลือกกะลาเผา(คิดเฉพาะค่าขนส่งเฉพาะแต่ละพื้นที่ เนื่องจากเป็นวัสดุที่เคลื่อนย้ายจากกระบวนการผลิตกาเผา)
- ค่าขนส่งกิโลเมตรที่ 200 ขึ้นไป ราคากิโลเมตรละ 15 บาท ใช้รถบรรทุก ขนาด 25 ตัน ค่าขนส่งมาจากอำเภอปัว จังหวัดน่าน มาถึง อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี ระยะทาง 716 กิโลเมตร ใช้งบประมาณ 10,740 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 0.42 บาท
- ปริมาณการผลิตวัสดุเปลี่ยนสถานะต่อเปลือกกะลาเผา 1 กิโลกรัม
- วัสดุเปลี่ยนสถานะ 20% ของน้ำหนักเปลือกกะลาเผา เท่ากับ 200 กรัม

ประกอบด้วย ปาล์มน้ำมัน 100 กรัม
 ไขถั่วเหลือง 100 กรัม
 ผงตะไบเหล็ก 5.6 กรัม
 วัสดุ Coating(น้ำยางพารา)70% ของน้ำหนักเปลือกกะลากาแฟเท่ากับ 700 กรัม

ตารางที่ 36 แสดงราคาต้นทุนการผลิตวัสดุเปลี่ยนสถานะต่อ 1 กิโลกรัม

ค่าต้นทุนการผลิตวัสดุเปลี่ยนสถานะต่อ 1 กิโลกรัม				วัสดุ Coating น้ำยางพารา 700 กรัม	รวม ราคาต้นทุน ต่อ 1 กิโลกรัม
เปลือกกะลา กาแฟ 1 กิโลกรัม	ปาล์มน้ำมัน 100 กรัม	ไขถั่วเหลือง 100 กรัม	ผงตะไบเหล็ก 5.6 กรัม		
0.42 บาท	11 บาท	15 บาท	3.36 บาท	157.50 บาท	187.28 บาท

2. ค่าต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกสูตร C3

โดยผลิตขึ้นรูปจริงคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. จากสูตร C3 โดยแทนที่ทรายด้วยเปลือกกะลากาแฟ 30 เปอร์เซ็นต์ จะได้ส่วนผสมดังนี้ ปูน 1 ส่วน ต่อทราย 2.1 ส่วน ต่อหิน 5 ส่วน ต่อเปลือกกะลากาแฟ 0.9 ส่วน และปริมาณน้ำ 40 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมทั้งหมด

เทียบน้ำหนักจากปริมาณการผลิตต่อ 1 รอบการผลิต จำนวน 30 ก้อน ใช้ปริมาณส่วนผสมทั้งหมดดังนี้ (ราคาต้นทุนต่อก้อน = น้ำหนักปูน x ราคาต่อกิโลกรัม / ปริมาณการผลิต) : อ้างอิงจากราคาวัสดุก่อสร้างและแรงงาน ปีงบประมาณ 2565

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 จำนวน 15 กิโลกรัม (ราคาต้นทุนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อก้อน คือ 1.45 บาท) โดยราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม ราคาถุงละ 145 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 2.9 บาท
- ทรายหยาบ จำนวน 45 กิโลกรัม (ราคาต้นทุนของทรายหยาบต่อก้อน คือ 0.5 บาท) โดยราคาทรายหยาบ 1 ตัน ราคา 335 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 0.335 บาท
- หินฝุ่น จำนวน 75 กิโลกรัม (ราคาต้นทุนของหินฝุ่นต่อก้อน คือ 1.05 บาท) โดยราคาหินฝุ่น 1 ตัน ราคา 420 บาท คิดเป็นกิโลกรัมละ 0.42 บาท
- วัสดุเปลี่ยนสถานะ จำนวน 350 กรัม (ราคาต้นทุนของวัสดุเปลี่ยนสถานะต่อก้อน คือ 0.22 บาท) โดยราคาต้นทุนการผลิตวัสดุเปลี่ยนสถานะกิโลกรัมละ 187.28 บาท
- ราคาค่าแรงงานต่อก้อน คือ 0.22 บาท โดยเทียบจากราคาค่าแรงขั้นต่ำในจังหวัดนนทบุรี ปี 2565 ราคา 331 บาท (ประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง เรื่องอัตราค่าจ้างขั้นต่ำ)

ตำ (ฉบับที่ 10 พ.ศ.2565 กระทรวงแรงงาน) ทำการผลิตคอนกรีตบล็อกได้เฉลี่ยวันละ 1,500 ก้อน (อุทมนคอนกรีตบล็อก ตำบลบางกระสอ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี)

ตารางที่ 37 แสดงราคาต้นทุนต่อก้อนของการผลิตคอนกรีตบล็อกสูตร C3

น้ำหนัก/ ก้อน (กิโลกรัม)	ปูน/ก้อน (บาท)	ทราย/ ก้อน (บาท)	หิน/ก้อน (บาท)	วัสดุ เปลี่ยน สถานะ/ ก้อน (บาท)	ค่าแรง/ ก้อน (บาท)	ราคา รวม/ ก้อน (บาท)	ราคารวมค่า ดำเนินการ 10 % และ กำไร 15 %/ ก้อน (บาท)
6.91	1.45	0.5	1.05	0.22	0.22	3.44	4.35

จากการคำนวณต้นทุนการผลิตพบว่าคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 มีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 3.44 บาท เมื่อรวมค่าดำเนินการและกำไรแล้วจะมีราคาอยู่ที่ 4.35 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่าคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 โดยมีราคาขายอยู่กิโลกรัมละ 7 บาท และคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2 โดยมีราคาขายอยู่กิโลกรัมละ 5 บาท ทำให้สรุปได้ว่าคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีราคาถูกกว่าคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 อยู่ที่ 2.65 บาท และ 0.65 บาท

ตารางที่ 38 แสดงราคาคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3 เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกจากท้องตลาด

ชนิดคอนกรีตบล็อก	ราคาต่อก้อน (บาท)	เปรียบเทียบต้นทุนกับ คอนกรีตบล็อกจาก งานวิจัย (บาท)
คอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยสูตร C3	4.35	-
คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 1	7	2.65
คอนกรีตบล็อกจากท้องตลาดชนิดที่ 2	5	0.65

การนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้

จากผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านการนำคุณสมบัติการสะสมพลังงานความร้อนแฝง (Latent Heat Storage) ของวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุอาคาร โดยจะทำให้อุณหภูมิวัสดุอาคารสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุและสร้างความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำในวัสดุเพิ่มมากขึ้นทำให้ช่วยลดการแพร่ความชื้นเข้ามาในวัสดุอาคารได้นอกจากนั้นสามารถนำผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนไปประยุกต์ใช้ได้ ดังนี้ ในขั้นตอนการศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในด้านสะสมพลังงานได้พบว่าส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากพาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองในอัตราส่วน 1 ส่วนต่อ 1 ส่วน จะมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่ $37\text{ }^{\circ}\text{C} - 67.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้นหลอมเหลวที่ต่ำกว่าพาราฟินทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะได้เร็วกว่าพาราฟิน เป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นพิษต่อการใช้งานในมนุษย์สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับความร้อนที่ดีป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคารได้ โดยสามารถเลื่อนการใช้พลังงานจากช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุดมาเป็นช่วงเวลาที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดทำให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตพลังงานลดลง นอกจากนี้ยังมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เช่น แก้วดื่มกาแฟหรือเครื่องดื่มร้อนโดยวัสดุเปลี่ยนสถานะจะช่วยลดอุณหภูมิเครื่องดื่มให้เข้าสู่ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดื่มเครื่องดื่มอย่างรวดเร็ว โดยดูพลังงานและเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ทั้งนี้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดื่มเครื่องดื่มร้อนจะเป็นช่วงอุณหภูมิที่วัสดุเปลี่ยนสถานะหลอมเหลว และอุณหภูมิของเครื่องดื่มจะสามารถอยู่ในช่วงที่ต้องการไปได้นานขึ้น โดยวัสดุเปลี่ยนสถานะจะคายความร้อนกลับคืนสู่เครื่องดื่มและเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็นของแข็ง (Kanyarat Holasut, et al.2008) การใช้ประโยชน์จากวัสดุเปลี่ยนสถานะจากงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งทอที่เรียกว่า Intelligent Textiles เป็นสิ่งทอที่สามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นภายนอก ซึ่งอาจเป็นอุณหภูมิ แสง ความชื้น หรือสภาวะการใช้งานอื่น ๆ การตอบสนองอาจเป็นการเปลี่ยนสีเปลี่ยนสถานะการสั้น การการนำไฟฟ้า ขยายขนาดและความสามารถในการจัดเก็บพลังงานทำให้สิ่งทอที่มีส่วนประกอบของวัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถสวมใส่ได้ทุกฤดูกาลเพราะสามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการสวมใส่ให้เข้ากับสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ ส่วนในด้านงานสถาปัตยกรรมการใช้ประโยชน์จากวัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถนำไปใช้ในส่วนผสมของโครงสร้างอาคารเพื่อช่วยในการบ่มตัวของคอนกรีตโดยต้องนำไปผ่านกระบวนการ Encapsulation เพื่อป้องกันการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ยังนำไปใช้ในวัสดุประกอบอาคารที่ต้องการป้องกันความชื้นและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะคงที่ขณะใช้งานโดยนำไปเป็นส่วนผสมของผนังเบาประกอบอาคารที่ใช้กับผู้สูงอายุที่ต้องการอุณหภูมิภายในห้องคงที่ไม่ร้อนไม่หนาวเกินไป ซึ่งในช่วงวัยผู้สูงอายุจะมีอุณหภูมิร่างกายต่ำกว่า 36.2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าคนวัยอื่นๆ การที่สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่สามารถสร้างสภาวะที่ดีในการ

ดำรงชีวิตของผู้สูงอายุให้ดียิ่งขึ้น ในขั้นตอนการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนช่วงทดสอบ ค่าดูดซึมความชื้นของคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยพบว่าคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยมีค่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่ามาตรฐานตามของกระทรวงพลังงาน และต่ำกว่าค่า CIBSE Guide A : 2015 ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปประยุกต์ใช้ต่อยอดการผลิตคอนกรีตบล็อกที่เป็น Green Smart Materials มีคุณสมบัติในด้านการประหยัดพลังงานในอาคาร สามารถนำไปผลิตและเพิ่มมูลค่าการจำหน่ายคอนกรีตบล็อกประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและเป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถวางแผนการใช้พลังงานในอาคารต่อไปในอนาคตได้

ปัญหาที่พบในการวิจัย

1. ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุดิบพบปัญหาในการเตรียมวัสดุดิบที่คัดเลือกคือแกลบและเปลือกกะลาเผา ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซึมความชื้นอยู่แล้วเมื่อนำมาเตรียมการในงานวิจัยที่มีจำนวนมากทำให้เกิดความชื้นขึ้นต้องหาพื้นที่ขนาดใหญ่พอสมควรและมีลักษณะที่โปร่ง มีกระแสลมพัดผ่านตลอดเวลาควรนำวัสดุดิบไปตากให้แห้งก่อนนำไปทำวิจัยเพื่อลดการคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ
2. ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุเปลี่ยนสถานะพบปัญหาการใช้ผงตะไบเหล็กที่ช่วยลดช่วงอุณหภูมิของเหลวให้เร็วขึ้น เมื่อถึงขั้นตอนในการผสมในวัสดุเปลี่ยนสถานะที่หลอมเหลวแล้วผงตะไบเหล็กจะตกไปอยู่ก้นถังที่ผสมต้องเดินเครื่อง Coating Mixing ตลอดเวลาทำให้มอเตอร์ของเครื่องร้อนเพราะทำงานหนัก ต้องใช้พัดลมเข้าช่วยเป่าระบายความร้อน
3. ในถังผสมของเครื่อง Coating Mixing หลังจากเตรียมวัสดุเสร็จแล้วเกิดการเกาะตัวของวัสดุเปลี่ยนสถานะตามผิวของถังผสมต้องใช้เวลาในการขัดออก ซึ่งถ้าไม่ขัดออกจะทำให้สูตรที่ผสมถัดไปเกิดการคลาดเคลื่อนของปริมาณส่วนผสม
4. ในช่วงทดลองหาส่วนผสมเพื่อขึ้นคอนกรีตบล็อกทดสอบต้องใช้บล็อกที่มีคุณภาพที่ดีเพราะเวลาใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากพิวเจอร์บอร์ดมักมีการพองตัว จึงต้องใช้สก็อตเทปพันหลายรอบเพื่อรักษารูปทรงบล็อกคอนกรีตให้คงที่
5. ในการผสมสูตรทดลองคอนกรีตการใช้น้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดอาจทำให้ส่วนผสมไม่เข้าที่มีผลต่อการเทลงในแม่พิมพ์คอนกรีต ต้องคอยสังเกตและคาดคะเนในการเติมน้ำให้คอนกรีตได้ที่และไม่เหลวเกินไปในการทดสอบตามขั้นตอนของมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) มีหลายขั้นตอนซึ่งในช่วงสถานการณ์ระบาดของโรคโควิดทำให้สถานที่ทดสอบปิดตัว

ลง จึงต้องหาสถานที่ทดสอบใหม่ซึ่งบางครั้งอยู่ตามต่างจังหวัดทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางสูง จึง
ต้องมีการวางแผนขั้นตอนในการทดสอบให้รัดกุมและหาสถานที่สำรองไว้ก่อน



6. ในการทำการวิจัยการนำวัสดุธรรมชาติมาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลดการนำความร้อน หลายงานวิจัยมีกระบวนการทำงานที่คล้ายกันคือการหาสูตรต่างๆที่มีจำนวนสูตรค่อนข้างมากทำให้ต้องทำก่อนทดสอบหลายก่อนทำให้เสียเวลาในการขึ้นรูป ควรมีการทบทวนงานวิจัยวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องให้มากขึ้นเพื่อลดจำนวนตัวแปรเพื่อให้สูตรในการทดสอบลดลง สามารถสร้างแนวทางการดำเนินงานวิจัยใหม่ที่กระบวนการลดลงแต่ได้ตรงตามจุดประสงค์ที่ได้ตั้งไว้มากกว่าการทำตามแนวทางการวิจัยเดิมที่ทำมา

7. ในการทดสอบความสามารถในการลดความร้อนเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์หาเช่าหรือยืมได้ยาก ส่วนมากมีให้ยืมแต่อุปกรณ์ให้สมบูรณ์จึงต้องหาซื้ออุปกรณ์เอง เพื่อให้งานวิจัยดำเนินต่อไปได้ ดังนั้นในการวิจัยควรซื้อชุดลงไปถึงค่าตัวแปรที่ต้องการทดสอบให้ชัดเจน ตั้งแต่กระบวนการขั้นตอนในการทำวิจัยซึ่งจะทำให้สามารถสืบค้นหาเครื่องมืออุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ได้รวดเร็วขึ้น

8. ปริมาณก่อนทดสอบคอนกรีตที่มีจำนวนและน้ำหนักที่มากส่งผลต่อการขนส่งไปทำการทดสอบตามขั้นตอนต่างๆเกิดชำรุดแตกหักได้ง่ายและส่งผลถึงผลการสอบตามขั้นตอนต่างๆ ควรวางแผนการขนส่งให้เป็นระบบเพื่อความปลอดภัยและสะดวกในการลำเลียงขนส่ง

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรปรับเปลี่ยนขั้นตอนการวิจัยให้ตรงประเด็นตามวัตถุประสงค์งานวิจัยที่ตั้งไว้เช่นถ้าจะศึกษาเรื่องความชื้นควรสร้างขั้นตอนในการวิจัยเพื่อทดสอบเรื่องความชื้นก่อนนำไปทดสอบตัวแปรอื่นๆ ซึ่งจะทำให้ลดขั้นตอนการวิจัยและตัดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องออก

2. ควรทำการศึกษาวัสดุธรรมชาติให้ชัดเจนลึกซึ้งถึงปัจจัยต่างๆก่อนคัดเลือกนำมาใช้ในงานวิจัยจนถึงความคุ้มค่าในการจัดเก็บวัตถุดิบและการนำความชื้นออกจากวัสดุ เพื่อต่อยอดในการนำผลงานวิจัยคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมจากวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆให้เกิดประโยชน์อย่างแท้จริงในแวดวงวิชาการและขยายผลทางพาณิชย์ต่อไป ซึ่งบางครั้งมีการนำวัสดุธรรมชาติที่หลากหลายมาใช้ในงานในการวิจัยแต่ไม่สามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ต่อได้

3. ปริมาณน้ำมีผลต่อค่าความแข็งแรงคอนกรีตควรควบคุมให้ปริมาณน้ำในการผสมคอนกรีตมีปริมาณที่เท่ากันทุกสูตร

4. ควรใช้เครื่องผสมในการเตรียมส่วนผสมในการขึ้นรูปก่อนคอนกรีตทดสอบทุกขั้นตอน เพราะจะทำให้ผลทดสอบที่ได้มีความน่าเชื่อถือ มากกว่าการผสมด้วยมือเปล่าที่อาจคลาดเคลื่อนได้

5. ในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกจริงขนาด 70 x 190 x 390 มม. ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบสายพานลำเลียง ในช่วงกระบวนการอัดกระทุ้งส่วนผสมคอนกรีตเข้าแม่พิมพ์ควรกำหนดจำนวนการกระทุ้งให้เท่ากันทุกครั้ง เพื่อให้คอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นและพื้นผิวคอนกรีตเต็มแม่พิมพ์ไม่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในการนำคอนกรีตบล็อกไปทดสอบตามมาตรฐานต่างๆที่กำหนดไว้

6. ควรมีการศึกษาวัสดุธรรมชาติที่จะนำมาผสมในคอนกรีตบล็อกก่อน เพื่อหาวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมทั้งในแง่ลักษณะกายภาพ คุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติและความคุ้มทุนก่อนนำมาใช้ผสมในคอนกรีตบล็อก ซึ่งวัสดุธรรมชาติบางชนิดต้องมีค่าดำเนินการในการจัดการความชื้นสูงทำให้ไม่คุ้มค่าในการวิจัยและการต่อยอดลงทุนในเชิงพาณิชย์

7. ควรทำการทดลองในขั้นตอนการเปรียบเทียบคุณสมบัติมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) ค่าการนำความร้อน ค่าดูดซึมน้ำและความสามารถในการลดความร้อนระหว่างสูตรคอนกรีตบล็อกจากงานวิจัยที่ผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะกับคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุ เพื่อให้ผลต่างอย่างชัดเจนของการดูดซึมน้ำและการลดความร้อนในสภาวะปกติและในสภาวะที่มีความชื้นเกิดขึ้นโดยไม่มีปัจจัยตัวแปรอื่นมาเกี่ยวข้อง

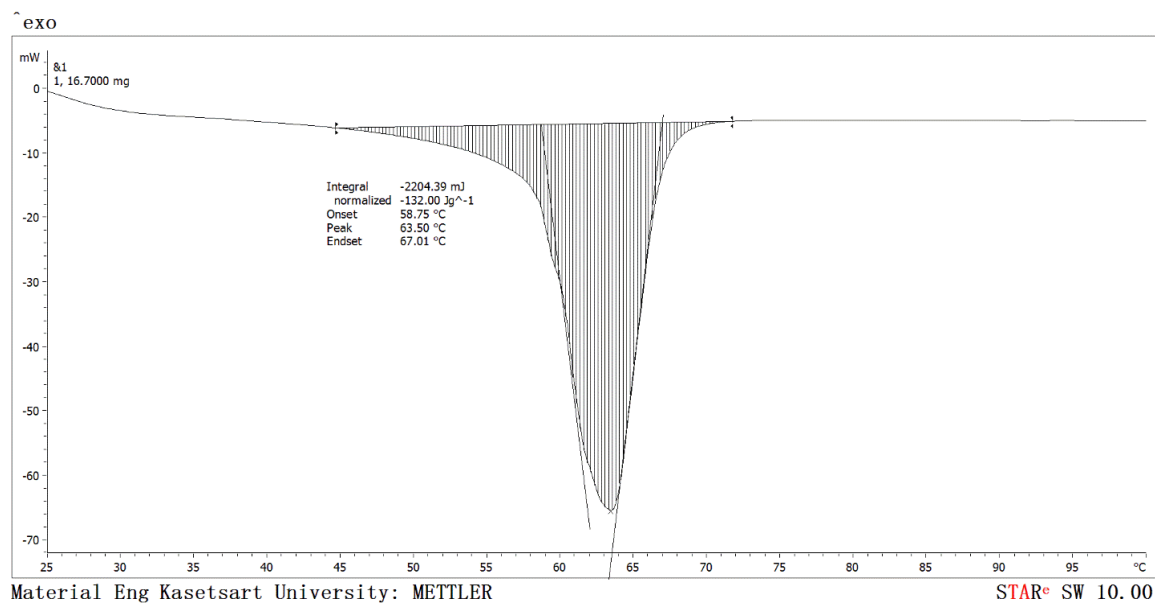




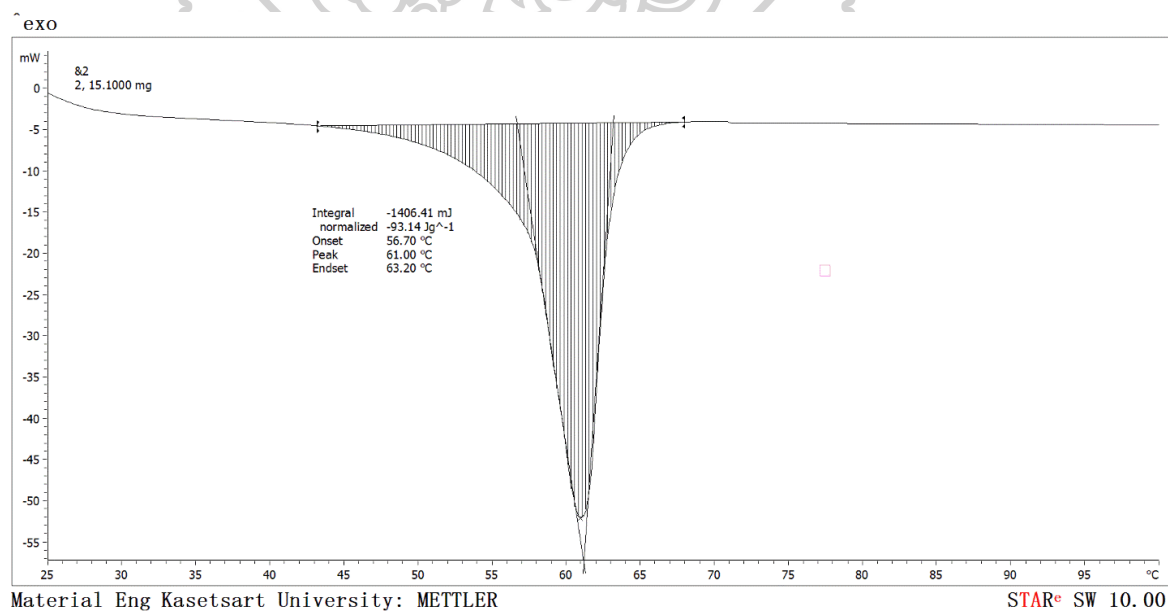
ผลการทดสอบจุดหลอมเหลววัสดุเปลี่ยนสถานะ

ทำการทดสอบที่ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

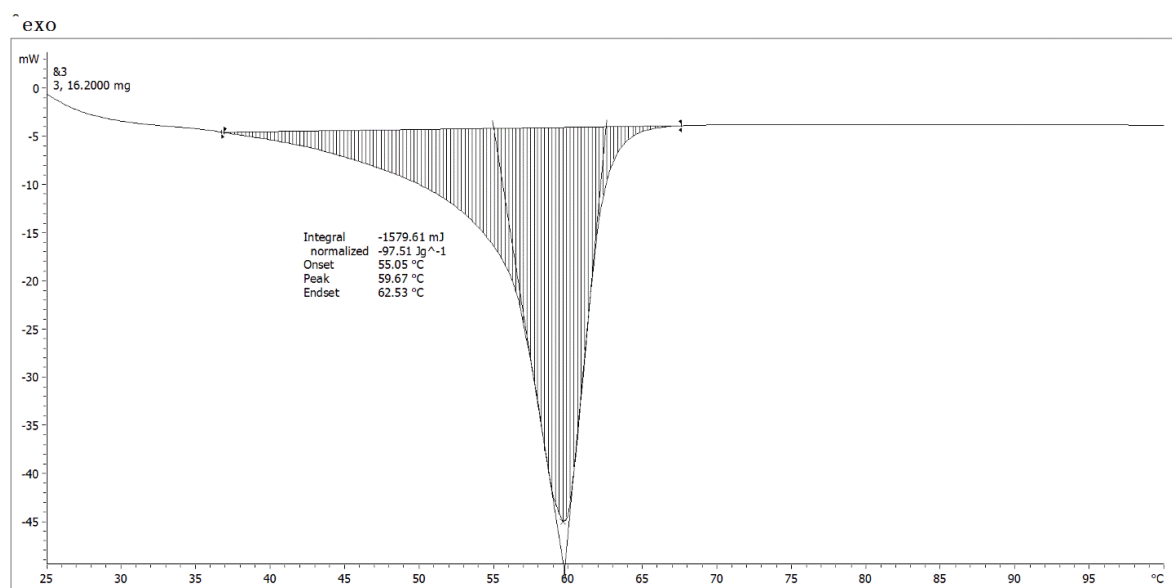
ส่วนผสมที่ 1



ส่วนผสมที่ 2

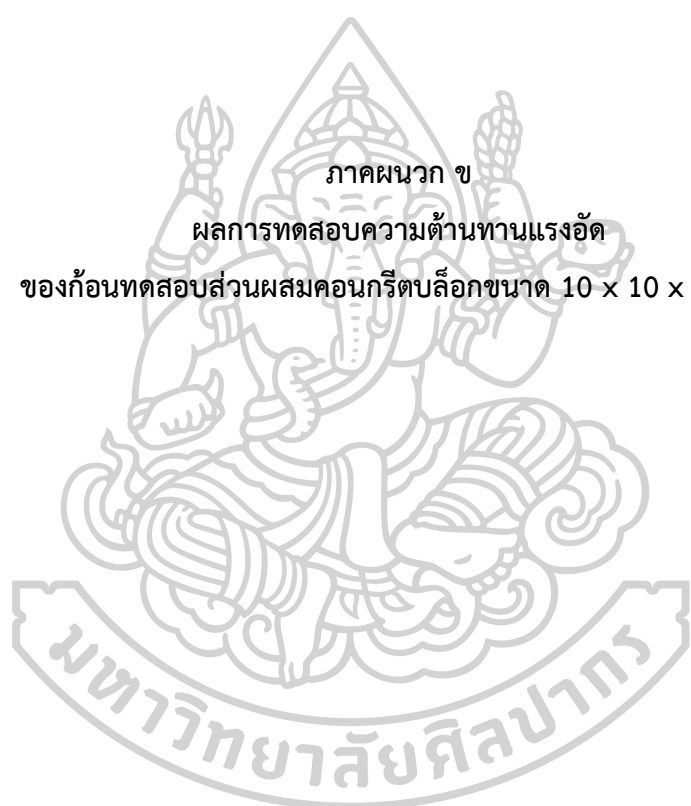


ส่วนผสมที่ 3



Material Eng Kasetsart University: METTLER

STAR[®] SW 10.00



ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด
ของก้อนทดสอบส่วนผสมคอนกรีตบล็อกขนาด 10 x 10 x 10 ซม.

ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนทดสอบส่วนผสมคอนกรีตบล็อกขนาด 10 x 10 x 10 ซม.

ทำการทดสอบที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

สูตร A1



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk la, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(1)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f _c (MPa)	Remarks
1	-	25-Mar-64	30.2	100.0	-	3.01	
2	-	25-Mar-64	21.3	100.0	-	2.13	
3	-	25-Mar-64	24.5	100.0	-	2.45	A1.xtux
4	-	25-Mar-64	21.9	100.0	-	2.19	
5	-	25-Mar-64	20.1	100.0	-	2.00	

AVERAGE 2.36

- * 1. เฉพาะสเปคมีซีได้กับวัสดุที่นำมาทดสอบเท่านั้น
- * 2. ข้อมูล "ชื่อลูกค้า", "โครงการ" "อายุของตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ข้อมูลเหล่านี้ไม่ได้รับรอง
- * 3. ผลการคั่งงมีผลเฉพาะโครงการนี้

อนุมัติโดย


 อาจารย์ ดร.ดารพร ดุสิงห์
 ผู้ตรวจสอบผลการทดสอบ
 วันที่ 22 มี.ค. 2564

สูตร A2



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASSETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk la, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(2)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f _c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	16.6	100.0	-	1.66	
2	-	25-Mar-64	20.5	100.0	-	2.05	
3	-	25-Mar-64	17.4	100.0	-	1.74	A2.xtux
4	-	25-Mar-64	16.8	100.0	-	1.67	
5	-	25-Mar-64	18.5	100.0	-	1.85	

- * 1. ผลทดสอบใช้ได้กับวัสดุที่นำมาทดสอบเท่านั้น
- * 2. ข้อมูล "ชื่อลูกค้า", "โครงการ" "อายุของตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ซึ่งบุคลากรในลิบิรับของ
- * 3. ผลการคำนวณมีรายละเอียดหากถามได้

AVERAGE

1.79

อนุมัติโดย



สูตร A3



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk (a. Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 819-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(3)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสมนนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	F _c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	12.1	100.0	-	1.21	
2	-	25-Mar-64	11.3	100.0	-	1.13	
3	-	25-Mar-64	10.7	100.0	-	1.06	A3.xtux
4	-	25-Mar-64	12.6	100.0	-	1.26	
5	-	25-Mar-64	9.2	100.0	-	0.92	

- * 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีขนาดทดสอบเท่านั้น
- * 2. ชื่อลูกค้า, "โครงการ" "อายุของตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ข้อมูลเหล่านี้มิได้รับรอง
- * 3. ผลการทดสอบนี้มิใช่ของทรัพย์สินทางปัญญา

AVERAGE 1.12

อนุมัติโดย



อาจารย์ ดาราพร สุสิทธิ์
ผู้ตรวจสอบผลการทดสอบ

วันที่ 22 มีนาคม 2564

สูตร A4



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk Ia, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(4)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	F _c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	6.5	100.0	-	0.65	
2	-	25-Mar-64	5.4	100.0	-	0.54	
3	-	25-Mar-64	5.6	100.0	-	0.56	A4,xtux
4	-	25-Mar-64	7.8	100.0	-	0.78	
5	-	25-Mar-64	6.9	100.0	-	0.69	

AVERAGE 0.64

- * 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีสภาพเช่นเท่านั้น
- * 2. ชื่อลูกค้า, "โครงการ" "อายุของตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ซึ่งผู้ดูแลส่วนนี้ไม่มีใบรับรอง
- * 3. เอกสารอ้างอิงไม่มีรายละเอียดการแก้ไข

อนุมัติโดย



วันที่ 22 MAR 2014

สูตร B1



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk la, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(5)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f _c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	30.6	100.0	-	3.05	
2	-	25-Mar-64	24.0	100.0	-	2.40	
3	-	25-Mar-64	22.7	100.0	-	2.27	B1_xtux
4	-	25-Mar-64	33.4	100.0	-	3.34	
5	-	25-Mar-64	32.4	100.0	-	3.24	

- * 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีสภาพเช่นเท่านั้น
- * 2. ข้อมูล "ชื่อลูกค้า", "โครงการ" "อายุของตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ข้อมูลเหล่านี้ไม่ใช่รับรอง
- * 3. ผลการทดสอบมีระยะเวลาหรือการแก้ไข

AVERAGE

2.86

อนุมัติโดย


อาจารย์ คารพร มุสิงห์
ผู้ตรวจสอบผลการทดสอบ
วันที่ 22 มี.ค. 2564

สูตร C3



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk Ia, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(6)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f _c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	31.0	100.0	-	3.09	
2	-	25-Mar-64	25.1	100.0	-	2.50	
3	-	25-Mar-64	22.8	100.0	-	2.28	C3.tux
4	-	25-Mar-64	28.3	100.0	-	2.83	
5	-	25-Mar-64	26.2	100.0	-	2.62	

- * 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีขนาดคอนกรีตเท่านั้น
- * 2. ชื่อลูกค้า, โครงการ, อายุของตัวอย่าง มาจากลูกค้า ข้อมูลเหล่านี้มิได้รับรอง
- * 3. ผลการตั้งไม่มีผลหากมีการแก้ไข

AVERAGE 2.67

อนุมัติโดย



วันที่ 22 มี.ค. 64

สูตร C4



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk la, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(7)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f'_c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	22.0	100.0	-	2.19	
2	-	25-Mar-64	18.5	100.0	-	1.84	
3	-	25-Mar-64	14.8	100.0	-	1.48	C4.xtux
4	-	25-Mar-64	24.2	100.0	-	2.42	
5	-	25-Mar-64	23.1	100.0	-	2.31	

- * 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีขนาดทดสอบเท่านั้น
- * 2. ชื่อชุด "ชื่อลูกค้า", "โครงการ" "อายุของตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ซึ่งผู้ทดสอบไม่ได้รับรอง
- * 3. ผลการวิจัยนี้มิใช่ของบริการวิชาการ

AVERAGE 2.05

อนุมัติโดย



สูตร C5



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASSETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk la, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(8)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f _c (MPa)	Remarks
1	-	25-Mar-64	18.6	100.0	-	1.86	
2	-	25-Mar-64	15.3	100.0	-	1.53	
3	-	25-Mar-64	14.0	100.0	-	1.40	C5.xtux
4	-	25-Mar-64	18.1	100.0	-	1.80	
5	-	25-Mar-64	20.5	100.0	-	2.05	

- * 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่น้ำหนักสอบเท่ากัน
- * 2. ข้อมูล "ชื่อลูกค้า", "โครงการ" "อายุของตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ข้อมูลเหล่านี้ไม่ได้รับรอง
- * 3. ผลการคำนวณไม่มีผลต่อการปฏิบัติงาน

AVERAGE

1.73

อนุมัติโดย



สูตร D2



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk Ia, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(9)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f _c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	24.1	100.0	-	2.41	
2	-	25-Mar-64	25.1	100.0	-	2.50	
3	-	25-Mar-64	20.2	100.0	-	2.02	D2.xtux
4	-	25-Mar-64	23.8	100.0	-	2.38	
5	-	25-Mar-64	26.7	100.0	-	2.66	

AVERAGE 2.39

- * 1. มอดุลยภัณฑ์มีขีดจำกัดน้ำหนักทดสอบเท่านั้น
- * 2. ชื่อชุด "ซีเมนต์ขาว", "โครงการ" "อายุของตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ข้อมูลเหล่านี้ไม่มีให้บริการ
- * 3. เลขสารคดีไม่มีรายงานหรือความถี่

อนุมัติโดย



สูตร D3



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk La, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(10)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสงมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	F _c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	16.3	100.0	-	1.63	
2	-	25-Mar-64	17.2	100.0	-	1.71	
3	-	25-Mar-64	21.9	100.0	-	2.19	D3.xtux
4	-	25-Mar-64	17.7	100.0	-	1.77	
5	-	25-Mar-64	17.2	100.0	-	1.71	

AVERAGE

1.80

- 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีขนาดของหน้าตัด
- 2. ชื่อลูกค้า "ชื่อลูกค้า", "โครงการ" "รายละเอียดตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ซึ่งผลการนี้ไม่ได้รับรอง
- 3. ผลการสอบไม่มีผลผูกพันหรือการรับประกัน

อนุมัติโดย



อาจารย์ คารพพร มุสิงห์
ผู้ตรวจลงผลการทดสอบ

วันที่ 22 มี.ค. 2564

สูตร D4



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk la, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 265-3-64(11)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 25-มี.ค.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f _c (MPA)	Remarks
1	-	25-Mar-64	11.6	100.0	-	1.16	
2	-	25-Mar-64	14.8	100.0	-	1.48	
3	-	25-Mar-64	16.5	100.0	-	1.65	D4.xtux
4	-	25-Mar-64	18.6	100.0	-	1.86	
5	-	25-Mar-64	11.9	100.0	-	1.19	

- * 1. ผลทดสอบมีใช้สำหรับวัสดุที่มีขนาดลองเท่านั้น
- * 2. ชื่อลูกค้า, โครงการ, วัสดุของพัสดุฯ มาจากลูกค้า ชื่อของสถานีไม่ได้ใช้จริง
- * 3. ผลการตั้งไม่มีระบบหรือการรวมโยธา

AVERAGE

1.47

อนุมัติโดย



อาจารย์ คารวพร อู่อึ้ง
ผู้ตรวจสอบผลการทดสอบ

วันที่

22 มี.ค. 64



ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. จาก
สูตร C3

ทำการทดสอบที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk la, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Concrete Cube)

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา

Material Testing and Civil Engineering Services

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

เลขที่ : 049-6-65(1)

ชื่อโครงการ :

วันที่รับตัวอย่าง : 9-มี.ย.-64

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Casted Date	Tested Date	Ultimate force (kN)	Sectional area (cm ²)	Weight (kg)	f_c (MPa)	Remarks
1	-	25-Mar-64	96.8	273.0	-	3.54	
2	-	25-Mar-64	72.9	273.0	-	2.67	
3	-	25-Mar-64	96.5	273.0	-	3.53	
4	-	25-Mar-64	100.9	273.0	-	3.69	
5	-	25-Mar-64	87.6	273.0	-	3.21	


AVERAGE 3.33

- * 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีขนาดของบล็อกเท่านั้น
- * 2. ชื่อลูกค้า, โครงการ, อายุของตัวอย่าง มาจากรูปถ่าย ชื่อและสถานที่ไม่ได้รับรอง
- * 3. เลขสารคดีไม่มีหรือลบหรือถูกรวมไป

อนุมัติโดย



ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. จากสูตร C3
ทำการทดสอบที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AT SRIRACHA
KASETSART UNIVERSITY SRIRACHA CAMPUS

199 Moo 6, Sukhumvit Rd, Thung Suk la, Sriracha, Chonburi, Thailand 20230
Tel : (+66) 038 354 580-6 ext 2805 Fax : (+66) 038 354 849-51

Compressive Strength Test Report
(Brick)

ลูกค้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

ชื่อโครงการ :

ตำแหน่งของตัวอย่าง :

โครงการทดสอบวัสดุและบริการวิชาการทางวิศวกรรมโยธา
Material Testing and Civil Engineering Services

เลขที่ : 049-6-65(2)
วันที่รับตัวอย่าง : 9 มิ.ย. 65
เจ้าหน้าที่ทดสอบ : นายนิยม แสนมนตรี

Specimen No.	Tested Date	Sectional (cm ²)	Weight (g)	Moisture and Water (%)	Remarks
1	9 มิ.ย.-65	273.0	704.0	5.1	
2	9 มิ.ย.-65	273.0	710.0	4.3	
3	9 มิ.ย.-65	273.0	716.0	4.3	สูง
4	9 มิ.ย.-65	273.0	684.0	4.7	
5	9 มิ.ย.-65	273.0	726.0	4.0	
AVERAGE				4.48	

* 1. ผลทดสอบนี้ใช้ได้กับวัสดุที่มีมาตรฐานเท่านั้น
* 2. ชื่อลูกค้า "ชื่อลูกค้า", "โครงการ" "วัสดุหรือตัวอย่าง" มาจากลูกค้า ข้อมูลเหล่านี้ไม่มีสิทธิ์
* 3. ผลการดำเนินงานมีรายละเอียดตามใบ

อนุมัติโดย _____

อาจารย์ อนุสิทธิ์ พงษ์พิงค์
ผู้ตรวจสอบผลการทดสอบ
วันที่ 16 มิ.ย. 2564

ผลการทดสอบการหดตัวทางยาวหรือการหดตัวแห้งของก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. จากสูตร C3

ทำการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

แบบ ๖๓.1



รายงานการทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง
วัสดุผสม Mix

เครื่องหมาย / ตรา

หมายเลขปฏิบัติการ
L64/06034.1


ผลการทดสอบ

การหดตัวแห้ง ที่อายุ 28 วัน, ร้อยละ

- 0.057

ชื่อผู้ให้บริการ	นายศรันยู สว่างเมธ
ที่อยู่ผู้ให้บริการ	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร 168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวังพิริยธรรมา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300
ลักษณะตัวอย่าง	ผงสี่เหลี่ยม
วันที่ทดสอบ	4 สิงหาคม 2564 - 6 กันยายน 2564
วิธีทดสอบ	ASTM C157/C157M - 17

ผู้รับรอง


(นายอนันต์ ป้อมประสิทธิ์)
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

ผู้รายงาน


(นายจรูญ จันทร์สมบูรณ์)
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มม. จากสูตร C3

ทำการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

แบบ ฐค.1



รายงานการทดสอบ

ชื่อวัสดุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ครา	หมายเลขปฏิบัติการ
ก้อนทดสอบคอนกรีต 30x30 cm 2 ก้อน, วัสดุ Mix เพื่อทดสอบ	-	L64/06035.1

ผลการทดสอบ

สภาพนำความร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 23.8 องศาเซลเซียส, วัดต่อเมตร-เคลวิน	0.046
สภาพต้านทานความร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 23.8 องศาเซลเซียส, ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์	0.302

ชื่อผู้ให้บริการ	นายศรีณัฐ สร้างเมฆ
ที่อยู่ผู้ให้บริการ	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มทร.พระนคร 168 ถ.ศรีอยุธยา แขวงวังหินยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
ลักษณะตัวอย่าง	แผ่นวัสดุ ขนาดโดยประมาณ 300 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร x 37 มิลลิเมตร
วันที่ทดสอบ	17 สิงหาคม 2564
วิธีทดสอบ	ASTM C 518-17

ผู้รับรอง

 (นายอนนท์ ป้อมประสิทธิ์)
 นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

ผู้รายงาน

 (นางสาวเสาวลักษณ์ อุกฤษฏาวิฑิต)
 นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัสดุตัวอย่างที่ได้ทดสอบ/สอบเทียบเท่านั้น ไม่รับรองวัสดุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง
 ห้ามคัดลอกไปรับรองหรือรายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร
 กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
 ถนนพระรามที่ 6 แขวงวังใหม่ เขตปทุมธานี กรุงเทพมหานคร 10400 ประเทศไทย

หน้า 2/2

รายการอ้างอิง

Acurio, Karen, Andrés Chico-Proano, Javier Martínez-Gómez, Álvaro F. Ávila and Marco Orozco (2018). "ThermaKaren Acurio, Andrés Chico-Proano, Javier Martínez-Gómez, Álvaro F. Ávila and Marco Orozco. (2018). "Thermal performance enhancement of organic phase change materials using spent diatomite from the palm oil bleaching process as support." **Construction and Building Materials** 192: 633-642.

Elie Awwad, Mounir Mabsout, Bilal Hamad, Mohamad Talal Farran and Helmi Khatib. (2012). "Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers." **Construction and Building Materials** 35: 710-717.

Dorothy Bunny Bowen. (2005). Soy Wax: An Alternative Resist. **Prepared for the Kuala Lumpur International Batik Convention**, December 2005.

Kerry Clines. (2017). **Adding paraffin oil to concrete can create roads that de-ice themselves**. Available from <https://www.equipmentworld.com/better-roads/article/14968101/adding-paraffin-oil-to-concrete-can-create-roads-that-de-ice-themselves>.

Plook Creator. (2560). **พืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่**. Accessed 30 March 2020. Available from <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/63521/-scibio-sci->

Deepcleanexpert. **ความชื้นในผนัง ... สิ่งที่ต้องระวัง (ตอนที่ 2)**. เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม 2565. เข้าถึงได้จาก

<https://www.deepcleanexpert.com/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B9%88%E0%B8%87%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88-2/>.

Ibrahim Dincer and Sadik Dost. (1996). "A perspective on thermal energy storage systems for solar energy applications." **International Journal of Energy Research** 20,6: 547-557.

- The Chartered Institution of Building Services Engineers. (2015). **CIBSE Guide A Environmental design**. London: CIBSE.
- S.M. Hasnain. (1998). "Review on on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: heat storage materials and techniques." **Energy Convers** 39,11: 1127-1138.
- Ahmed Hassan, Mohammad Shakeel Laghari and Yasir Rashid. (2016). "Micro-Encapsulated Phase Change Materials: A Review of Encapsulation, Safety and Thermal Characteristics." **Sustainability** 8,10: 1046-1078.
- Joseph Lstiburek. (2006). "Building Science Adventures In Building Science ." **Building Science Corporation**: 4.
- Tumadhir M and Al-Jabiri. (2006). "Properties of concrete containing paraffin wax." **Journal of University of Babylon** 11,5: 835-840.
- American Society for Testing and Material. (2010). Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus. In **Annual book of ASTM standard**, : 152-166. West Conshohocken: ASTM.
- Harald Mehling and Luisa F. Cabeza. (2008). **Heat and Cold Storage with PCM: An Up to Date Introduction into Basics and Applications**. Heidelberg: Springer Berlin.
- Pania Newell and Yunping Xi. (2012). "Effect of Phase-Change Materials on Properties of Concrete." **Aci Materials Journal** 109,1: 71-80.
- E OYETOLA and Mohammed Abdullahi. (2006). "The Use of Rice Husk Ash in Low - Cost Sandcrete Block Production." **Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies** 5: 58-70.
- Anna Laura b Piselloa, Antonella D' Alessandroc and Claudia Fabianib (2016). "Multifunctional analysis of innovative PCM-filled concretes." 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, Turin, ITALY , 11-13 September 2016.
- N.VENKATA REDDY and I.S.ANVESH REDDY (2016). "STUDY ON SELF CURING CONCRETE USING LIQUID PARAFFIN WAX AS EXTERNAL AGENT." **International Journal of Engineering Research and General Science** 4,6(November-December):

29-34.

- SIRICHAJ. (2559). ส่วนประกอบของเชอร์รี่กาแฟ (Coffee Cherry Physiology). เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม 2563. เข้าถึงได้จาก <https://beanshere.com/posts/coffee-cherry-physiology-3/>.
- D Snoeck, B. Priem, P. Dubruel and N. De Belie (2016). "Encapsulated Phase-Change Materials as additives in cementitious materials to promote thermal comfort in concrete constructions." **Materials and Structures** 49,1: 225-239.
- Javad Torkaman, Alireza Ashori and Ali Sadr Momtazi (2015). "Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks." **Construction and building materials** 50: 432-436.
- Yotsawat S. (2558). **รวมวัสดุยอดเยี่ยมที่ คอนกรีต และ บ้านจัดสรร สมัยนี้มักนิยมใช้กัน**. เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม, 2563. เข้าถึงได้จาก <https://thinkofliving.com/article>.
- สมศณ เกียรติทอง. (2556). "ความหนาแน่นกำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับดินเซรามิกและเศษใบไม้." **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 21,3 (กรกฎาคม - กันยายน): 213-217.
- สมชาย เจียรจิตต์สวัสดิ์. (2558). การพัฒนาระบบสะสมพลังงานความร้อนแฝงร่วมความร้อนสัมผัส สำหรับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบรวมรังสีแสงอาทิตย์. ม.ป.ท.: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ธรรมมา เจียรธรวานิช. (2558). "การพัฒนาระบบสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก." **วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ** 25,1 (มกราคม-เมษายน) 1-10.
- กนกเนตร เพ็ชรทองช่วย และ โสภกา วิศิษฐ์ศักดิ์. (2561). "การพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติด้านการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกจากฟางข้าว." **วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และ งานสร้างสรรค์** 5, 1 (มกราคม - มิถุนายน 2018) 313-337.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม 2565. เข้าถึงได้จาก www.tmd.go.th.
- ทวิช กล้าแท้. (2560). "การใช้ประโยชน์จากเปลือกหอยนางรมบดในผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสาน." **วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร** 11,2: 167-177.
- กันยรัตน์ โทละสุต, ประสงค์ วงศ์วิชา, ถาวร ศรีชมภู, ทิพวรรณ ม่วงสำเภา และ อาทิตย์ ไชยอำนาจ. (2551). วัสดุเปลี่ยนเฟสเพื่อช่วยรักษาความร้อนในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์. ใน **รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 3 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22**. 258-261. ปทุมธานี: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- คำชาย พันทวงศ์, โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์ และ โจเซฟ เคดารี. (2557). การพัฒนาบล็อกปูนซีเมนต์ขาวผสม ฟางข้าวเสริมไม้ไผ่. ใน **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์**. 17-24. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล. (2552). "ผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบ." **วารสารวิจัยและสารสถาปัตยกรรม/การผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์** 6,1 (มกราคม-มิถุนายน): 49-63.
- กิจชัย จิตขจรวานิช. (2544). "แนวคิดใหม่เกี่ยวกับการศึกษาวิจัยเรื่องสภาวะสบาย." หน้าจั่ว 18: 175-181.
- ชาญ ราชวงศ์, กิตติพงษ์ ธารเอี่ยม และ พิจิตร บัวระภา (2555). **การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนของถ่านชีวมวลอัดขึ้นรูป**. ม.ป.ท.: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น.
- นิตยรัตน์ ดอเลื้อย. (2552). "วัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง." **วารสารสถาบันอิสลามและอาหรับศึกษา มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์** 1,3 (กันยายน-ธันวาคม): 48-62.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2549). **ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต**. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปริญญา มัทธนทวี และ ทยากร จารุชัยมนตรี (2559). **การศึกษาเปรียบเทียบสภาพความชื้นและการใช้พลังงานของอาคารปรับอากาศที่ใช้ผนังนอกแบบต่างๆโดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์**. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย. (2555). "การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากผักตบชวา." **วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร**.
- พงษ์โสภณ, พิมลพรรณ (2541). **การศึกษาการเก็บสะสมพลังงานความร้อนด้วยเปลี่ยนเฟสแบบพาราฟินบรรจุในท่อกลม**. ม.ป.ท.: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. "Hygroscopic." เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม, 2563, เข้าถึงได้จาก <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0377/hygroscopic>.
- พีระพงศ์ กัทลี และ เซาว์ อินทร์ประสิทธิ์ (2555). คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า ก่อนคั่วและหลังคั่ว. ใน **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9: ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน**. 97-104. นครปฐม: มหาวิทยาลัย

เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สำนักงานวิทยาเขตกำแพงแสน กองบริหารวิชาการ
และนิสิต

บัณฑิต รัชชาติ. (2548). "การใช้ถั่วแกลบไม่บดในการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก."

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี.

วรรณช ดีละมัน, กัลทิมา เซาว์ชาญชัยกุล และ กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์ (2559). **รายงานฉบับสมบูรณ์**

โครงการการพัฒนาและผลิต อิฐบล็อกมวลเบาโดยการผสมเส้นใยธรรมชาติ.

กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระ
นคร

วิเชียร ซาลี และ ญัฐกร แนบทอง (2555). "การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ไม่ผ่านการบดในงาน

คอนกรีต." วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 17,2: 38-49.

ศิริรัมย์, ณรงค์ (2546). "การสกัดและการหาลักษณะเฉพาะของเพคตินที่ได้จากกากฝรั่ง." วิทยาศาสตร์

มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศูนย์ข่าวพลังงาน. (2564). **โรงกลั่นเร่งปรับตัวสู่โลกร้อน ชูเทคโนโลยีช่วยลดก๊าซเรือนกระจกและ**

พลังงาน. เข้าถึงเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2565. เข้าถึงได้จาก

<https://www.energynewscenter.com>.

สมชาย มณีวรรณ, สุริยงค์ ประชาเขียว และ พรสวรรค์ อมรศักดิ์ชัย. (2550). **อิทธิพลของฟองอากาศที่**

มีผลต่อการดูดซึมความชื้นในเนื้อวัสดุก่อสร้าง. เข้าถึงเมื่อ 21 พฤษภาคม, 2560, เข้าถึง
ได้จาก

https://www.tsme.org/home/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=17:me-nett212550&Itemid=35.

ศรัณ อนุกุลพันธ์. (2548). **การศึกษารับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกธรรมดา**

ผสมถั่วปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
หนือ.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายศรัณยู สว่างเมฆ
วัน เดือน ปี เกิด	20 กันยายน 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดน่าน
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขานวัตกรรมการบริหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	90/1327 หมู่ที่ 9 หมู่บ้านเดอะวิลล่า ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
ผลงานตีพิมพ์	“การเตรียมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ก่อนผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร” วารสารสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวิจัย (Built Environment Inquiry – BEI) ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน 2565)

