

การเตรียมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ ก่อนผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร Preparation of Natural Materials with Organic Phase–Change Materials before Mixing in Concrete Blocks for Reduce Heat Conduction to the Building

สรณัญญ์ สว่างเมฆ* และ สัทธา ปัญญาแก้ว**
Saranyoo Sawangmake* and Satta Panyakaew**

Received : September 3, 2021

Revised : March 7, 2022

Accepted : March 9, 2022

บทคัดย่อ

คอนกรีตบล็อกนิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูก ซึ่งการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างปัจจุบันให้ความสำคัญกับการประหยัดพลังงานในอาคาร คอนกรีตบล็อกมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หินกรวด ทำให้เป็นตัวนำความร้อนเข้ามาในอาคารและมีน้ำหนักมาก จึงมีการนำเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติต่างๆ ที่มีเส้นใยเซลลูโลสมาเป็นส่วนผสมทดแทนวัสดุเดิม แต่เกิดปัญหาของเส้นใยเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติในการดูดซึมความชื้นทำให้เกิดการสะสมความชื้นในคอนกรีตบล็อก ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้น งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความชื้นและพัฒนาวิธีลดความชื้นที่เกิดขึ้นในคอนกรีตบล็อกโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) จากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก

จากการศึกษาพบว่าวิธีการที่ความชื้นผ่านระบอบกรอบอาคารทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุคือวิธี Capillary Suction และ วิธี Vapor Diffusion ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Coefficient) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ซึ่งวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคือการใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material) เพื่อป้องกันความชื้นที่จะเข้ามาในคอนกรีตบล็อก ส่วนการศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกที่มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาสู่ Green Smart Buildings Materials พบว่า มีวัสดุธรรมชาติที่มีความน่าสนใจและมีลักษณะกายภาพที่เหมาะสมอยู่ 2 ชนิด คือ แกลบและเปลือกกะลาเผา จึงได้นำมาศึกษาเปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำหลังจากนำวัสดุธรรมชาติทั้ง 2 ชนิด มาปรับสภาพด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะตามสูตรที่กำหนดไว้

* หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพมหานคร 10200 (บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่อง การลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร)

** สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพมหานคร 10200

* Doctor of Philosophy Program in Architecture, Faculty of Architecture, Silpakorn University, Bangkok, Thailand, 10200

** Program in Architecture, Faculty of Architecture, Silpakorn University, Bangkok, Thailand, 10200

Corresponding author E-mail: saranyoo.s@rmutp.ac.th

จากผลการทดสอบชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปทดสอบเปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำ พบว่า ส่วนผสมที่ 3 ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากปาล์มและวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองในอัตรา 1 : 1 สามารถลดอุณหภูมิจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 37°C - 67.5°C และใช้เทคนิค Encapsulation Phase Change Material มาปรับวัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing ผิวของวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา ก่อนนำไปทดสอบการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและคายน้ำไว้มากที่สุดของแกลบ และเปลือกกะลาเผา พบว่า สูตร B1 ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเปลือกกะลาเผาปริมาณ 1 กิโลกรัม ต่อวัสดุเปลี่ยนสถานะ 200 กรัม ต่อน้ำยางพารา 700 กรัม มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและใช้เวลามากที่สุดก่อนถึงจุดอิ่มตัวและหลังจากพักไว้เพื่อให้น้ำหายหมดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีอัตราการคายน้ำเร็วที่สุด ซึ่งถือว่าสูตรการทดสอบนี้ได้ผลที่ดีเหมาะสมจะนำไปเป็นสูตรต้นแบบปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลด Moisture Content ที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีตบล็อก

Abstract

Concrete blocks are widely used in building construction due to their low cost. In addition, the selection of materials for construction is currently focused on saving energy in the building. Because concrete blocks are a mixture of cement, stone and gravel, they are heavy and conduct heat into the building, fibers from various natural materials with cellulose fibers as an ingredient to replace the original material are used. Nevertheless, the problem of cellulose fiber is its moisture absorption property, which causes moisture accumulation in the concrete block and results in higher thermal conductivity in the concrete block. Therefore, this research aimed to study the factor affecting humidity and developing a method to reduce moisture occurring in concrete blocks by using Phase Change Material (PCM) from nature to apply in the process of preparing natural materials before being mixed in concrete blocks.

The study found that the method by which moisture through the building frame system causes moisture to accumulate in the material is Capillary Suction Method and Vapor Diffusion Method. This increases the coefficient of thermal conductivity of the material. The method for reducing moisture content in concrete blocks that does not affect the physical properties of the material is to use latent heat energy in the concrete block mixture by using Phase Change Materials (PCM) to prevent moisture from entering the concrete block. The study of the properties of natural materials suitable for use as an ingredient in concrete blocks, focusing on environmentally friendly products to develop into Green Smart Buildings Materials found that there are 2 types of natural materials that have interesting and appropriate physical characteristics, namely rice husk and coffee shell husk. Two of these were taken to compare the water absorption rate after conditioned with state-transforming materials according to the prescribed formula.

From the test of the suitable natural phase change materials to be used to pretreat natural materials before being tested to compare the water absorption rate, it was found that mixture 3,

with a ratio of 1: 1 to the palm transition material and the soybean transition material, can reduce the melting point temperature to 37°C to 67.5°C. Besides Encapsulation phase change material was adapted natural materials by using coating mixing on the surface of 2 natural materials- rice husk and coffee shell husk -24 hours before being tested for water absorption to compare the lowest water absorption rate and the most sensitive dehydration of the rice husk and coffee shell husk. It was found that formula B1, with the mixture ratio between 1 kg of coffee shell husk per 200 g of phase change material per 700 g of para rubber latex, the water absorption rate is the lowest and takes the most time before the saturation point is reached. After resting for 2 hours, the dehydration rate was the fastest. It is considered that this test formula has good results and suitable to be used as a prototype formula to adjust natural materials before being mixed in concrete blocks to reduce Moisture Content that will occur in concrete blocks.

คำสำคัญ: คุณสมบัติความชื้น วัสดุธรรมชาติ คอนกรีตบล็อก วัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์

Keywords: Moisture Content, Natural Fibre, Concrete Block, Organic Phase-Change Materials

บทนำ

ปัจจุบันการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยในประเทศไทยให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก เพราะสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายและวางแผนด้านการใช้พลังงานในอนาคตได้ จากการศึกษาข้อมูลด้านวัสดุก่อสร้างอาคารที่นิยมทั่วไปในท้องตลาด พบว่า คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างผนัง เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก (Yotsawat, 2558) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533 ได้แบ่งคอนกรีตบล็อก กลวงไม่รับน้ำหนัก 2 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกกลวง (Hollow Concrete Block or Hollow Concrete Masonry Unit) และ คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก (Hollow Nonloadbearing Concrete Masonry Unit)

คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักมีลักษณะเป็นก้อนคอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมแต่เนื่องจาก ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ หิน กรวดและน้ำเป็นตัวนำความร้อนและทำให้คอนกรีตบล็อกมีน้ำหนักค่อนข้างมาก จึงมีการนำเทคโนโลยีมาพัฒนากรรมวิธีการผลิตเพื่อให้คอนกรีตบล็อกเบาลงมีค่าการนำความร้อนต่ำโดยใช้วัสดุมวลเบาที่มีการนำความร้อนต่ำทดแทนวัสดุมวลรวมเดิม แต่ยังมีข้อเสียในเรื่องความแข็งแรงที่ลดลงและกรรมวิธีการผลิตมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีการวิจัยอิฐบล็อกที่มีน้ำหนักเบา มีค่าการนำความร้อนต่ำ มีค่าความแข็งแรงได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลายชิ้นงานวิจัย มีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกโดยใช้วัสดุธรรมชาติที่มีน้ำหนักเบาเป็นส่วนผสมทดแทนวัสดุเดิม เช่น กากน้ำตาล ฟางข้าว ชังข้าวโพด แกลบ ชี้เถ้า และมีการศึกษาโดยนำเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติต่างๆ ที่มีเส้นใยเซลลูโลส เช่น เส้นใยผักตบชวา เส้นใยปาล์ม เส้นใยเปลือกมะพร้าว ฯลฯ มาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติให้ดีขึ้น แต่เกิดปัญหาตามมาคือ คอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยเซลลูโลสมีการดูดซึมน้ำมากทำให้วัสดุมีความชื้น โดยน้ำจะถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในตัวคอนกรีตบล็อกและฟองอากาศ ที่อยู่ภายในบล็อกทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุ จากการศึกษา เรื่อง ความชื้นในวัสดุที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่า ความชื้นในวัสดุที่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

(Thermal Conductivity Coefficient) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้น และจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการถ่ายเทความร้อน โดยการสร้างห้องทดสอบที่มีประสิทธิภาพด้านความร้อนและใช้ตัวอย่างวัสดุก่อผนังแต่ละชนิดในสภาพแห้งทดสอบความสัมพันธ์ตัวแปรค่าการต้านทานความร้อน (R) และค่าการนำความร้อน (k) ในสภาวะที่ต่างกัน พบว่าคอนกรีตบล็อกมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ 17-19 % ถ้าคอนกรีตบล็อกดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 20% จะทำให้ความร้อนผ่านผนังเป็น 2 เท่า เนื่องจากความชื้นทุกๆ 5% จะทำให้ความเป็นฉนวนลดลง 25 % (NOAA national weather service : heat index) (Jim Wilson, 2008) โดยความสัมพันธ์ของอัตราการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นในวัสดุอาคารจะส่งผลทำให้ค่าการนำความร้อนในอาคารมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้นต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในการปรับอากาศเพื่อให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย ซึ่งคอนกรีตบล็อกที่มีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีจะต้องมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ต่ำเมื่อความร้อนผ่านเข้าวัสดุนั้นจะสูญเสียพลังงานและอุณหภูมิจะลดลงเกิดสภาวะน่าสบายในอาคาร (สมชาย มณีวรรณ, 2550)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Hot Humid Climate) คือ มีฝนตกชุกตลอดทั้งปี จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความชื้นในอากาศสูงส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ปัจจุบันได้มีแนวคิดการพัฒนาวัสดุประกอบอาคารที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) เนื่องจากเป็นวัสดุสะสมพลังงานหรือวัสดุสะสมอุณหภูมิ (Thermal Energy Storage Material : TES) (Cabeza, 2008) มีการศึกษาการใช้สารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material หรือ PCM) หลายชนิดเพื่อเป็นส่วนประกอบของวัสดุอาคาร พาราฟิน (Paraffin) ได้ถูกนำมาพิจารณาและใช้ในงานวิจัยอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะในช่วงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ อีกทั้ง พาราฟิน มีจุดหลอมเหลวที่ 50 - 70 °C (V. Kumar, 2016) ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติในการควบคุมให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนสถานะที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภทได้ แต่เนื่องจากพาราฟินเป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ได้มาจากกากส่วนที่เหลือจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตสูง ซึ่งมีผลต่อสภาพแวดล้อมในอนาคตได้ งานวิจัยนี้ได้สนใจวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ได้จากรธรรมชาติไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ที่ผลิตจากปาล์ม น้ำมัน (Palm Wax) มีจุด หลอมเหลวอยู่ที่ 70-80°C (Marcus Lim, 2020) แต่เนื่องจากอุณหภูมิจุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างสูงอาจจะไม่เปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมิอากาศใน ประเทศไทยขณะนำไปใช้งานจึงต้องหาวิธีการเพื่อลดจุดหลอมเหลวให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่นำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ในภูมิอากาศของประเทศไทย จึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์บทความงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาหาวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติ โดยนำวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ที่ได้จากพืช (Vegetables Wax) มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการขึ้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลด Moisture Content ที่จะเกิดขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุการนำความร้อนเข้ามาในอาคารและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ใช้งานในอาคาร เป็นวัสดุก่อสร้างที่ไม่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตซึ่งเป็นแนวทางลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก
2. เพื่อศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ด้านการสะสมพลังงาน เพื่อป้องกัน ความชื้นในวัสดุ
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุธรรมชาติที่ผ่านการเตรียมวัสดุโดยวัสดุเปลี่ยนสถานะ

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่มีความเหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร วิธีการประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ (Organic Phase-Change Materials) ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุ ทั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาไว้เป็น 5 ส่วน ได้แก่

1. การศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารที่ส่งผลทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุประกอบอาคารและผลกระทบที่เกิดขึ้น เป็นการศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารในรูปแบบต่างๆ ที่ทำให้ความชื้นแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุเกิดการสะสมความชื้นในวัสดุที่ส่งผลต่อการนำความร้อนเข้ามาในอาคาร เพื่อหาแนวทางป้องกันผลกระทบจากความชื้นที่จะเกิดขึ้น ซึ่งวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารและส่งผลต่อการสะสมความชื้นในวัสดุประกอบอาคารมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ 1) Capillary Suction เช่น การดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนเล็กๆ ที่อยู่ในวัสดุ 2) Vapor Diffusion การแพร่ของความชื้นที่ผ่านวัสดุรอบอาคาร โดยการแพร่ของไอน้ำจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure) นอกจากนี้การแพร่ง่ายยังมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

1.1 การศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ เป็นการศึกษาวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกจากการทบทวนวรรณกรรม วิเคราะห์ข้อดีข้อด้อยเพื่อนำมาปรับปรุงประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมและง่ายต่อกระบวนการผลิต มีต้นทุนที่ต่ำสามารถลดความชื้นที่จะเข้าไปสะสมในเนื้อวัสดุได้ จากการศึกษาว่ามีวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกหลายวิธีซึ่งแยกเป็นวิธีการต่างๆ ได้ดังนี้

วิธีที่ 1 การใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงดึงผิวสูงป้องกันความชื้นเข้าไปในเนื้อผิวคอนกรีตบล็อก

วิธีที่ 2 การเพิ่มสารดูดซับความชื้นเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อดูดซับความชื้นที่เข้ามา

วิธีที่ 3 การเพิ่มขนาดความหนาให้กับวัสดุโดยเพิ่มส่วนผสมคอนกรีตเข้าไปในวัสดุคอนกรีตบล็อก

วิธีที่ 4 การใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา

1.2 การศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก เป็นการศึกษาวัสดุเส้นใยเซลลูโลสจากพืชที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม โดยสามารถสร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติให้คุ้มค่าต่อการลงทุนและการคุ้มทุนในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตบล็อก

วัสดุธรรมชาติที่นำมาผสมในคอนกรีตบล็อกมีหลายชนิดเช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด แกลบ ฯลฯ หรือวัสดุที่มีเส้นใยเซลลูโลส เช่น เส้นใยผักตบชวา เส้นใยปาล์ม จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบของงานวิจัยพบว่าวัสดุเส้นใยเซลลูโลสที่ไปทดแทนมวลรวมต่างๆ จะใช้ในปริมาณอัตราส่วน 10% - 40% ของสัดส่วนในการทดแทนวัสดุมวลรวมเดิมในแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของพืชเช่นงานวิจัยของ (B.H. Abu Bakar, 2011) ได้ทำการทดลองผลิตอิฐบล็อกประสิทธิภาพสูงโดยใช้แกลบปริมาณ 15 % เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์และผ่านการทดสอบด้านความแข็งแรงของวัสดุและงานวิจัยของ (Javad Torkaman, 2014) ได้ทำการผลิตคอนกรีตบล็อกจากเศษวัชพืชปริมาณ 25 % และเศษซีเมนต์ 25 % ทดแทนปูนซีเมนต์ และผ่านการทดสอบด้านความแข็งแรงของวัสดุเช่นกันและปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมอยู่ที่ 40% ของปูนซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่ เช่นงานวิจัยของ (กนกเนตร เพ็ชรทองช่วย, 2560) ได้ทำการทดลองผลิตคอนกรีตบล็อกจากฟางข้าวโดยใช้ปริมาณน้ำ 40 % ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และงานวิจัยของ (คำชาย พันทวงศ์, 2557) ได้ทำการทดลองคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าวเสริมไม้ไผ่ได้ใช้ปริมาณ 40 % ของน้ำหนักปูนซีเมนต์เช่นกัน และคุณสมบัติทางกล คือ ค่าน้ำหนัก ค่าความหนาแน่น ค่าความต้านทานแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนและค่าการนำ

ความร้อนจะแปรผกผันกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่มเข้าไป แต่มีค่าหนึ่งที่แปรผันตรงกับปริมาณวัสดุธรรมชาติที่เพิ่ม คือค่าปริมาณความชื้นที่ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการหดตัวทางยาวเพิ่มขึ้น ส่งผลก่อให้เกิดปัญหาการดูดซึมน้ำมากของเส้นใยเซลลูโลสทำให้คอนกรีตบล็อกมีค่าความชื้นสูงขึ้น ดังนั้น ในการที่จะนำวัสดุธรรมชาติที่มีเส้นใยเซลลูโลสมาผสมในคอนกรีตบล็อกต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติและวิธีการเตรียมวัสดุที่จะส่งผลทำให้ค่า Moisture Content ในคอนกรีตบล็อกต่ำลงและข้อจำกัดด้านงบประมาณ เวลา และปริมาณในการจัดเตรียมวัสดุที่เหมาะสมก่อนนำไปผสมคอนกรีตบล็อก

2. การศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ด้านการสะสมพลังงานเพื่อการป้องกัน ความชื้นในวัสดุ เป็นการศึกษาเพื่อหาวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีช่วงอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเปลี่ยนสถานะในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยมีวิธีการทดสอบช่วงจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะจากธรรมชาติที่คัดเลือกโดยทดสอบด้วยเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimeter, Mettler Toledo DSC 1 Module)

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเรื่องวัสดุเปลี่ยนสถานะจำนวนมากเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน แต่ปัจจัยหลักที่ควรมีการศึกษา คือ ชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อจะได้นำมาใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สารอินทรีย์ (Organic) สารอนินทรีย์ (Inorganic) และสารยูเทกติก (Eutectic) หรือสารหลายองค์ประกอบชนิดอื่น

3. การศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาประยุกต์ใช้กับวัสดุธรรมชาติที่จะส่งผลให้ Moisture Content ในเนื้อวัสดุ ที่จะนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างอาคาร เป็นการศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้กับวัสดุธรรมชาติเพื่อพัฒนาคุณสมบัติในการป้องกันและลดความชื้นเข้ามาในเนื้อวัสดุ โดยใช้กระบวนการ Encapsulation Method วัสดุธรรมชาติโดยวิธีการ Coating Mixing ของวัสดุธรรมชาติที่ได้คัดเลือกมาแล้ว 2 ชนิด นำไปทดสอบเพื่อหาสูตรส่วนผสมที่ดูดซึมน้ำน้อยที่สุดก่อนนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

จากการศึกษารูปแบบการนำคุณสมบัติการสะสมพลังงานวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุอาคาร จะมีรูปแบบการนำไปใช้เป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 จะนำวัสดุเปลี่ยนสถานะผสมเข้าไปเนื้อวัสดุโดยตรง เช่นงานวิจัยของ (D. Snoeck, 2016) ได้ศึกษาทดลองของการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะผสมในคอนกรีตซีเมนต์พอร์ตแลนด์โดยตรง ส่วนแนวทางที่ 2 จะนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาผสมในวัสดุก่อสร้างอาคารในรูปแบบในลักษณะบรรจุใน Microcapsule จากงานวิจัยของ (Schossing et al, 2005) ได้มีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาผสมในวัสดุก่อสร้างอาคารได้ในรูปแบบในลักษณะบรรจุใน Microcapsule จากแนวทางการนำไปใช้พบว่าแนวทางที่ 1 การนำความร้อนของคอนกรีตจะลดลงและคุณสมบัติความเป็นฉนวนของคอนกรีตจะดีขึ้น ให้คอนกรีตสูญเสียความแข็งแรงในช่วงที่ยอมรับได้ โดยจะทำลายประสิทธิภาพเชิงโครงสร้าง ซึ่งผลที่ได้มีความต่างกันด้านคุณสมบัติ ทางกลวัสดุ และเกิดการร้าวไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะไปตามรูปทรงต่างๆ ในเนื้อวัสดุ ส่วนแนวทางที่ 2 พบว่าการใช้ Microencapsulation PCMs ในวัสดุก่อสร้างช่วยแก้ปัญหาคุณสมบัติเชิงกล การบวมตัวของวัสดุ และสามารถป้องกันการร้าวไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะได้ดีที่สุด

ผลการศึกษา

1. **ผลการศึกษาวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคารที่ส่งผลทำให้เกิดความชื้นสะสมในวัสดุประกอบอาคาร** จากการศึกษา เรื่อง ความชื้นในวัสดุที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่า ความชื้นในวัสดุที่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Coefficient) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ น้ำที่อยู่ในวัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงกว่าอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างของวัสดุ เนื่องมาจากการแพร่ของไอน้ำที่ผนังภายนอกเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ผนังภายนอกที่มีวัสดุชั้นนอกสุดเป็นวัสดุที่มีรูพรุน เช่น อิฐ เมื่อถูกฝนวัสดุจะดูดซับน้ำไว้ภายในหลังจากนั้นถ้าผนังส่วนนี้ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ น้ำที่ดูดซับไว้ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำจากวัสดุผนังส่วนนี้ไปยังบริเวณที่ติดกัน ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ต่ำกว่า ความชื้นที่เกิดขึ้นทำให้ภายในอาคารมีค่าการนำความร้อนที่สูงผ่านเข้ามาในอาคารส่งผลต่ออุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้นด้วยและเกิดสภาวะไม่สบาย ต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากเพื่อลดความชื้นในระบบปรับอากาศ (Deep Clean Expert, 2561) ซึ่งเมื่อพิจารณาในทางกลับกันกรณีในอาคารมีความชื้นสะสมในอาคารมาก การแพร่กระจายความชื้นภายในอาคารผ่านวัสดุที่มีรูพรุนออกสู่ภายนอกจะช่วยลดปัญหาความชื้นที่สะสมภายในอาคารและช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้ด้วยหรือไม่จากการศึกษาพบว่า สามารถเกิดขึ้นได้เพราะถ้าอุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอกจะทำให้เกิดความดันไอน้ำสูงกว่าภายนอกทำให้การแพร่กระจายของไอน้ำจากภายในสู่ภายนอกได้แต่ในกรณีความชื้นในอาคารมากจะส่งผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศมากขึ้นในการจัดการกับความชื้นเพราะในความชื้นมีความร้อนแฝง (Latent Heat) ระบบปรับอากาศจำเป็นต้องใช้พลังงานในการลดความร้อนแฝง (ความชื้น) มากกว่าการลดความร้อนสัมผัส (อุณหภูมิ) (ชาติเรศ เกียรติจรุญศิริ, 2553) โดยความเสียหายที่เกิดจากความชื้นในผนังนั้นสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ 1. มีผลโดยตรงกับโครงสร้างอาคาร และ 2. มีผลต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่อาศัยในอาคาร ในงานสถาปัตยกรรมผนังอาคารเป็นส่วนที่ป้องกันสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิ ความชื้น สภาพอากาศ การเลือกวัสดุในการก่อสร้างผนังให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างสภาวะน่าสบายในที่พักอาศัยและควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร

2. **ผลการศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ** จากการศึกษาว่ามีวิธีการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกหลายวิธีซึ่งแยกเป็นวิธีการต่างๆ ได้ดังนี้

วิธีที่ 1 คือ การใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงตึงผิวสูงป้องกันความชื้นเข้าไปในเนื้อผิวคอนกรีตบล็อก สามารถทำได้เพราะวัสดุที่มีแรงตึงผิว (Surface Tension) จะมีคุณสมบัติของพื้นผิวของของเหลวทำให้เกิดบางส่วนของพื้นผิวของเหลวถูกดึงดูดเข้าไว้ด้วยกัน แรงตึงผิวถูกทำให้เกิดขึ้นด้วยการดึงดูดของโมเลกุลกับโมเลกุลที่เหมือนกัน เมื่อโมเลกุลบนพื้นผิวของของเหลวไม่ได้ล้อมรอบ ไปด้วยโมเลกุลที่เหมือนกันในทุกๆ ด้านแล้ว โมเลกุลจะมีแรงดึงดูดกับโมเลกุลใกล้เคียงบนพื้นผิวมากขึ้น ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์ ของความตึงผิว ซึ่งวัสดุประสานของคอนกรีตบล็อกคือซีเมนต์ เป็นวัสดุเหลวหรือกึ่งเหลวใช้ยึดติดคอนกรีตบล็อกเข้าด้วยกันการที่จะประสานคอนกรีตบล็อกเข้าด้วยกันให้ได้ผลดีพื้นผิวจะต้องมีความขรุขระหรือมีความหยาบซึ่งจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวแข็งแรงมากขึ้น ในการที่ใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีแรงตึงผิวสูงเคลือบผิวคอนกรีตบล็อกจะสร้างพื้นผิวที่มีความตึงของผิวสัมผัสเป็นแผ่นฟิล์มหุ้มผิวคอนกรีต เอาไว้และส่งผลต่อคุณสมบัติการยึดติดของคอนกรีตบล็อกต่อยกลงทำให้ปูนซีเมนต์ไม่สามารถเข้าไปในผิวคอนกรีตบล็อกได้

วิธีที่ 2 คือ การใช้สารดูดซับความชื้น (Desiccant) เป็นวิธีการลดความชื้นโดยใช้หลักการของความแตกต่างระหว่าง ความดันไอของไอน้ำในอากาศกับสารดูดความชื้น โดยที่ผิวของสารดูดความชื้นมีความดันไอน้ำต่ำมากเมื่อเทียบกับความดันของอากาศชื้น ไอน้ำจะถูกสารดูดซับความชื้นดูดซับไว้โดยผ่านพื้นที่ผิวของสารดูดซับที่สัมผัสกับอากาศชื้นนั้น สารดูดซับความชื้นซึ่งมีหลายประเภท และวิธีการที่หลากหลายในการควบคุมความชื้นให้อยู่ในมาตรฐาน

ปัจจุบันนิยมใช้ซิลิกาไดออกไซด์ SiO_2 ซึ่งมีคุณสมบัติดูดซับความชื้น โดยโครงสร้างภายในวัสดุไม่เปลี่ยนแปลง และพบว่าประสบปัญหาในเรื่องของการกระจายสภาพเป็นสารกึ่งเหลว (Swell) และแตกเป็น ชิ้นเล็กๆ เมื่อดูดซับความชื้นจนอิ่มตัว นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นจะลดลงและมีโอกาสที่จะคายความชื้น (Desorption) ออกมาเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 25°C (อีลีหัยะ, 2549; Yamaguchi and Kawasaki, 1994) แต่มีงานวิจัยที่ค้นพบว่าวัสดุที่สามารถดูดซับ ความชื้นได้ดีกว่าซิลิกาไดออกไซด์ คือ ถ่านกัมมันต์ (Activate Carbon) ซึ่งเป็นคาร์บอนอสัณฐานภายในมีรูพรุนมากกว่าซิลิกาไดออกไซด์ และถ่านชนิดอื่นๆ มีความว่องไวในการดูดซับสูงเนื่องจากมีความสามารถในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับบนผิวของแข็งเรียกว่า Adsorbate. (QS Liu, T Zheng, P Wang, L Guo, 2010) ถ่านกัมมันต์ที่เลือกใช้จึงควรมีรูพรุน ขนาดเล็ก (จำพวก Microporous) ซึ่งจะเป็นตัวดูดซึม/ซับ ได้ดีที่สุด แต่การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับความชื้นก็ประสบปัญหา เมื่อความชื้นเข้าไปในเนื้อวัสดุมากขึ้นโดยเคลื่อนตัวเข้าไปในสารดูดความชื้นถ้าอุณหภูมิสูงภายในวัสดุสูงขึ้นความชื้นก็ถูกปล่อยออกมา และความชื้นยังอยู่ในเนื้อวัสดุไม่ไปไหนทำให้เกิดการสะสมความชื้นบริเวณเนื้อวัสดุบริเวณอื่นที่ไม่ถูกแทนที่ด้วยถ่านกัมมันต์

วิธีที่ 3 คือ การผลิตคอนกรีตบล็อกจะมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์และมวลผสมคอนกรีต ซึ่งได้แก่ หินย่อย กรวด และทราย ที่เรียกว่า วัสดุผสม (Aggregates) ซึ่งเป็นพวกแร่ธาตุเฉื่อย (Inert Materials) ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เฮสท์ พบว่าในเนื้อคอนกรีตนั้น จะมีรูพรุนจากฟองอากาศทำให้เกิดปัญหาคือการดูดซึมน้ำเข้าไปในรูพรุนทำให้วัสดุมีความชื้น จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยที่ 17-19 เปอร์เซ็นต์ (NOAA National Weather Service : Heat Index) น้ำที่มีอยู่ใน ช่องว่างในวัสดุในช่วงความชื้นสูงจะเป็นน้ำอิสระ เมื่ออัตราการความชื้นลดลงน้ำอิสระนี้จะหายไปก่อน หลังจากนั้นจะเกิดการเคลื่อนที่และระเหยของน้ำ Bonding Water (น้ำ Adsorption Water และ Absorption Water) ความดันไอของน้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิ และอัตราการความชื้น การเพิ่มความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจะทำให้ค่าความชื้นของวัสดุลดลงโดยจะทำให้รูพรุนในวัสดุมีปริมาณน้อยลงถูกแทนที่ด้วยวัสดุมวลรวมผสมคอนกรีตที่มากขึ้น และการแพร่ของความชื้นจากผิววัสดุชั้นนอกสุดเข้ามาในเนื้อวัสดุ จะใช้เวลานานขึ้น ซึ่งจะแปรผันตรงกับมวลน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่จะมากขึ้นด้วยส่งผลต่อการนำไปใช้งานในการก่อสร้าง วัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักมากจะส่งผลต่อโครงสร้างอาคารที่ต้องรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเกิดการลื่นปลีองงงบประมาณในการก่อสร้างที่สูงขึ้นด้วย

วิธีที่ 4 คือ การใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกในรูปแบบการสะสมความร้อนแฝง (Latent Thermal Storage) โดยอุณหภูมิในขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากซึ่งแตกต่างจากการเก็บพลังงานความร้อน โดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (Sensible Thermal Storage) การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้เป็นวัสดุกักเก็บความร้อนมาเป็นส่วนผสม ของคอนกรีตบล็อกจะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุและสร้างความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำในวัสดุเพิ่มมากขึ้น จากทฤษฎีการดูดซึมน้ำ การแพร่ผ่านของไอน้ำที่ผ่านวัสดุจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า การแพร่ของไอน้ำยังมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หากนำหลักการการใช้พลังงานในรูปแบบความร้อนแฝงมาใช้ในคอนกรีตบล็อกจะทำให้ช่วยลดการแพร่ความชื้นเข้ามาในคอนกรีตบล็อกได้ จากการศึกษากระบวนการลดความชื้นในคอนกรีตบล็อกทั้ง 4 วิธีพบว่าวิธีการที่เหมาะสมที่ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคือการใช้พลังงานในรูปแบบความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา โดยการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะ จะทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นสร้างความดันไอน้ำให้สูงกว่าด้านนอกผิววัสดุมีความหนาแน่นที่สูงกว่า ทำให้ความชื้นไม่สามารถแพร่ผ่านเข้ามาได้

3. ผลการศึกษาคุณสมบัติวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก
ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานเพื่อพัฒนาสู่ Green Smart Buildings Materials ซึ่งจะมีเกณฑ์พิจารณาหลักที่เพิ่มเข้ามาเป็นปัจจัยในการเลือกวัสดุคือวัสดุที่ได้มาต้องมาจากแหล่งธรรมชาติ มีความทนทาน ต้นทุนในการขนส่งและการจัดการต่ำ สามารถลดปริมาณของเสียที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ มีการจัดการที่ปราศจากขั้นตอนเกี่ยวกับสารเคมี มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี มีคุณสมบัติด้านพลังงาน จึงเสนอวัสดุ 2 ชนิดที่มีความน่าสนใจและมีคุณสมบัติเข้ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ แกลบ และเปลือกกะลา กาแฟ จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า แกลบ เป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน และซิลิคอน ไดออกไซด์หรือซิลิกา มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ และส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและไม่นำความร้อน เมื่อพิจารณาแกลบให้ชัดขึ้น โดยนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่า มีลักษณะผิวเป็นร่องเรียงกัน และผิวแกลบมีความพรุนมาก (บุษยา รัตนสุภา.2552) แกลบมีขนาดเฉลี่ย 0.075 - 3 มิลลิเมตร ขนาดเส้นรอบวงเฉลี่ย 0.6 มิลลิเมตร ความหนาแน่นเฉลี่ย 331.59-380.54 kg m⁻³ และมีความพรุนของแกลบเฉลี่ย 63.64-68.94% (Yaning Zhang.2012)

กาแฟเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Rubiaceae family ซึ่งมีอยู่ 2 สายพันธุ์ (species) ที่มีความสำคัญทางการค้า คือ C. arabica และ C. canephora โดย C.arabica จะรู้จักในชื่อ อะราบิก้า และ C.canephora จะรู้จักกันในชื่อของ โรบัสต้า ซึ่งมีความต่างกันโดยพันธุ์อะราบิก้ามีลักษณะเป็นวงรีมีเส้นผ่ากลางคด ขึ้นในพื้นที่สูงอากาศเย็นส่วนพันธุ์โรบัสต้ามีลักษณะเป็นทรงกลมมีเส้นผ่ากลางที่ตรง ขึ้นในพื้นที่ร้อนชื้น จากการศึกษาพบว่าพันธุ์โรบัสต้ามีความเหมาะสมในด้านปริมาณผลผลิตที่มากกว่าอะราบิก้ามากเพราะทนต่อสภาพภูมิอากาศส่วนพันธุ์อะราบิก้าดูแลได้ยากกว่า แผลงรบกวนเยอะให้ผลผลิตต่อต้นน้อย คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟ ความชื้น , น้ำหนักเมล็ดกาแฟดิบ, ความกว้าง, ความยาว, ความหนา, ปริมาตรเมล็ด, ความหนาแน่นเนื้อ, ความหนาแน่นรวม, เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต, พื้นที่ผิว และความเป็นทรงกลม (พีระพงศ์ กัทลี. 2555)

ตารางที่ 1 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

ที่มา : พีระพงศ์ กัทลี. คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า ก่อนคั่วและหลังคั่ว. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการคัดเลือกว่าวัสดุธรรมชาติ คือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา เพื่อ
 ใช้ในงานวิจัยก่อนนำไปผสมกับคอนกรีตบล็อกซึ่งต่างก็มีคุณสมบัติที่เหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการคัดเลือกว่าวัสดุธรรมชาติเพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก

คุณสมบัติแกลบ	คุณสมบัติเปลือกกะลาเผา
1. เป็น By Products. มีปริมาณมากเพียงพอ หาได้ตลอดทั้งปี	1. เป็น By Products. มีปริมาณมากเพียงพอ หาได้ตลอดทั้งปี
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. กะลาจะเป็นชั้นในสุดของผลกาเผาทำหน้าที่ ปกป้องเมล็ดกาเผา ที่อยู่ด้านใน
5. มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน มีค่าการนำความร้อนต่ำ	5. มีเพคตินซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อละลายน้ำ จะพองตัวเป็นเจล ทำให้เกิดความชื้น
6. สามารถใช้กระบวนการ Spray Coating หรือใช้ Mixing Coating ที่ได้ผลและประหยัดงบประมาณในขั้นตอนเตรียมวัสดุ	6. สามารถใช้กระบวนการ Spray Coating หรือใช้ Mixing Coating ที่ได้ผลและประหยัดงบประมาณในขั้นตอนเตรียมวัสดุ
7. สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในกระบวนการอุตสาหกรรม	7. สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในกระบวนการอุตสาหกรรม
8. องค์ประกอบของแกลบนั้นประกอบด้วยสารอินทรีย์อยู่ประมาณ 20-25% เซลลูโลส 30-40% ลิกนิน 19-47% และน้ำตาล ประมาณ 17-26% โดยในส่วนของสารอินทรีย์นั้น องค์ประกอบหลักก็คือซิลิกา ซึ่งมีช่วงอยู่ตั้งแต่ 85-99%	8. องค์ประกอบเปลือกกาเผา มีเมือกหนาราว 0.8 มิลลิเมตร ประกอบด้วยน้ำ 84.2% โปรตีน 8.9 % น้ำตาล 4.1% และสารประกอบเพคติน 0.91%
9. มีขนาดเฉลี่ย 0.075 - 3 มิลลิเมตร	9. มีความกว้างเฉลี่ย 0.727 เซนติเมตร มีความยาวเฉลี่ย 0.947 เซนติเมตร

4. ผลการศึกษาชนิดของวัสดุเปลี่ยนสถานะและวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในด้านสะสมพลังงาน
เพื่อการป้องกันความชื้นในวัสดุ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้เป็นวัสดุกักเก็บความร้อนโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะมาใช้ในการป้องกันความชื้นที่จะแพร่เข้ามาในวัสดุธรรมชาติ จากการศึกษา พบว่า หลากหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงการนำสารเปลี่ยนสถานะหลายชนิดเพื่อเป็นส่วนประกอบของวัสดุอาคาร พาราฟิน (Paraffin) มีจุดหลอมเหลวที่ 50-70 °C เป็นที่นิยมอย่างมากในการนำมาเป็นวัสดุวิจัยในด้านกักเก็บพลังงาน แต่เนื่องจากพาราฟินเป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีผลต่อสภาพแวดล้อม งานวิจัยนี้สนใจวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ได้จากธรรมชาติ ที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ วัสดุเปลี่ยนสถานะที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน (Palm Wax) ที่ได้จากส่วนลำต้นและใบมีลักษณะเป็นเนื้อสีขาว มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 70-80 °C แต่ด้วยอุณหภูมิจุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างสูงของ Palm Wax อาจจะไม่เปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมิของอากาศในประเทศไทยขณะนำไปใช้งาน จากทฤษฎี Latent Heat Storage Materials กล่าวว่า การที่จะสามารถลดจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะได้นั้นต้องมีการผสมสารอื่นๆ ลงไปเรียกว่าสารยูเทคติก (Eutectic) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำไขถั่วเหลือง (Soybean Wax) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 50-60 °C มาผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นสารยูเทคติกตามทฤษฎี Latent Heat Storage Materials โดยทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาสูตรส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ผลิตจากปาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ผลิตจากไขถั่วเหลืองเพื่อให้ได้ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวให้เหมาะสมกับงานใช้งานในช่วงอุณหภูมิของอากาศใน

ประเทศไทย จากการศึกษา พบว่า จุดหลอมเหลวของสารยูเทคทริกระหว่างพาล์มน้ำมันและไขถั่วเหลืองอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 45-65 °C (ซึ่งเทียบเท่ากับพาราฟิน) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทดลอง โดยสร้างสูตรส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากพาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลืองและการใส่ Metallic Fitters หรือ Finned Tube ลงในส่วนผสม ให้ได้ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-70 °C

ตารางที่ 3 แสดงสูตรอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะจากพาล์มน้ำมันกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง

ส่วนผสม	ปริมาณรวม 100 (g)	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจากพาล์มน้ำมัน	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจากพาล์มน้ำมัน (g)	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจากถั่วเหลือง	ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจาก ถั่วเหลือง (g)	ปริมาณผงตะไบเหล็ก	ระยะเวลาในการเซตตัวที่อุณหภูมิห้อง (25°C)
ส่วนผสมที่ 1	100 g	3 ส่วน	75 g	1 ส่วน	25 g	2.8 g	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 2	100 g	2 ส่วน	66.66 g	1 ส่วน	33.33 g	2.8 g	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 3	100 g	1 ส่วน	50 g	1 ส่วน	50 g	2.8 g	24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 แสดงขั้นตอนการทดลองจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ทั้ง 3 สูตร

ขั้นตอนการทดลอง	ภาพการดำเนินการทดลอง
1. ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ภาชนะ PCM แต่ละชนิด และผงตะไบเหล็กเพื่อเตรียมนำไปทดสอบช่วงอุณหภูมิจุดหลอมเหลว ที่เหมาะสม	
2. ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมตามตารางสูตรและชั่งน้ำหนักผงตะไบเหล็กนำไปเป็นส่วนผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ตามอัตราส่วนเพื่อเตรียมนำไปหลอมเหลว	
3. ขั้นตอนการหลอมเหลวส่วนผสมต่างๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมี การคนสารอย่างสม่ำเสมอจนกว่าหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน	
4. ขั้นตอนหลังจากหลอมเหลวเสร็จปล่อยให้วัสดุเปลี่ยนสถานะเซตตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (25°C) โดยจากการสังเกตพบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะเริ่มเซตตัวที่ 10 นาทีแรก และเซตตัวสมบูรณ์ที่ชั่วโมงที่ 3	
5. ขั้นตอนการทดสอบจุดหลอมเหลวที่ศูนย์วัตกรรมวัสดุ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยการนำชิ้นวัสดุเปลี่ยนสถานะไปชั่งตามน้ำหนักที่ตั้งไว้แล้วนำมาบรรจุใส่ภาชนะ (PAN) แล้วอัดปิดฝาด้วยเครื่องอัดฉนิก	
6. ขั้นตอนหลังจากนำ PCM เข้าเครื่องทดสอบเสร็จแล้วทั้ง 3 สูตร นำมาวิเคราะห์กับโปรแกรม DSC เพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟในการบอกข้อมูลช่วงเวลาหลอมเหลว จุดหลอมเหลวสูงสุด และ พลังงานความร้อนที่ใช้ไป	

ผลการทดสอบจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ด้วยเครื่อง DSC จากส่วนผสมทั้ง 3 สูตรได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 5 แสดงการสรุปผลเปรียบเทียบการทดสอบจุดหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะทั้ง 3 สูตร

ลำดับ สูตร	ค่าพลังงาน หลอมเหลว (mj)	ค่าพลังงานต่อหน้า หนัก (jg-1)	อุณหภูมิที่เริ่ม หลอมเหลว (°C)	อุณหภูมิที่จุดหลอมเหลว สูงสุด (°C)	อุณหภูมิที่สิ้นสุดการ หลอมเหลว(°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 มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 37 °C - 67.5 °C มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับงานวิจัยขั้นตอนต่อไป โดยมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วงอุณหภูมิของผนังในประเทศไทยที่ได้รับความร้อนตั้งแต่ 8.00-17.00 น. ที่จะมีช่วงอุณหภูมิอยู่ที่ 30 °C - 70 °C และมีค่าช่วงอุณหภูมิ

มีหลอมเหลวใกล้เคียงกับพาราฟินซึ่งมีค่าอุณหภูมิ 47 °C - 64 °C ที่นิยมนำมาใช้ในการทำวิจัยด้านวัสดุในงานสถาปัตยกรรมเนื่องจากมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะในช่วงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ และมีข้อได้เปรียบของสูตรที่ 3 ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นหลอมเหลวที่ต่ำกว่าพาราฟินทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะได้เร็วกว่าพาราฟินสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่กำลังศึกษาโดยเก็บพลังงานความร้อนในวัสดุได้ก่อนซึ่งอุณหภูมิในขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะนั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากแตกต่างจากการเก็บพลังงานความร้อนโดยไม่มีมีการเปลี่ยนสถานะ (Sensible Thermal Storage) ทำให้อุณหภูมิในตัววัสดุไม่สูงจนส่งผ่านความร้อนออกมา

5. ผลการศึกษาวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาประยุกต์ใช้กับวัสดุธรรมชาติที่จะส่งผลให้ Moisture Content ในเนื้อวัสดุที่จะนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างอาคารลดลง ผู้วิจัยได้สนใจเทคนิค Encapsulation Phase Change Material ที่จะนำวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ผ่านการผสมมาเคลือบผิววัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing ก่อนที่นำไปใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อก จึงได้ออกแบบวิธีการทดลองในขั้นตอนการเตรียมวัสดุธรรมชาติที่ได้คัดเลือกมาทดสอบสมมติฐานการเคลือบผิววัสดุธรรมชาติโดยวิธี Coating Mixing ว่าวัสดุใดจะสามารถป้องกันความชื้นเข้ามาในวัสดุได้ดีที่สุด โดยกำหนดสูตรส่วนผสมระหว่างปริมาณวัสดุธรรมชาติกับปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ได้จากการทดลองช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังข้างต้น โดยใช้วิธี Coating Mixing กับเครื่อง Mixing ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้ โดยทำการเปรียบเทียบวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา

ตารางที่ 6 แสดงสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของปริมาณแกลบและปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

ส่วนผสม (วัสดุธรรมชาติ)	ปริมาณ วัสดุธรรมชาติ (Kg)	ปริมาณวัสดุเปลี่ยน สถานะเทียบกับปริมาณ วัสดุธรรมชาติ (g)	ระยะเวลา ในการเคลือบ Coating)	ระยะเวลาการเซ็ด ตัวที่อุณหภูมิห้อง (25°C)
ส่วนผสมที่ 1 แกลบ (A1)	1 Kg	20 % 200 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 2 แกลบ (A2)	1 Kg	30 % 300 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 3 แกลบ (A3)	1 Kg	40 % 400 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 4 เปลือกกะลาเผา (B1)	1 Kg	20 % 200 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 5 เปลือกกะลาเผา (B2)	1 Kg	30 % 300 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 6 เปลือกกะลาเผา (B3)	1 Kg	40 % 400 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง

ตารางที่ 7 แสดงขั้นตอนการทดลองการเตรียมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

ขั้นตอนการทดลอง	ภาพการดำเนินการทดลอง
1. เตรียมวัสดุตามปริมาณส่วนผสมต่างๆ ตาม ที่กำหนดไว้	
2. นำส่วนผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะต่างๆ เข้าเครื่องผสม (Mixing) ที่สามารถปรับลดอุณหภูมิได้ หลังจากนั้น เปิดเครื่องผสม (Mixing) และเปิดหัวเตาแก๊สเพื่อหลอม ส่วนผสมต่างๆ ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน	
3. นำวัสดุธรรมชาติลงไปคลุกเคล้ากับวัสดุเปลี่ยนสถานะ ในเครื่องผสม (Mixing) เพื่อการเคลือบ (Coating) เป็น เวลา 1 ชั่วโมง จนอุณหภูมิลดลงจนทำให้วัสดุเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไข (Wax) เคลือบวัสดุธรรมชาติทั้งหมด จากการสังเกต พบว่า เปลือกกะลาเผาที่มีการเคลือบของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ทั่วถึงกว่าแกลบ เนื่องจาก เปลือกกะลาเผาที่มีขนาดใหญ่กว่าแกลบ และลักษณะพื้นผิวของเปลือกกะลาเผาที่มีความเรียบกว่าแกลบ และแกลบมีความพรุนมากกว่าเปลือกกะลาเผา	
4. นำวัสดุธรรมชาติที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) มาพักให้เซตตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการสังเกตพบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะเริ่มเซตตัวที่ 5 นาทีแรก และเซตตัวสมบูรณ์ใน ชั่วโมงที่ 2	

หลังจากนั้นกำหนดสูตรเพื่อทำการเคลือบ (Coating) วัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตรด้วยวัสดุน้ำยางพาราอีกชั้น เพื่อสร้าง ความตึงผิวและปกป้องพื้นผิวให้กับผิววัสดุธรรมชาติให้มีความแข็งแรงและป้องกันการรั่วซึมของวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อเกิดการเปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมิต่างๆ โดยมีสูตรส่วนผสมดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติที่ผ่านการเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะและปริมาณน้ำ
 ยางพารา

ส่วนผสม (วัสดุธรรมชาติ/วัสดุเปลี่ยนสถานะ)	ปริมาณวัสดุ ธรรมชาติที่ผ่าน การเคลือบด้วย วัสดุเปลี่ยน สถานะ (Kg)	ปริมาณน้ำยางพารา เทียบกับปริมาณวัสดุ ธรรมชาติที่ผ่านการ เคลือบด้วยวัสดุ เปลี่ยนสถานะ (g)		ระยะเวลา ในการ เคลือบ (Coating)	ระยะเวลาใน การเซ็ดตัวที่ อุณหภูมิห้อง (25°C)
ส่วนผสมที่ 1 (A1: แกลบ 1 Kg / 200 g)	1 Kg	70 %	700 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 2 (A2 : แกลบ 1 Kg / 300 g)	1 Kg	70 %	700 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 3 (A3 : แกลบ 1 Kg / 400 g)	1 Kg	70 %	700 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 4 (B1 : เปลือกกะลาเผา 1 Kg / 200 g)	1 Kg	70 %	700 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 5 (B2 : เปลือกกะลาเผา 1 Kg / 300 g)	1 Kg	70 %	700 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ส่วนผสมที่ 6 (B3 : เปลือกกะลาเผา 1 Kg / 400 g)	1 Kg	70 %	700 g	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง

ตารางที่ 9 แสดงขั้นตอนการเคลือบวัสดุธรรมชาติด้วยน้ำยางพาราหลังจากเคลือบด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

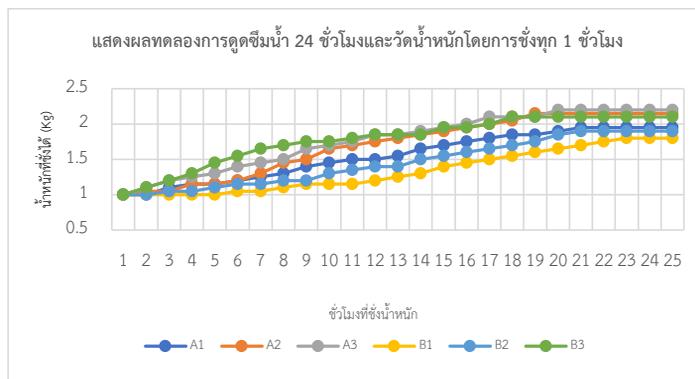
ขั้นตอนการทดลอง	ภาพการดำเนินการทดลอง
1. ชั่งส่วนผสมตามสูตรนำเข้าเครื่องผสม (Mixing) แล้วเปิดเดินเครื่อง 1 ชั่วโมง จนยางพาราเริ่มแห้ง เคลือบวัสดุธรรมชาติทั้งหมด จากการสังเกต พบว่า เปลือกกะลาเผามีการเคลือบของน้ำยางพาราได้ดีกว่าแกลบ เนื่องจากขนาดของเปลือกกะลาเผาที่ใหญ่กว่าแกลบ	
2. นำวัสดุธรรมชาติที่ถูกเคลือบ (Coating) ด้วยน้ำยางพารามาพักไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการสังเกตพบว่าน้ำยางพาราเริ่มเซ็ดตัวที่ 50 นาทีแรก และเซ็ดตัวสมบูรณ์ที่ชั่วโมงที่ 8	

หลังจากนั้นนำวัสดุธรรมชาติที่ปรับสภาพโดยวิธีการขึ้นต้นตามอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่กำหนดไว้แล้วมาทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาว่าสูตรใดดูดซึมน้ำน้อยที่สุด โดยวิธีการนำวัสดุธรรมชาติตามที่ผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุจากวัสดุเปลี่ยนสถานะและน้ำยางพาราในอัตราส่วนของสูตรต่างๆ ในปริมาณ 1 กิโลกรัม มาชั่งน้ำหนักก่อนและหลังนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง วัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง หาอัตราสูตรส่วนผสมที่มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ค่าที่สุดและคายน้ำเร็วที่สุด เพื่อนำไป เป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบที่จะนำไปปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนผสมในคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ 10 แสดงขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของวัสดุธรรมชาติแต่ละสูตรที่ผ่านการเตรียมวัสดุ

ขั้นตอนการทดลอง	ภาพการดำเนินการทดลอง
1. นำวัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตร บรรจุถุงไปร้งที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ก่อนนำไปแช่น้ำ	
2. นำถุงไปร้งที่บรรจุวัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตร มาแช่น้ำระยะเวลา 24 ชั่วโมง	
3. นำถุงไปร้งที่บรรจุวัสดุธรรมชาติทั้ง 6 สูตร ขึ้นมา ชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง และบันทึกข้อมูลจนครบ 24 ชั่วโมง	

ผลการทดลองการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง วัดน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง ได้ผลดังตารางต่อไปนี้



ภาพที่ 11 แสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำหลังจากผ่านกระบวนการเตรียมวัสดุด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM)

ตารางที่ 11 แสดงการสรุปผลเปรียบเทียบปริมาณการดูดซึมน้ำของแต่ละสูตร

ส่วนผสม (สูตรที่ : วัสดุธรรมชาติ/วัสดุเปลี่ยนสถานะ/น้ำยางพารา)	น้ำหนัก ก่อนแช่ น้ำ (Kg)	น้ำหนัก หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (Kg)	ปริมาณการ ดูดซึมน้ำ หลัง แช่น้ำ 24 ชั่วโมง (Kg)	ปริมาณการ ดูดซึมน้ำ เฉลี่ยหลังแช่ น้ำ 24 ชั่วโมง (Kg)	อัตราการ ดูดซึมน้ำ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (Kg/h)
ส่วนผสมที่ 1 (A1 : แกลบ 1 Kg / 200 g / 700 g)	1	1.95	0.95	1.552	0.0395
ส่วนผสมที่ 2 (A2 : แกลบ 1 Kg / 300 g / 700 g)	1	2.15	1.15	1.702	0.0479
ส่วนผสมที่ 3 (A3 : แกลบ 1 Kg / 400 g / 700 g)	1	2.2	1.2	1.774	0.05
ส่วนผสมที่ 4 (B1 : เปลือกกะลาเผา 1 Kg / 200 g / 700 g)	1	1.8	0.8	1.336	0.3333
ส่วนผสมที่ 5 (B2 : เปลือกกะลาเผา 1 Kg / 300 g / 700 g)	1	1.9	0.9	1.458	0.0375
ส่วนผสมที่ 6 (B3 : เปลือกกะลาเผา 1 Kg / 400 g / 700 g)	1	2.1	1.1	1.78	0.0458

สรุปผลทดสอบการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง วัตุน้ำหนักโดยการชั่งทุก 1 ชั่วโมง เพื่อศึกษาอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและมีการคายน้ำไวที่สุด พบว่า ลักษณะการดูดซึมน้ำของส่วนผสมที่มีวัสดุเปลี่ยนสถานะที่น้อยที่สุดคือ 20 % ของวัสดุธรรมชาติทั้ง 2 ชนิด (A1 และ B1) มีอัตราการดูดซึมน้ำค่อนข้างต่ำซึ่งปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไป และการดูดซึมจะค่อยๆ ดูดซึมในช่วงต้นและเริ่มสูงขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวและจะไม่มีการดูดซึมน้ำอีกต่อไป จากกราฟจะพบว่าสูตร B1 มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและใช้เวลามากที่สุดก่อนถึงจุดอิ่มตัวและหลังจากพักไว้เพื่อให้ให้น้ำหายหยดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าสูตร B1 จะมีอัตราการคายน้ำเร็วที่สุด โดยสูตร B1 มีอัตราส่วนผสมของเปลือกกะลาเผาที่ 1 Kg. ต่อวัสดุเปลี่ยนสถานะ 200 g และปริมาณน้ำยารพารา 700 g จากการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไป กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะในการเคลือบวัตถุดิบจะส่งผลให้ปริมาณการดูดซึมน้ำในวัสดุสูงขึ้น จากการศึกษาวิเคราะห์เกิดจากการที่ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีจำนวนมากจะเข้าไปยึดเกาะกับพื้นผิววัสดุธรรมชาติทำให้ความชื้นหรือน้ำเข้าไปยึดเกาะได้ง่ายขึ้นเพราะมีคุณสมบัติแรงดึงดูดระหว่างวัสดุธรรมชาติและน้ำเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้เกิดการดูดซึมน้ำมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าใช้ปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะลดการดูดซึมน้ำก็ลดลงตามไปด้วย อีกประการหนึ่งด้วยลักษณะของผิวเคลือบที่มีความพรุนสูงกว่าทำให้ความชื้นเข้าไปในพื้นผิวได้มากกว่าเปลือกกะลาเผา ซึ่งถือว่าสูตร B1 ได้ผลทดสอบที่ดีเหมาะที่จะนำไปเป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลดความชื้นที่จะเกิดขึ้น

การอภิปรายผล

จากการศึกษาวิธีการเตรียมวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดสารอินทรีย์ก่อนผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อลด Moisture Content ในวัสดุตามแนวทางการวิจัยนี้ ทำให้เข้าใจองค์ประกอบต่างๆ ที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความชื้นของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของวัสดุธรรมชาติและวิธีการที่จะทำให้วัสดุธรรมชาติที่อยู่ในคอนกรีตบล็อกมีการดูดซึมน้ำลดลง ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับลักษณะของวัสดุธรรมชาติที่เลือกใช้และวิธีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก ความชื้นที่เข้ามาในคอนกรีตบล็อกมาจากการดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนเล็กๆ ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเพิ่มมากขึ้น ในการป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าไปในวัสดุคือต้องทำให้ความดันไอน้ำภายในวัสดุสูงกว่าความดันไอน้ำภายนอกหรือทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก โดยวิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมและไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคือการใช้พลังงานในรูปความร้อนแฝงในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเพื่อจัดการความชื้นที่แพร่ผ่านเข้ามา โดยการใช่วัสดุเปลี่ยนสถานะมาปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อก

การคัดเลือกวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกที่มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาสู่ Green Smart Buildings Materials. โดยมีเกณฑ์ที่วางไว้คือวัตถุดิบที่ได้มาต้องมาจากแหล่งธรรมชาติ มีความทนทาน ต้นทุนในการขนส่งและการจัดการต่ำ สามารถลดปริมาณของเสียที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ มีการจัดการที่ปราศจากขั้นตอนเกี่ยวกับสารเคมี มีปริมาณมากเพียงพอหาได้ตลอดทั้งปี ซึ่งพบว่า มีวัสดุธรรมชาติที่มีความน่าสนใจและมีลักษณะกายภาพที่เหมาะสมในการยึดเกาะกับวัสดุเปลี่ยนสถานะอยู่ 2 ชนิด คือ แกลบ และเปลือกกะลาเผา โดยนำมาผ่านกระบวนการปรับสภาพวัสดุธรรมชาติด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะนำมาทดสอบในงานวิจัยเพื่อคัดเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก การเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะมาปรับสภาพวัสดุธรรมชาติเพื่อลดความชื้นที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีตบล็อก ต้องเป็นประเภท

Organic Compound ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้คัดเลือกวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ได้จากพืชคือจากปาล์มน้ำมัน (Palm wax) นำมาผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะจากไขถั่วเหลือง (Soybean wax) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และเพิ่มผงตะไบเหล็กปริมาณ 3 % จะช่วยลดอุณหภูมิจุดหลอมเหลวลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ 37 °C - 67.5 °C ซึ่งผลที่ได้จะทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นหลอมเหลวต่ำกว่าพาราฟินทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะได้เร็วกว่าพาราฟินซึ่งเป็นผลดีในด้านการใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนสถานะที่ทำให้อุณหภูมิในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำสูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบส่งผลทำให้ความชื้นที่เข้ามาในวัสดุลดลงและทำให้การนำความร้อนลดลงตาม โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะคือความร้อนแฝง (Latent Thermal storage) จะไม่สูงมากจนส่งผลให้ความร้อนเข้ามาในอาคารแตกต่างจากการเก็บพลังงานความร้อนโดยไม่มีกการเปลี่ยนสถานะ (Sensible thermal storage) วิธีการที่เหมาะสมในการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้คือการห่อหุ้มวัสดุเปลี่ยนสถานะด้วยวัสดุเคลือบจะช่วยแก้ปัญหาคุณสมบัติเชิงกลการบวมตัว และปัญหาการรั่วไหลของวัสดุเปลี่ยนสถานะได้ดีที่สุด โดยใช้น้ำยางพาราเคลือบวัสดุเปลี่ยนสถานะตามขั้นตอนการทดลองดังที่เสนอมาและทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและมีการคายน้ำไวที่สุด พบว่าสูตร B1 ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเปลือกกะลาแกปปริมาณ 1 กิโลกรัม ต่อวัสดุเปลี่ยนสถานะ 200 กรัม ต่อน้ำยางพารา 700 กรัม จะมีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและมีอัตราการคายน้ำเร็วที่สุด มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปเป็นสูตรส่วนผสมต้นแบบในการปรับสภาพวัสดุธรรมชาติก่อนนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการลดความชื้นที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีตบล็อกและส่งผลทำให้การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกลดลง

ข้อเสนอแนะ

วัสดุธรรมชาติที่นำมาทดแทนวัสดุผสมรวมในคอนกรีตบล็อกได้ถูกนำมาใช้อย่างหลากหลาย แต่มีปัจจัยที่ต้องนำมาวิเคราะห์ เพิ่มเติมเพื่อความเหมาะสมในการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติที่จะนำไปเป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อกให้เกิดประโยชน์มีความคุ้มค่าและลด Moisture Content ที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีตบล็อก มีดังนี้

1. ปัจจัยลักษณะกายภาพของวัสดุธรรมชาติที่เลือกใช้ในการผสมคอนกรีตบล็อกควรมีปริมาณการหมุนเวียนของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ได้ตลอดทั้งปี โดยใช้ประโยชน์จากซากเหลือจากการเก็บเกี่ยวมาสร้างมูลค่าเพิ่มในการนำวัตถุดิบที่มีความชื้นจากการเก็บเกี่ยวผ่านกระบวนการทำให้แห้งต้องเลือกชนิดของวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นส่วนผสมคอนกรีต ถ้านำวัสดุธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมโดยตรงที่ไม่ต้องนำมาผ่านกระบวนการปรับสภาพก่อนควรมีลักษณะที่แห้งขนาดไม่เกิน 3 เซนติเมตร จะทำให้วัสดุธรรมชาติมีการกระจายตัวสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตและไม่ดูดซึมความชื้นมากเกินไป แต่ถ้านำวัสดุธรรมชาติมาทำให้ขนาดเล็กลงจนเป็นชิ้นละเอียดจะทำให้ไม่มีมวลของเซลลูโลสในคอนกรีตบล็อกซึ่งจะไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติที่ช่วยในการลดการนำความร้อน ส่วนกรณีที่ต้องนำวัสดุธรรมชาติมาผ่านกระบวนการด้วยการนำไปผสมกับวัสดุอื่นก่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดการดูดซึมความชื้นก่อนนำไปเป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อกควรมีลักษณะพื้นผิวที่เอื้อต่อการยึดเกาะกับส่วนผสมอื่น มีขนาดที่ไม่เล็กเกิน 0.5 เซนติเมตรเพื่อให้เกิดมวลของวัสดุธรรมชาติที่มีเส้นใยเซลลูโลสในการสร้างความหนาแน่นให้พื้นผิวของวัสดุธรรมชาติสูงขึ้นป้องกันความดันของไอน้ำที่จะแพร่เข้ามายังพื้นผิวภายในเส้นใยเซลลูโลสได้

2. ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ความคุ้มค่าในการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติที่ถือว่าเป็นเกณฑ์สำคัญในการที่จะพัฒนาต่อยอดให้เกิดมูลค่าเพิ่มในเชิงพาณิชย์ คือการเตรียมวัสดุธรรมชาติต้องมีความคุ้มค่าในการลงทุน ขั้นตอนการนำน้ำและความชื้นออกจากวัสดุธรรมชาติ ต้องไม่ผ่านกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูง ควรเลือกใช้วัสดุธรรมชาติที่มีความชื้นน้อยหรือแห้งจะเกิดการคุ้มทุนมากกว่า

เอกสารอ้างอิง

- กนกเนตร เพ็ชรทองช่วย และ โสภกา วิศิษฐ์ศักดิ์. (2554). **การพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติด้านการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก จากฟางข้าว**. สาขาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กันยรัตน์ โหละสุด. (2551). **วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อช่วยรักษาความร้อนในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์**. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
- กิตติ เต็มมธูรพจน์, โสภกา วิศิษฐ์ศักดิ์, โจเซฟ เดคารี. (2554). **การพัฒนาอะลาปาล์มบล็อกน้ำหนักเบาที่มีประสิทธิภาพในการลดความร้อน เข้าสู่อาคาร**. สาขาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คำชาย พันทวงศ์, โสภกา วิศิษฐ์ศักดิ์, เดคารี โจเซฟ. (2557). **การพัฒนาบล็อกปูนซีเมนต์ขาวผสมฟางข้าวเสริมไม้ไผ่**. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52. สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2557. หน้า 17-24 (392 หน้า)
- ชาติรี เกียรติจรูญศิริ. (2553). **การลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยใช้สารดูดความชื้นเพื่อการประหยัดพลังงาน**. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 7 ฉบับปี 2553/1
- บุษยา รัตนสุภา. (2552). **การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางชีวเคมีเมล็ดข้าว**. กรมการข้าว ออนไลน์. จาก <http://www.etheses.rbu.ac.th/pdf-uploads/thesis-18-file06-2015-09-18-08-33-49.pdf>
- ปรีชญา มัทธอนทวี และ ทายกร จารุชัยมนตรี. (2557). **การศึกษาเปรียบเทียบสภาพความชื้นและการใช้พลังงานของอาคารปรับอากาศที่ใช้ผนังภายนอกแบบต่างๆ โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์**. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557. 10.
- พิมลพรรณ พงษ์โสภณ. (2541). **การศึกษาการเก็บสะสมพลังงานความร้อนด้วยเปลี่ยนเฟสแบบพาราฟินบรรจุในท่อกลม**. ภาควิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- พีระพงศ์ กัทลี และ เซาว์ อินทร์ประสิทธิ์. **คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า ก่อนคั่วและหลังคั่ว**. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่9. หน้า 97-104
- ราตรี เกียรติจรูญศิริ, สุดาภรณ์ ฉุ่งสู้, พรรณจิรา ทิศาวิภาต และบัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย . (2553). **การลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยใช้สารดูดความชื้นเพื่อการประหยัดพลังงาน**. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 7 ฉบับปี 2553/1
- วรรณุช ดิละมัน, กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล, และกิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์. (2559). **การพัฒนาและผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยผสมเส้นใยธรรมชาติ**. งานวิจัยทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- สมคณเณ เกียรติก้อง. (2013). **ความหนาแน่นกำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับดินเขรามิกและเศษใบไม้**. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- สมชาย มณีวรรณ, สุริยงค์ ประชาเขียว และ พรสวรรค์ อมรศักดิ์ชัย. (2550). **อิทธิพลของฟองอากาศที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำในเนื้อวัสดุก่อสร้าง**. มหาวิทยาลัยนเรศวร กรมอุตุนิยมวิทยา. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 21 พฤษภาคม 2560] จาก <https://www.tmd.go.th/info/info>.

- สุทธิพร เต็มกล้า และ อรรถจน์ เศรษฐบุตตร. (2017). **ประสิทธิภาพด้านพลังงานของแผ่นวัสดุเปลี่ยนสถานะเมื่อใช้เป็นผนัง ภายในอาคาร ในเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้น**. รายงานการประชุมวิชาการเทคโนโลยีอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 4.
- อิลีหียะ สนิโซ ยุทธนา ภูริระวณิชย์กุล และ สุภวรรณ ภูริระวณิชย์กุล. (2549). **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยวัสดุ เหลือใช้ทางการเกษตร**. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4. 31 มีนาคม 2549, ศูนย์ป้าฐกถาประดิษฐ์ เซยจิตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, จ.สงขลา, บทคัดย่อ หน้า 74.
- Ahmed Hassan, Mohammad Shakeel Laghari, Yasir Rashid. (2016). **Micro-encapsulated phase change materials: A review of encapsulation, safety and thermal characteristics**. 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. Vol. 04. 06. West Conshohocken : ASTM, page152-166.
- Anna Laura Pisello, b, Antonella D'Alessandro, Claudia Fabianib. (2016). **Multifunctional analysis of innovative PCM-filled concretes**. 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September Turin, ITALY.
- B.H. Abu Bakar. (2011).**Malaysian Rice Husk Ash – Improving the Durability and Corrosion Resistance of Concrete**. paper from the Asia Pacific Structural Engineering Conference, APSEC 2009. School of Civil Engineering. Engineering Campus.Universiti Sains Malaysia
- Dincer, Dost. (1996). **A perspective on thermal energy storage systems for solar energy application**. Canada : Department of Mechanical Engineering University of Victoria.
- E. B. Oyetola and M. Abdullahi. (2006). **The Use of Rice Husk Ash in Low-Cost Sandcrete Block Production**. Department of Civil Engineering, Federal University of Technology, Minna.
- Javad Torkaman, Alireza Ashori, AliSadr Momtazic. (2013). **Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks**. Construction and Building Materials Volume 50. 15 January 2014. Pages 432-436
- Jim Wilson. (2008) . **Thermal Properties Of Building Materials**. Ph.D.Articles, Materials, Compounds, Adhesives, SubstratesTechnical Data, Thermal Properties. February 1, 2008
- M. LIM (2020). **Candles Wax Compared: Soy vs Palm vs Beeswax vs Paraffin**. Retrieved from <https://aetheressences.com.au/candle-wax-types/>
- Mehling, H., Cabeza, L.F. (2008). **Heat and Cold Storage with PCM : An Up to Date Introduction into Basics and Applications**. Springer. Heidelberg, Berlin.
- QS Liu, T Zheng, P Wang, L Guo. (2010). **Preparation and characterization of activated carbon from bamboo by microwave-induced phosphoric acid activation**. Industrial Crops and Products 31.2 : page 233-238

- V. Kumar. (2016). **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**.
- Yamaguchi, Shinkichi, and Hirayuki Kawasaki.(1994). **Basic research for rice drying with silica gel**.
Drying Technology 12.5 (1994): 1053-1067.
- Yaning Zhang. (2012).**Physical Properties of Rice Residues as Affected by Variety and Climatic
and Cultivation Onditions in Three Continents**. *American Journal of Applied Sciences*,
9 (11), 1757-1768
- Yotsawat S. (2558).รวมวัสดุยอดเยี่ยมที่คอนโดและบ้านจัดสรรสมัยนี้มักนิยมใช้กัน. จาก : <https://thinkofliving.com/article>