



สมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติ (NR) ผสมลำต้นกล้วย
และยางรีไซเคิล

Thermal Properties of Concrete Blocks Inserted Natural-Rubber Sheets
Mixed with Banana Stalk and Reclaimed Rubber

เนรณูชรา ศรีคะรัน
Nerunchara Srikarun

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Applied Physics
Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ สมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติ (NR) ผสม
 ลำต้นกล้วยและยางรีเคลม
 ผู้เขียน นางสาวเนรัญชรา ศรีคะรัน
 สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ พุทธจักร)

.....ประธานกรรมการ
 (ดร.แวอาแซ แวหามะ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรณิศ นาวารัตน์)

.....กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ พุทธจักร)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรณิศ นาวารัตน์)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
 หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

.....
 (ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟาร์รุ่งสาาง)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ พุทธิจักร)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรณิศ นาวารัตน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ

(นางสาวเนรัญชรา ศรีคะรัน)
นักศึกษา

Prince of Songkhla University
Pattani Campus

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลการวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อนและ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวเนรัชรา ศรีคะรัน)

นักศึกษา

Prince of Songkla University
Pattani Campus

ชื่อวิทยานิพนธ์	สมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติ (NR) ผสม ลำต้นกล้วยและยางรีเคลม
ผู้เขียน	นางสาวเนรัฐรา ศรีคะรัน
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาภาวะโลกร้อน จึงมีการสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยนวัตกรรมที่ทางผู้วิจัยสนใจศึกษา คือ การสร้างคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย นำมาใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มผิวอาคารเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานและลดต้นทุนการผลิตฉนวนกันความร้อน โดยทำการศึกษาสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่แทรกด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย โดยลำต้นกล้วยที่ใช้จะเป็นลำต้นกล้วยที่เจริญเติบโตเต็มที่ อัตราส่วนในการผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางรีเคลมที่ศึกษา คือ 100:0, 80:20 และ 60:40 และผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 phr ซึ่งเตรียมได้จากการนำยางธรรมชาติบดผสมกับยางรีเคลม ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย และสารเคมีต่าง ๆ ด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ในปริมาณที่กำหนดไว้ เมื่อบดผสมกันจะได้ยางคอมพาวด์และนำยางคอมพาวด์แต่ละอัตราส่วนเข้าสู่กระบวนการวัลคาไนเซชัน โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแก้ว (ODR) จากนั้นนำยางคอมพาวด์ไปอัดเข้าขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเข้าไฮดรอลิกแบบสองชั้น โดยขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ 2 ขนาด ที่มีความหนาต่างกัน คือ $15 \times 15 \times 0.1 \text{ cm}^3$ และ $15 \times 15 \times 0.3 \text{ cm}^3$ จากนั้นนำแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย มาทดสอบค่าความหนาแน่น และเมื่อนำแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตได้แทรกระหว่างคอนกรีตบล็อก โดยขึ้นรูปคอนกรีตให้มีขนาด $16 \times 16 \times 3 \text{ cm}^3$ และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน พบว่าคอนกรีตบล็อกที่แทรกฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมที่อัตราส่วน 60:40 และผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ที่ความหนา 0.3 cm มีประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนดีที่สุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด คือ 0.0706 W/m-K และจากผลการทดสอบการกดเพื่อทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกพบว่าคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีความแข็งแรง และความต้านทานการกดเท่ากันกับคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อน

Thesis Title	Thermal Properties of Concrete Blocks Inserted Natural-Rubber Sheets Mixed with Banana Stalk and Reclaimed Rubber
Author	Ms. Nerunchara Srikarun
Major Program	Applied Physics
Academic Year	2017

ABSTRACT

Nowadays, the effects of global warming are the environmental changes cause to the novel innovation for solving this problem. One of the interesting innovation is developing concrete blocks inserted natural – rubber sheet mixed with reclaimed rubber and fiber of banana stalk that was used as façade materials for energy reduction and cost reduction to produce the thermal insulator. The purpose of this research is to study the thermal conductivity of concrete blocks inserted with natural rubber sheets, reclaimed rubber and fiber of banana stalks by using the completed growth. The mixed ratios between natural rubber and reclaimed rubber were 100:0, 80:20 and 60:40 then mixed with fiber of banana stalks at 2, 4, 6, 8 and 10 phr. The preparation of thermal insulator of natural rubber mixed with reclaimed rubber and fiber of banana stalks is as follows. Crushed and mixed natural rubber, reclaimed rubber, fiber of banana stalks and chemicals by two roll mill machine as amount is set. When the mixing is done, the rubber compounds are obtained and taken to investigate cure time by Oscillating Disc Rheometer. The rubber compounds were pressed into socket shape, with two sizes ie, $15 \times 15 \times 0.1 \text{ cm}^3$ and $15 \times 15 \times 0.3 \text{ cm}^3$. The samples of natural rubber, reclaimed rubber, and fiber of banana stalks are tested for density. When the sheets are inserted between concrete blocks sized at $16 \times 16 \times 3 \text{ cm}^3$, it was found that the concrete blocks with natural rubber, reclaimed rubber 60:40, and fiber of banana stalks at 8 phr with thickness of 0.3 cm, and the resulting lowest thermal conductivity was at 0.0706 W/m-K . From the testing for compression strength of concrete blocks that inserted with natural rubber, reclaimed rubber and fiber of banana stalks in various mixing ratios. Most of the given ratios have the same compressibility and solidity comparable to each other and is taken for further testing for strength.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ พุทธจักร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรณิศ นาวารัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.แวอาแซ แวหามะ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลา แรงกาย แรงใจ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในทุกประเด็น อีกทั้งคอยตักเตือน ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งผู้ศึกษาขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ และบุคลากรสาขาวิชาฟิสิกส์ และสาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมทั้งคอยชี้แนะ และให้คำปรึกษาการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ และขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้ทุนยกเว้นค่าธรรมเนียมการศึกษาตลอดหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

และขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรี และนักศึกษาปริญญาโท รวมถึงคุณครูโรงเรียน มอ.วิทยานุสรณ์ สุราษฎร์ธานี ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ทั้งด้านกำลังกาย และกำลังใจมา ณ ที่นี้ด้วย

เนรัญชรา ศรีคะรัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
บทที่ 2 ทฤษฎี	9
2.1 ฉนวนกันความร้อน (Thermal insulation)	9
2.1.1 ประเภทฉนวนกันความร้อน	9
2.1.2 กลไกการเป็นฉนวนกันความร้อน	10
2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของฉนวนกันความร้อน	11
2.2 การถ่ายโอนพลังงานความร้อน (Heat transfer)	12
2.2.1 การนำความร้อน (Thermal conduction)	12
2.2.2 การพาความร้อน (Thermal convection)	14
2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation)	14
2.3 ยางธรรมชาติ (Natural rubber)	14
2.4 ยางรีไซเคิล (Reclaimed rubber)	16
2.5 สมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ (Thermal properties of polymer)	17
2.6 การผสมสารเคมีในยาง	18
2.6.1 สารกระตุ้น (Activator)	18
2.6.2 สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)	18
2.6.3 สารตัวเติม (Filler)	18
2.6.4 สารเคมีอื่น ๆ	19
2.7 การวัลคาไนซ์ยาง (Vulcanization)	19
2.8 การออกแบบสูตรสำหรับยางอุณหภูมิสูง	19
2.8.1 ผลของการเสื่อมคุณภาพของยางที่อุณหภูมิสูง	20
2.8.2 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของยาง	20
2.8.3 ขอบเขตของอุณหภูมิ	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.4 ระบบของการวัลคาไนซ์	20
2.9 ลำต้นกล้วย (Banana Stalk)	20
2.10 เซลลูโลส (Cellulose)	22
2.11 ปูนซีเมนต์ (Cement)	23
2.11.1 ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ	23
2.11.2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland cement)	23
2.11.3 ปูนซีเมนต์อื่น ๆ	24
2.12 ความหนาแน่น (Density)	24
2.13 สมบัติการเปลี่ยนรูปแบบกด	24
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	27
3.1 ยาง ปูน และสารเคมี	27
3.1.1 ยางแท่ง STR 5L	27
3.1.2 ยางรีเคลม (Reclaimed rubber)	27
3.1.3 ปูนสำเร็จรูป	27
3.1.4 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ชนิด White seal	27
3.1.5 กรดสเตียริก (Stearic acid)	27
3.1.6 CBS (N-Cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide)	27
3.1.7 6PPD (N-Phenyl-N-1,3-dimethylbutyl-p-phenylenediamine)	27
3.1.8 กำมะถัน (Sulphur)	28
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์	27
3.2.1 เครื่องชั่งละเอียดแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic balance)	27
3.2.2 เครื่องปั่นน้ำผลไม้	27
3.2.3 ตะแกรงร่อนสาร เบอร์ 16	27
3.2.4 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)	27
3.2.5 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disc Rheometer, ODR)	28
3.2.6 เครื่องอัดเข้าไฮดรอลิคแบบสองชั้น (Compression Moulding Machine)	29
3.2.7 เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic density meter)	29
3.2.8 ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน	30
3.2.9 เครื่องมือการทดสอบสมบัติการกด (Compression tester)	31
3.3 วิธีการวิจัย	32
3.3.1 การเตรียมสารตัวเติม (Filler)	32
3.3.2 การเตรียมยางคอมปาวด์	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การอัดเข้าขึ้นรูป	34
3.3.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น	34
3.3.5 การเตรียมคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อน	34
3.3.6 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกัน ความร้อน	35
3.3.7 การทดสอบการกีดของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อน	36
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย	37
4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสม ยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย	37
4.2 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกัน ความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย	39
4.3 ผลการทดสอบการกีดของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากยาง ธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย	43
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการศึกษา	46
5.1.1 กลไกการเป็นฉนวนกันความร้อน	46
5.1.2 การทดสอบความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติ ผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย	46
5.1.3 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวน กันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้น กล้วย	47
5.1.4 การทดสอบการกีด	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	54
ประวัติผู้เขียน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ข้อดีและข้อเสียของฉนวนชนิดต่าง ๆ	12
2.2	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนชนิดต่าง ๆ	14
3.1	สูตรผสมยางธรรมชาติ ยางรีเคลม ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย และสารเคมีต่าง ๆ	34
4.1	ค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่ขึ้นรูปด้วยความหนา 0.1 cm และ 0.3 cm	37
4.2	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย	41

Prince of Songkla University
Pattani Campus

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงแผนภูมิการใช้พลังงานแยกตามระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร	2
1.2 ความต้องการปูนซีเมนต์ทั่วโลก	3
1.3 ราคาขายแผ่นดิบประมูล ณ ตลาดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่	4
2.1 กลไกการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนกันความร้อน	10
2.2 ภาพจาก SEM แสดงการกระจายตัวของผงกาบกล้วย 2 บริเวณ a และ b ด้วยขนาดกำลังขยาย 250 เท่า	11
2.3 การถ่ายเทความร้อนของวัตถุ	13
2.4 โครงสร้างโมเลกุลของ <i>cis</i> -1,4-Polyisopene (C_5H_8)	15
2.5 ลำต้นกล้วย	21
2.6 SEM แสดงลักษณะภายในเส้นใยของลำต้นกล้วย	21
2.7 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	22
2.8 การทดสอบการกวัดถูรูปทรงกระบอก	25
3.1 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)	28
3.2 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disc Rheometer, ODR)	28
3.3 เครื่องอัดเข้าไฮโดรลิกแบบสองชั้น (Compression moulding machine)	39
3.4 เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic density meter)	30
3.5 ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน	31
3.6 เครื่องทดสอบการกด (Compression tester)	32
3.7 ลำต้นกล้วย	32
3.8 โครงสร้างลำต้นกล้วยภาคตัดขวาง	33
3.9 ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย	33
3.10 การแทรกแผ่นยางในคอนกรีตบล็อก	35
3.11 คอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน	35
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่ขึ้นรูปด้วยความหนา 0.1 cm และ 0.3 cm กับปริมาณผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย	38
4.2 ภาพจาก SEM แสดงการกระจายตัวของผงกาบกล้วย 2 บริเวณ a และ b ด้วยขนาดกำลังขยาย 250 เท่า	39
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm	40

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm	40
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนกับอัตราส่วนการผสมยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย	42
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับการเปลี่ยนรูปแบบโคชี	44
4.7 กราฟความสัมพันธ์ค่ามอดุลัสกับเวลาที่ใช้ในการกด	44
5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนระหว่างคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อนและคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด	48

Prince of Songkla University
Pattani Campus

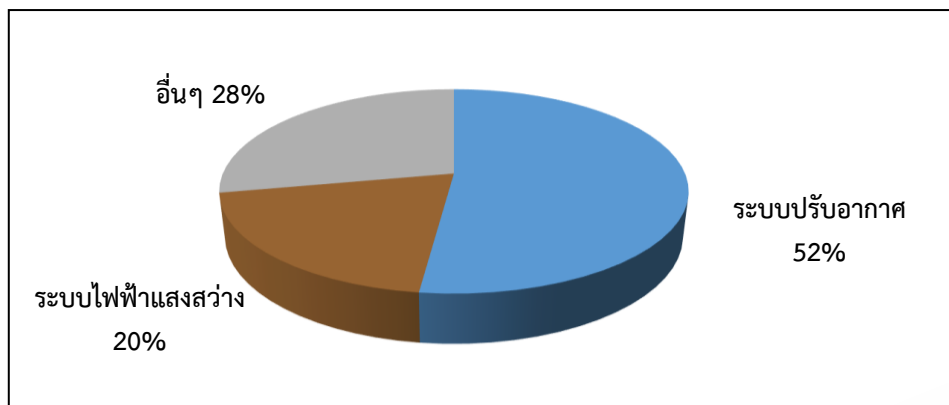
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ในปัจจุบันภาวะโลกร้อน (Global warming) ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศและอุณหภูมิของโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยอุณหภูมิของโลกสูงขึ้นทุกปี มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ นับตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 และภายใน พ.ศ.2643 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ $1.4\text{ }^{\circ}\text{C} - 5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ หากยังไม่ลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (รัตนสุตา, 2558) โดยก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในบรรยากาศนั้นมีความสำคัญต่อการรักษาระดับอุณหภูมิของโลก เกิดจากการกระทำของมนุษย์ในการดำรงชีวิต พบได้จากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมขนส่ง รวมถึงการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันอีกด้วย ซึ่งก๊าซเรือนกระจกจะมีความสามารถในการดูดซับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากผิวโลกกลับสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้พลังงานความร้อนวนเวียนอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก ก๊าซเหล่านี้ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) และไนตรัสออกไซด์ เป็นต้น (ณัฐภาพ และคณะ, 2553)

การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศของโลกมาจากการใช้พลังงานมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 60 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมนุษย์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศที่พัฒนาแล้ว และประเทศที่กำลังพัฒนา พบว่ากลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลซึ่งเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุด คิดเป็นร้อยละ 81 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ในระหว่างปี 2533 - 2547 ประเทศไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นอันดับที่ 4 ของประเทศในกลุ่มอาเซียน และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ปี ทำให้ประเทศไทยมีความเสี่ยงสูง และส่งผลกระทบต่อการพัฒนาประเทศ โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) ได้กำหนดทิศทางการแก้ปัญหาอย่างจริงจัง โดยเฉพาะทางด้าน การนำทรัพยากรมาใช้ในระบบอุตสาหกรรมให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การก่อสร้างอาคารบ้านเรือน โดยใช้วัสดุจากธรรมชาติ หรือวัสดุเหลือใช้มาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มผิวอาคาร เป็นต้น (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2553)

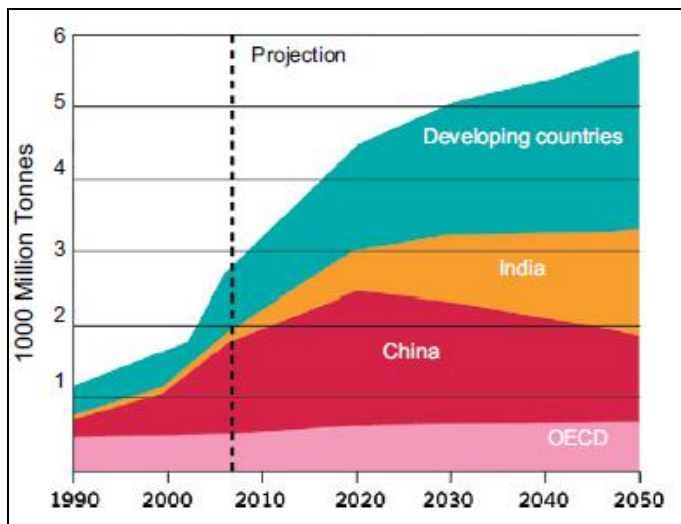
จากการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารประเภทที่พักอาศัย พบว่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้ไปกับระบบการทำความเย็น ระบบปรับอากาศภายในบ้านให้มีอุณหภูมิลดลง เช่น พัดลม แอร์ เป็นต้น ดังแสดงในแผนภูมิการใช้พลังงานแยกตามระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร ดังภาพที่ 1.1 ดังนั้นวัสดุก่อสร้างภายนอกที่เปรียบเสมือนเปลือกห่อหุ้มอาคาร ควรเลือกชนิดที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในตัวอาคาร จะช่วยให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลงได้อีกทั้งยังสามารถรักษาอุณหภูมิภายในบ้านให้คงที่ ซึ่งจะเป็นการลดการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบปรับอากาศได้ (วรรณิ และชัยรัตน์, 2557)



ภาพที่ 1.1 แสดงแผนภูมิการใช้พลังงานแยกตามระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

ในขณะนี้การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการผลิตฉนวนกันความร้อน เพื่อใช้เป็นวัสดุ ก่อสร้างได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่เมื่อศึกษากระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อน พบว่ามี ต้นทุนการผลิตสูงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ประชุม, 2550) จึงมีการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างวัสดุ ก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ในภาคอุตสาหกรรมมีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อนำมา ผลิตวัสดุก่อสร้างอาคารบ้านเรือน โดยเฉพาะการนำวัสดุที่ใช้แล้วมารีไซเคิล (Recycle) นำกลับมาใช้ ใหม่หรือการใช้วัสดุจากธรรมชาติมาผลิตเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพื่อลดปัญหามลพิษ ลดการ ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การใช้ฟางเป็นฉนวนป้องกันความร้อน การผลิตอิฐบล็อกจาก กระดาษรีไซเคิล การผลิตคอนกรีตที่มีส่วนผสมของพลาสติกกรีไซเคิลและเศษขยะ การผลิตวัสดุ ก่อสร้างจากซีเมนต์ผสมคอนกรีต เป็นต้น (สุนทร, 2553) ซึ่งวัสดุอาคารบ้านเรือนที่เป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อมจะมีผลดีต่อเจ้าของอาคารบ้านเรือนหรือผู้อยู่อาศัย เช่น ช่วยอนุรักษ์พลังงาน มีต้นทุนใน การสร้างอาคารบ้านเรือนลดลง มีความคล่องตัวในการออกแบบอาคารบ้านเรือนสูงขึ้น และยังส่งผล ให้ผู้อยู่อาศัยมีสุขภาพที่ดี (ทิพวรรณ, 2549)

การสร้างอาคารบ้านเรือนในอดีตที่ผ่านมานิยมสร้างด้วยไม้ เนื่องจากแต่ก่อนมี ทรัพยากรธรรมชาติจำนวนมาก สามารถหาได้ง่ายและราคาถูก แต่ในปัจจุบันปริมาณต้นไม้มีปริมาณ ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีราคาที่แพงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการคิดค้นหาวัสดุใหม่ เพื่อนำมา ทดแทนการใช้ทรัพยากรไม้ การก่อสร้างในโลกปัจจุบัน จึงมีการใช้วัสดุประเภทอิฐ ปูน และคอนกรีต ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก (สุวิชัย, 2555) ดังภาพที่ 1.2 โดยงานผนังโดยทั่วไปจำแนก ได้ออกเป็น งานผนังภายนอกอาคาร เช่น รั้วบ้าน และงานผนังภายในอาคาร เช่น งานผนังสำหรับรับ น้ำหนัก และงานผนังชนิดที่ไม่รับน้ำหนัก โดยคอนกรีตบล็อกหรืออิฐบล็อกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยม นำมาใช้ก่อผนังอย่างแพร่หลาย โดยมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่สำคัญใน การผลิต ทำให้คอนกรีตบล็อกมีราคาถูก อีกทั้งมีกรรมวิธีในการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ซึ่งคอนกรีตบล็อกเป็น วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ดี ความร้อนสามารถไหลผ่านผนังอาคารได้โดยไม่มีการ กักเก็บความร้อน อุณหภูมิภายในตัวอาคารจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของคอนกรีต บล็อก (Kim Kook – Han et al, 2002)



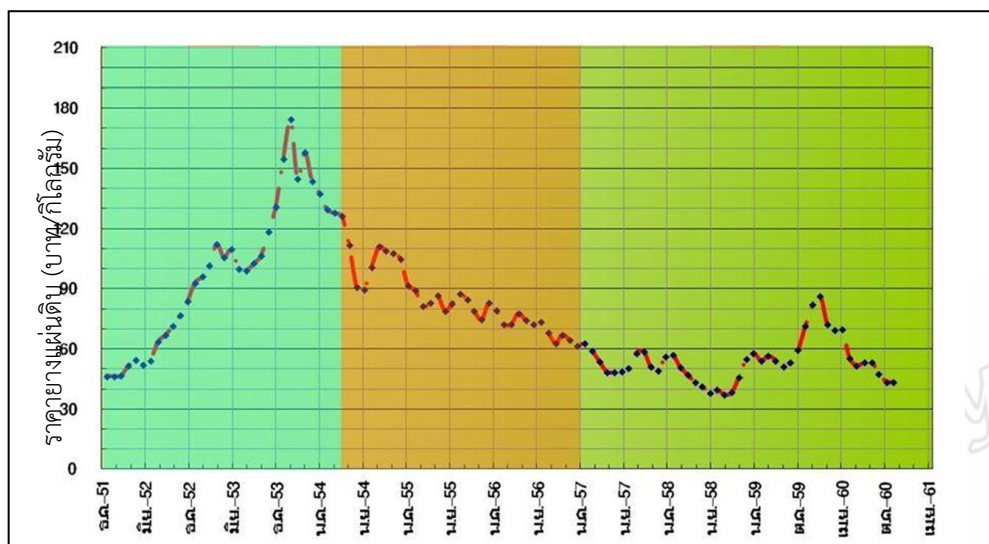
ภาพที่ 1.2 ความต้องการปูนซีเมนต์ทั่วโลก (Pacheco-Torgal F., 2012)

การเสริมสร้างสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีให้กับคอนกรีตบล็อก เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนจากภายนอกก่อนเข้าสู่ภายในตัวอาคาร ปัจจุบันฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น โยแกว โฟม อะลูมิเนียมพอยล์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีต้นทุนในการนำเข้าสู่สูงและอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพเมื่อนำมาใช้งาน แต่เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจะมีสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรจำนวนมาก จึงได้มีการวิจัยเพื่อนำสิ่งเหลือใช้เหล่านี้มาผลิตเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งในโครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติมีลักษณะเป็นโพรงอากาศ ช่วยให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ นอกจากนี้วัสดุทางการเกษตรซึ่งเป็นพืชที่มีเส้นใยจะมีโครงสร้างประกอบด้วยสารอินทรีย์ โดยเฉพาะเซลลูโลสที่มีปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 60 – 80 ของสารประกอบทั้งหมดสามารถนำมาทำเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้เป็นอย่างดี ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อนำเส้นใยเหล่านี้แทรกกระหว่างคอนกรีตบล็อก จะช่วยทำให้คอนกรีตบล็อกมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น (อนุภา, 2559)

การติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนไว้ด้านนอกของผนังอาคารทั้งในส่วนของผนังอาคารก่ออิฐฉาบปูนเรียบปกติ และผนังอาคารก่ออิฐมวลเบา รวมทั้งการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน โดยการแทรกกระหว่างผนังอาคาร จะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากด้านนอกตัวอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนไว้ด้านในของผนังอาคาร เนื่องจากฉนวนป้องกันความร้อนจะช่วยลดการสะสมความร้อนภายในผนังอาคาร (ชูพงษ์, 2556)

ยางธรรมชาติเป็นหนึ่งในวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี โดยภายในโมเลกุลยางมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลเป็นที่กักเก็บความร้อน และเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ โดยยางธรรมชาติจากยางพาราที่เป็นพืชเศรษฐกิจของไทย ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงราคาอย่างต่อเนื่อง ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน พบว่าราคายางสูงสุดถึง 180 บาท/กิโลกรัม ในช่วงปี 2553 จากนั้นราคายางพาราก็ลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นไปตามสถิติราคายาง

แผ่นดิบ ดังภาพที่ 1.3 จนในปัจจุบันราคาขายพารามีราคาประมาณ 35 บาท/กิโลกรัม ซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรและเศรษฐกิจของประเทศไทย (ธรรณิศา, 2561)



ภาพที่ 1.3 ราคาขายแผ่นดิบประมูล ณ ตลาดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่ (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2561)

นอกจากนี้ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมประเภทยางรถยนต์สูง และยางล้อรถยนต์จำนวน 1,000 ล้านตัน จะหมดอายุการใช้งานทุก ๆ ปี (ธนาวรรณ, 2539) ซึ่งยางล้อรถยนต์ที่ใช้แล้วเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่ทั่วโลก โดยยางล้อรถยนต์เก่าเหล่านั้นจะทำลายได้ยาก เนื่องจากก่อให้เกิดควันพิษ และมลภาวะมากมาย จึงมีการคิดค้นการนำยางล้อรถยนต์มาทำการแปรรูปเป็นยางรีเคลมผสมกับยางธรรมชาติเพื่อผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน (เฉลิมพล และคณะ, 2546) แต่อย่างไรก็ตามการนำผลิตภัณฑ์ประเภทยางล้อรถยนต์ หรือพอลิเมอร์อื่น ๆ มารีไซเคิลกลับมาใช้ใหม่ยังมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทกระดาษ และโลหะ (Yesilata *et al.*, 2009)

ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงสนใจศึกษาการนำยางธรรมชาติ (Natural rubber) ผสมกับยางรีเคลม (Reclaimed rubber) และสารตัวเติมจากธรรมชาติ คือ ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย อัดเข้าขึ้นรูปเป็นฉนวนกันความร้อนแทรกกลางระหว่างคอนกรีตบล็อก เพื่อเป็นวัสดุห่อหุ้มอาคารและเพิ่มประสิทธิภาพการเป็นฉนวนกันความร้อน เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัสดุธรรมชาติ

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น โฟม โพลีเอสเตอร์ เป็นวัสดุที่มีต้นทุนในการนำเข้าสูงและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพขณะใช้งาน ประกอบกับผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยในแต่ละปีมีปริมาณสูง และมีสารชีวมวลจึงได้มีการวิจัยเพื่อนำสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้มาผลิตเป็นวัสดุใหม่ นั่นก็คือ ฉนวนป้องกันความร้อน สารชีวมวล

หลายชนิดที่ได้จากการเกษตรเป็นสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ซึ่งการนำสารชีวมวลมาใช้ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบ อนุภาคต้องมีขนาดเล็ก มีโครงสร้างทางเคมีที่เหมาะสมกับยางธรรมชาติที่ต้องการผสมสารชีวมวลตัวอย่างที่นำมาใช้ทดสอบเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ได้แก่ ชานอ้อย เส้นใยปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลาปาล์ม กะลามะพร้าว กาบเส้นใยมะพร้าว แกลบ เปลือกหอย เปลือกไข่ ขนไก่ กระจูดปาล์ม กระจูดปู เพื่อใช้แทนสารเคมีต่าง ๆ อีกทั้งสามารถส่งผลกระทบต่อเสริมแรง และปรับปรุงสมบัติของยางได้อย่างมาก (บุญญาธิช, 2555) ต่อมาเมื่อมีการศึกษาการผลิตวัสดุป้องกันความร้อน โดยเลือกใช้วัสดุที่เป็นเส้นใยจากธรรมชาติ และเป็นสิ่งที่เหลือจากการเกษตร นั่นก็คือ ชังข้าวโพด มาทำการทดสอบสมบัติการนำความร้อนเพื่อผลิตเป็นแผ่นฉนวนป้องกันการนำความร้อนภายในอาคาร ซึ่งเส้นใยในชังข้าวโพดมีลักษณะเป็นโพรงอากาศ ป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดี ซึ่งในการผลิตฉนวนใช้น้ำยางธรรมชาติผสมน้ำในอัตราส่วน 1:0, 1:1, 1:2 และ 2:1 โดยแบ่งความหนาแน่นเป็น 200 kg/m^3 และ 300 kg/m^3 ขึ้นรูปโดยการนำชังข้าวโพดจุ่มในน้ำยางที่อัตราส่วนต่าง ๆ ใส่ในแม่พิมพ์แล้วอบที่อุณหภูมิ $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง พบว่าฉนวนที่มีอัตราส่วนของน้ำยาง 1:0 และ 2:1 มีการยึดเกาะกันภายในแผ่นฉนวนดีกว่าแบบอื่น ๆ แผ่นฉนวนที่มีค่าความหนาแน่น 300 kg/m^3 อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติธรรมชาติ 1:0, 1:1 และ 2:1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.068 W/m-K , 0.067 W/m-K และ 0.066 W/m-K ตามลำดับ (อนุภา, 2559)

อีกทั้งยังมีการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากต้นปุด โดยใช้ผสมกับน้ำยางพาราที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล โดยน้ำยางพาราจะเป็นตัวเชื่อมประสานผ่านกระบวนการอัดโดยใช้ความร้อน ขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบขนาด $360 \times 360 \times 14.9 \text{ mm}$ พบว่าแผ่นฉนวนจากเส้นใยของใบ เปลือกนอก และแกนในของต้นปุดที่มีความหนาแน่นเท่ากับ $206.7 - 416.5 \text{ kg/m}^2$ จะมีค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง $0.0737 - 0.0757 \text{ W/m-K}$ เป็นฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากต้นปุดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น เส้นใยมะพร้าว เส้นใยกกช้าง และเส้นใยต้นปุดที่ค่าความหนาแน่นเดียวกัน พบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยต้นปุดมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงกว่าแผ่นฉนวนจากเส้นใยกกช้าง และมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนกันความร้อนจากอิฐมวลเบา แสดงให้เห็นว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยต้นปุดสามารถนำไปดัดแปลงเป็นวัสดุป้องกันความร้อนภายในตัวอาคารได้ (อุษาวดี และฉันทนา, 2560) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำแกลบ ชี้เถ้าแกลบ และรำสกัดน้ำมัน มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติอีกด้วย โดยแกลบที่ใช้เป็นแกลบจากข้าว ซึ่งถูกบดและร่อนให้มีขนาด $180 \mu\text{m}$ ส่วนชี้เถ้าแกลบได้จากการนำแกลบมาเผา จากนั้นนำแกลบไปล้างด้วยน้ำแล้วทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกจนได้เถ้าสีขาว แล้วนำเถ้าซิลิกาที่ได้ไปบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดแบบใช้กำลังลม และรำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในยาง ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงขนาด $100 - 106 \mu\text{m}$ และอบจนแห้ง จากการทดสอบพบว่ายางธรรมชาติที่มีแกลบเป็นสารตัวเติม จะมีค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานการฉีกขาดค่อนข้างต่ำ เหมาะสำหรับกรณีที่ไม่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ต้องเสริมแรง สำหรับชี้เถ้าแกลบเป็นได้ทั้งสารตัวเติมแบบเสริมแรง และแบบไม่เสริมแรงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค โดยถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กก็สามารถ

เสริมแรงได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ และร่าสกัดน้ำมันสามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรงในยางธรรมชาติ เมื่อนำร่าสกัดน้ำมันไปเปรียบเทียบกับดินขาว และแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารตัวเติมลดต้นทุนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง พบว่ายางผสมร่าสกัดน้ำมันมีสมบัติความต้านทานการสึกหรอ ความแข็ง และค่ามอดุลัสดีกว่า นอกจากนี้ยังมีค่าการเสียรูปหลังการกดอัดน้อยกว่าอีกด้วย (ตรีญญา, 2555)

การศึกษาการนำพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์เรซินผสมกับยางธรรมชาติเพื่อทดสอบสมบัติการนำความร้อน ซึ่งโพลีเอสเตอร์เรซินที่ใช้มีส่วนผสมอยู่ 44 – 46% และความหนืด คือ 280 – 330 MPa โดยขนาดของยางที่ใช้ในการผสม คือ น้อยกว่า 0.8 mm และ 0.8 – 2.0 mm ปริมาณในการผสม คือ 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45% และ 100% ขึ้นรูปขนาด 150×150×20 mm³ ทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยเครื่องทดสอบการนำความร้อน Lasercomp FOX-200 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของโพลีเอสเตอร์เรซินไม่ผสมยางมีค่าเท่ากับ 0.15 W/m-K ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด คือ โพลีเอสเตอร์เรซินผสมยางขนาด 0.8 – 2.0 mm ปริมาณ 40% มีค่าเท่ากับ 0.11 W/m-K โดยจากการศึกษาพบว่า การเพิ่มยางส่งผลให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง และความหนาแน่นก็มีค่าลดลงเช่นกัน (Abu-Jdayil. *et al.*, 2016) และยังมีผลผลิตฉนวนกันความร้อนแบบเซลล์ปิดจากยางธรรมชาติ โดยใช้ยางแท่ง STR 5L ผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน 2 ชนิด คือ ฉนวนกันความร้อนที่ไม่ผสมซิลิกา และฉนวนกันความร้อนที่ผสมซิลิกา โดยจากการทดสอบพบว่า ฉนวนที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำ 10 – 12% โดยปริมาตร ค่าความหนาแน่น 0.27 – 0.29 g/cm³ ค่าความทนทานต่อความร้อน 57 – 104 °C ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.03 – 0.04 W/m-K ค่าความต้านทานต่อแรงดึงขาด 0.34 – 10.35 MPa ค่าความแข็ง 20 – 25 และราคาตารางเมตรละ 206.60 บาท ส่วนฉนวนกันความร้อนที่มีส่วนผสมของซิลิกา จากการทดสอบพบว่า มีความสามารถในการดูดซับน้ำ 10 – 15% โดยปริมาตร ค่าความหนาแน่น 0.25 – 0.50 g/cm³ ค่าความทนทานต่อความร้อน 70 – 100 °C ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.039 – 0.040 W/m-K ความต้านทานต่อแรงดึงขาด 1.30 – 6.26 MPa ค่าความแข็ง 20 – 24 และราคาตารางเมตรละ 207.09 บาท (นรา และสายฝน, 2550)

ระบบการก่อสร้างในปัจจุบัน มีการออกแบบวัสดุก่อสร้างหลายชนิดให้เป็นวัสดุที่ใช้เพื่อรับมือกับสถานการณ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะความร้อน หนึ่งในการศึกษาอย่างแพร่หลายคือ การออกแบบการผลิตคอนกรีตบล็อกให้มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน หรือมีการแทรกวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันการไหลผ่านของความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร มีการตรวจสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางผสมคอนกรีต โดยวัสดุที่ใช้ในการทดสอบมี 3 ชนิด คือ คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตแทรกแผ่นยางรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และคอนกรีตแทรกแผ่นยางรูปวงกลม นำมาทดสอบการนำความร้อนโดยใช้กล่องไดนามิกส์ อุณหภูมิที่ใช้ คือ 35 °C และ 55 °C ซึ่งจากการทดสอบพบว่าวัสดุตัวอย่างที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด คือ คอนกรีตแทรกแผ่นยางรูปวงกลม (Yesilata B. and Turgut P., 2007) อีกทั้งยังมีการทดสอบการระบายความร้อนของอิฐที่มีการผสมยางรีไซเคิลขนาด 0.075 – 4.75 mm วัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวน 8 ชนิด คือ คอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมยางในอัตราส่วน 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% ขึ้นรูป

ขนาด $105 \times 30 \times 225 \text{ mm}^3$ นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ $65 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบค่าการนำความร้อนของคอนกรีตโดยเทคนิคตู้อะเดียแบติกแบบไดนามิกส์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกจากระบบ โดยอุณหภูมิที่ใช้ คือ $35 - 55 \text{ }^\circ\text{C}$ จากผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตผสมยาง 60% มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด จึงเหมาะแก่การนำมาเป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งคอนกรีตที่ใช้ทดสอบมีค่าความหนาแน่น $1.60 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ ความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 6.11 ± 1.51 และเปอร์เซ็นต์ความพูน คือ 10.9 ± 2.6

การศึกษาคอนกรีตนำความร้อนของคอนกรีตที่ถูกผสมด้วยยางรีไซเคิลที่มีอนุภาคเล็ก ๆ จำนวน 3 ชนิด คือ อนุภาคที่กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 6 อนุภาคที่กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 26 และอนุภาคที่กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 6 ผสมกับอนุภาคที่กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 26 โดยมีปริมาณการผสมยางในอัตราส่วน 10%, 20% และ 30% จากการทดสอบพบว่าคอนกรีตธรรมดา มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.531 W/m-K ส่วนคอนกรีตผสมยางที่กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 6 อัตราส่วน 30% จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของต่ำสุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.295 W/m-K (Piti S., 2009) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการผลิตปูนผสมยางในปริมาณ 40%, 50% และ 60% และทราย รวมทั้งผสมสารกระจายกักฟองอากาศในปริมาณ 0.125%, 0.250%, 0.500%, และ 0.750% ขึ้นรูปให้มีขนาด $150 \times 150 \times 20 \text{ mm}^3$ จากนั้นนำขึ้นตัวอย่างเก็บไว้ในห้องที่อุณหภูมิ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ และ 95% ของความชื้นสัมพัทธ์เป็นเวลา 28 วัน ก่อนการทดสอบ หลังจากนั้นนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ $60 \text{ }^\circ\text{C}$ เพื่อให้มวลชิ้นงานคงที่ ทดสอบด้วยมิเตอร์การนำความร้อน NEOTIM FP2C ตามเทคนิคลดร้อน ผลการทดสอบพบว่าวัสดุที่มี สัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุดคือ ปูนผสมยาง 60% และสารกระจายกักฟองอากาศ 0.5% ส่วนแรงอัดอยู่ในช่วง 1 – 10 MPa โดยสมบัติเชิงกลมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มคอนกรีตผสมยาง และสารกระจายกักฟองอากาศ (Eiras *et al.*, 2014)

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมน้ำยาฟารา วิธีการทดลองโดยใช้ปูนและทรายเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 1:1 ผสมผงอะลูมิเนียม น้ำ ปูนขาว ยิปซัม และผสมน้ำยาฟาราปริมาณ 0, 0.10, 0.15 และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ จากนั้นนำไปอบไอน้ำ จากการทดสอบคอนกรีตมวลเบาอายุ 28 วัน พบว่าคอนกรีตมวลเบาผสมน้ำยาฟาราปริมาณ 0.10 เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ โดยทดสอบค่ากำลังอัดเท่ากับ 115 kg/cm^2 ค่ามอดูลัสการแตกร้าวด้านขอบเท่ากับ 72 kg/cm^2 และด้านแบนเท่ากับ 31 kg/cm^2 ค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1.42 g/cm^3 ค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับร้อยละ 7.98 และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.154 W/m-K (ประชุม, 2550) ต่อมามีการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และความเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเศษพลาสติก EVA จากทรงเท้า โดยตัดให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 1.5, 2.5, 5, 6 และ 8 mm จากนั้นผสมคอนกรีตขึ้นรูปขนาด $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$ ตั้งทิ้งไว้ 28 วัน เพื่อหาขนาดของพลาสติกที่เหมาะสมแก่การขึ้นรูป จะเห็นได้ว่าพลาสติกขนาด 6 mm หรือเล็กกว่า สามารถผสมเข้ากับคอนกรีตได้ดี จากนั้นนำพลาสติกขนาด 6 mm ปริมาณ 0, 250, 300 และ 350 g ผสมคอนกรีตขึ้นรูปและตั้งทิ้งไว้ 28 วัน เพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่า คอนกรีตผสมพลาสติกขนาด 6 mm ปริมาณ 300 g มีความเป็นฉนวนกันความร้อนค่าที่ดีที่สุด คือ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 640 kg/m^3 ค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินค่ามาตรฐาน ค่ากำลังอัดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.157 W/m-K (ประชุม และกิตติพงษ์, 2554)

การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของอิฐบล็อกมวลเบาที่มีสารตัวเติมเป็นเส้นใยจากกล้วย เพื่อนำวัสดุที่เหลือจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยศึกษา 2 กรณี คือ การใช้เส้นใยจากกล้วยเป็นวัสดุทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ และการใช้เส้นใยจากกล้วยเป็นวัสดุทดแทนทราย โดยใช้ระยะเวลาในการบ่มน้ำจำนวน 28 วัน จากการทดสอบพบว่า อิฐบล็อกที่ผสมเส้นใยจากกล้วยเพื่อทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 2.5 มีค่าความหนาแน่น $1,376 \text{ kg/m}^3$ และมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด 65.25 kg/cm^2 นอกจากนี้เมื่อปริมาณลำต้นกล้วยเป็นร้อยละ 7.5 พบว่าผลของความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.86 และการเปลี่ยนแปลงความยาวมีค่าสูงสุดเป็นร้อยละ 0.12 ดังนั้นอิฐบล็อกมวลเบาที่มีอัตราส่วนร้อยละระหว่างทราย : ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ยิปซัม : ผงอลูมิเนียม : เส้นใยกล้วยเท่ากับ 50 : 27.5 : 9 : 9 : 2 : 2.5 มีสมบัติต้านทานแรงอัดได้ดีที่สุด และเมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่ามีความอยู่ในช่วงที่มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าเส้นใยจากกล้วยเป็นอีกแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์เป็นวัสดุป้องกันความร้อนได้ (วรรณช และคณะ, 2559)

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกกับคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นยางวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และเส้นใยจากลำต้นกล้วย

1.3.3 เพื่อพัฒนาวัสดุผิวอาคาร และวัสดุกันความร้อนให้เป็นวัสดุเดียวกัน

บทที่ 2 ทฤษฎี

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้ ฉนวนกันความร้อน (Thermal insulation) การถ่ายโอนพลังงานความร้อน (Heat transfer) ยางธรรมชาติ (Natural rubber) ยางรีเคลม (Reclaimed rubber) สมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ (Thermal properties of polymer) การผสมสารเคมีในยาง ลำต้นกล้วย (Banana stalk) เซลลูโลส (Cellulose) ปูนซีเมนต์ (Cement) การวัดค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์ และสมบัติการเปลี่ยนรูปการกดของพอลิเมอร์ ตามลำดับดังต่อไปนี้

2.1 ฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation)

ฉนวนกันความร้อน หมายถึง วัสดุที่ใช้เพื่อลดหรือควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารบ้านเรือน โดยฉนวนกันความร้อนต้องมีสมบัติดังนี้ คือ ค่าความต้านทานความร้อน (R) สูง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) และสภาพการนำความร้อน (k) ต่ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

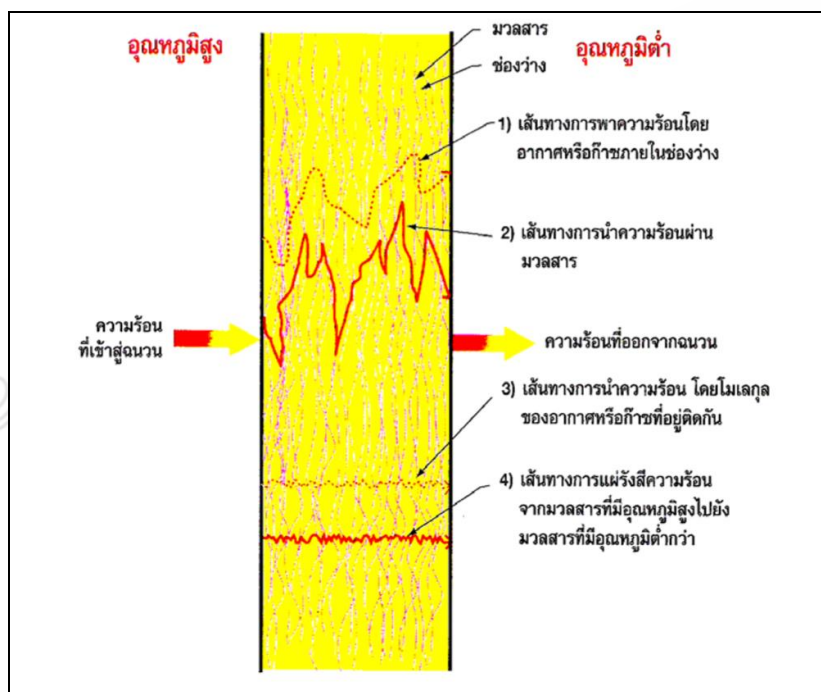
2.1.1 ประเภทของฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อนสามารถจำแนกประเภทตามลักษณะสมบัติของส่วนประกอบหลักที่ใช้เป็นวัสดุป้องกันความร้อน แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

1. วัสดุที่เป็นเส้นใย (Fiber) ประกอบด้วย เส้นใยขนาดเล็กจำนวนมาก วัสดุเส้นใยเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เส้นใยของพืชต่าง ๆ หรือเส้นใยสังเคราะห์
2. วัสดุที่เป็นช่องว่างหรือเซลล์ (Cell) ฉนวนประเภทนี้จะมีช่องว่างของแต่ละเซลล์ที่ผนังติดกัน ผลิตจากวัสดุที่เป็นแก้ว พลาสติก หรือยาง ได้แก่ โฟมโพลีสไตรีน โฟมโพลียูรีเทน เป็นต้น
3. วัสดุที่เป็นโพรงอากาศ (Granule) เป็นฉนวนกันความร้อนที่อากาศสามารถถ่ายเทระหว่างโพรงอากาศขนาดเล็ก ๆ ได้ และโพรงอากาศเหล่านี้สามารถกักเก็บความร้อนเพื่อลดอัตราการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นวัสดุที่เป็นโพรงอากาศจะเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง
4. วัสดุที่เป็นเกล็ดหรือแผ่นเล็ก ๆ (Flake) เป็นฉนวนกันความร้อนที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กที่เกาะตัวกันเป็นรูปทรงฉนวนที่มีความแข็ง มีลักษณะเป็นบล็อกหรือแผ่นอัด เช่น เพอร์ไลต์ เป็นต้น
5. วัสดุที่เป็นแผ่นบาง (Sheet) เป็นฉนวนกันความร้อนที่ทำจากวัสดุที่มีสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อน ส่วนใหญ่ฉนวนกันความร้อนประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานร่วมกับฉนวนกันความร้อนที่มีช่องว่างหรือโพรงอากาศ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนเพิ่มมากขึ้น (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2543)

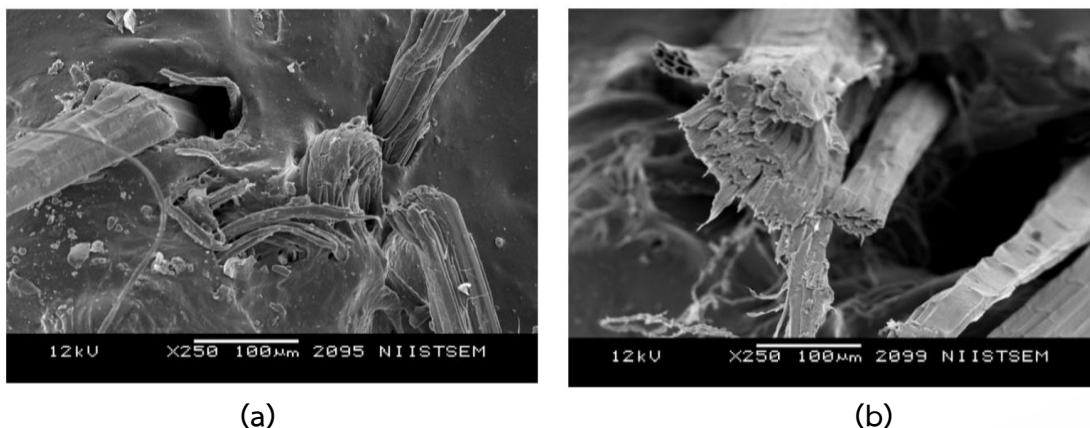
2.1.2 กลไกการเป็นฉนวนกันความร้อน

กลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนกันความร้อน เมื่อมีความร้อนไหลผ่านวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน โดยเกิดขึ้นจากการที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านช่องเล็ก ๆ ที่อยู่ภายในวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน และลักษณะที่เป็นรูพรุนหรือช่องอากาศ จะทำหน้าที่ต้านการไหล (Flow resistance) ของอากาศ ทำให้ความร้อนถูกกักเก็บไว้ และมีความร้อนเพียงส่วนน้อยที่สามารถถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนกันความร้อน โดยกระบวนการพาความร้อนได้ นอกจากนี้เมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยในแต่ละเส้นเรียงชิดติดกัน การถ่ายเทความร้อนตามทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนจะลดลง ส่งผลให้กลายเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กลไกการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนกันความร้อน (นรา และสายฝน, 2550)

จากการศึกษาผลของการผลิตฉนวนกันความร้อนโดยใช้ยางธรรมชาติผสมผงจากกากกล้วย พบว่าลักษณะภายในของฉนวนกันความร้อนมีผลในการป้องกันความร้อน โดยศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) กำลังขยาย 250 เท่า สเกล 100 μm ดังภาพที่ 2.2 (a) และ (b) เป็นลักษณะการเชื่อมต่อกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติ ซึ่งช่องว่างระหว่างโมเลกุลจะเป็นที่กักเก็บความร้อนไว้ภายในฉนวนกันความร้อนที่เป็นยางธรรมชาติและเมื่อมีการแทรกตัวของผงจากกากกล้วยระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติทำให้เกิดช่องว่างภายในฉนวนกันความร้อน ซึ่งทำให้สามารถดักจับความร้อนไม่ให้เกิดการถ่ายเทได้ ส่งผลให้ยางธรรมชาติผสมผงจากกล้วยเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น (Ezema *et al.*, 2014)



ภาพที่ 2.2 ภาพจาก SEM แสดงการกระจายตัวของผงกบกล้วย 2 บริเวณ a และ b ด้วยขนาดกำลังขยาย 250 เท่า (Ezema et al., 2014)

2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของฉนวนกันความร้อน

สิ่งที่ควรพิจารณาในการเลือกฉนวนกันความร้อนสำหรับใช้เป็นวัสดุก่อสร้างอาคารบ้านเรือน ควรเลือกฉนวนกันความร้อนที่ส่งผลให้อาคารบ้านเรือนมีอุณหภูมิต่ำ และช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ตามมา เช่น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปกับระบบการทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศภายในบ้านที่ทำให้มีอุณหภูมิลดลง สิ่งที่ต้องพิจารณาหลัก ๆ ในการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนมีดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ต่ำ และค่าความต้านทานความร้อน (R) สูง ซึ่งค่าดังกล่าวควรมีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการใช้งานฉนวนกันความร้อน

2. โครงสร้างของฉนวนกันความร้อน จะเป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการดูดซับน้ำ และความชื้น หากสามารถดูดซับน้ำได้ง่าย เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานจะเกิดการยุบตัว ซึ่งส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพความเป็นฉนวนกันความร้อนลดลง

3. ความปลอดภัยในการใช้ฉนวนกันความร้อน เช่น การเกิดเชื้อราบนวัสดุที่เป็นฉนวน การเกิดฝุ่นที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ และการเกิดอัคคีภัยจากวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ติดไฟได้ง่าย เป็นต้น

ฉนวนกันความร้อนที่มีขายตามท้องตลาด ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแผ่นซีทมันใช้วางบนฝ้า และแบบพ่นให้กระจายติดกับหลังคา วัสดุที่ใช้จะมีหลายประเภท เช่น โยแก้ว เซลลูโลส โฟมชนิดยืดหยุ่น โฟมโพลีเอทิลีน โฟมโพลีสไตรีน โฟมโพลียูรีเทน และยางอิลาสโตเมอร์ เป็นต้น โดย โดยวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนแต่ละชนิด จะมีข้อดีและข้อเสียที่ควรระวังแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยฉนวนกันความร้อนแต่ละชนิดมีราคาที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุและต้นทุนที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งการเลือกวัสดุเพื่อนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน ควรเลือกให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของฉนวนชนิดต่าง ๆ

ชนิดของฉนวน	ข้อดี	ข้อเสีย
ใยแก้ว (Glass fiber)	1. สภาพการนำความร้อนต่ำ 2. ไม่เป็นอันตราย 3. ใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 °C	1. ติดไฟได้ง่าย 2. เกิดความชื้นได้ง่าย
เซลลูโลส (Cellulose)	1. สภาพการนำความร้อนต่ำ 2. ไม่เป็นอันตราย	1. ติดไฟได้ง่าย 2. มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ 3. ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับอายุการใช้งาน
โพลีสไตรีน (Polystyrene foam)	1. สภาพการนำความร้อนต่ำ 2. ใช้เป็นตัวฉนวนช่องว่างของผนังอาคาร 3. มีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ 4. ไม่เป็นอันตราย	1. ติดไฟได้ง่าย 2. มีข้อจำกัดในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80 °C
โพลียูรีเทน (Polyurethane foam)	1. สภาพการนำความร้อนต่ำมาก 2. ใช้เป็นตัวฉนวนช่องว่างของผนังอาคาร 3. มีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ	1. ติดไฟได้ง่าย 2. เกิดควันพิษเมื่อมีการลุกไหม้
โฟมชนิดยืดหยุ่น (Elastomeric foam)	1. สภาพการนำความร้อนต่ำ 2. ติดตั้งได้ง่าย 3. ไม่เป็นอันตราย	1. ติดไฟได้ง่าย และเกิดควันพิษจำนวนมาก 2. มีข้อจำกัดในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 105 °C

ที่มา: การพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2543

2.2 การถ่ายโอนพลังงานความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายโอนพลังงานความร้อน หมายถึง การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังอีกที่หนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายโอนพลังงานความร้อน มี 3 แบบ ดังต่อไปนี้

2.2.1 การนำความร้อน (Thermal conduction)

การนำความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่ง ไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งที่สัมผัสกัน โดยจะถ่ายเทจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยอาศัยตัวกลางชนิดต่าง ๆ อัตราการนำความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ และสมบัติของวัสดุในการนำความร้อน ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการนำความร้อน ได้แก่ ชนิดของตัวกลาง หรือสสาร ความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อน ความชื้นของตัวกลาง และความแตกต่างของอุณหภูมิ เป็นต้น (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2559) โดยมีสมการค่าการนำความร้อน เป็นดังนี้

$$q = \frac{Q}{A \cdot t} \quad (2.1)$$

$$q = -k \left| \frac{dT}{dx} \right| \quad (2.2)$$

โดย q คือ ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) (W/m^2 , $\text{J}/\text{s}\cdot\text{m}^2$)

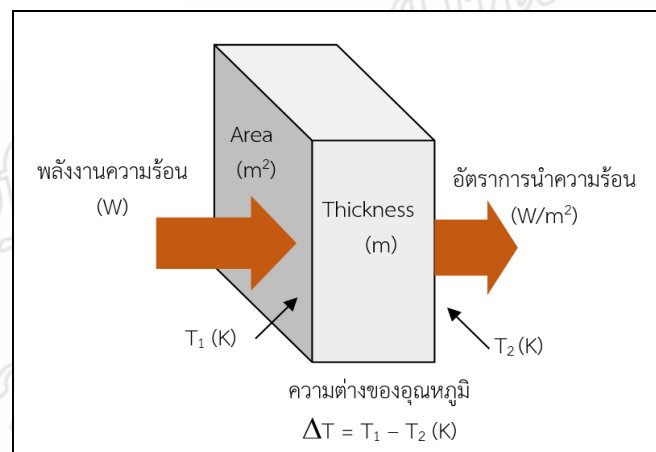
Q คือ ความร้อนที่ไหลผ่านต่อพื้นที่ตั้งฉากกับทิศการไหลของความร้อน (J)

A คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

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

t คือ เวลา (s)

$\left| \frac{dT}{dx} \right|$ คือ เกรเดียนของอุณหภูมิ (K/m)



ภาพที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนของวัตถุ (แหล่งรวมความรู้สแตนเลสเพื่อการเรียนรู้ของคนไทย, 2554)

โดยวัสดุที่ใช้ก่อสร้างอาคารบ้านเรือนแต่ละชนิดแต่ละประเภทจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของวัสดุ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน จะใช้ประกอบการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร เพื่อนำไปประกอบการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุ โดยยกตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนชนิดต่าง ๆ ที่นิยมเลือกใช้เป็นวัสดุก่อสร้างอาคารบ้านเรือนกันมากในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งวัสดุที่ควรเลือกใช้เป็นฉนวนกันความร้อนควรเป็นวัสดุประเภทที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ เพื่อช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในตัวอาคาร

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนชนิดต่าง ๆ

Material	Thermal conductivity (W/m-K)
Polyurethane (PUR)	0.021
Polynum	0.040
Mineral wool	0.042
Polyethylene (PE)	0.045
Fiber glass/Glass wool	0.045
Light weight concrete	0.13
Brick	0.69
Concrete	1.73

ที่มา: Great wall group, 2556

2.2.2 การพาความร้อน (Thermal convection)

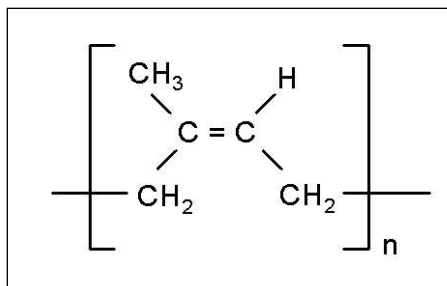
การพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสสาร ซึ่งสถานะที่สามารถพาความร้อนได้ต้องอยู่ในสถานะของเหลวหรือแก๊สเท่านั้น อัตราการพาความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ ความเร็วของการไหลตัวกลาง พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ และชนิดของของเหลวหรือแก๊ส (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation)

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากพื้นผิววัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยไม่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเท ซึ่งอัตราการแผ่รังสีความร้อนปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ และการดูดซับความร้อนของพื้นผิว (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2.3 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติในประเทศไทยและแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นยางสายพันธุ์ *Hevea brasiliensis* มีต้นกำเนิดจากกลุ่มน้ำอเมซอน น้ำยางที่กรี๊ดได้จากต้นเรียกว่าน้ำยางสด มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นมีอนุภาคเล็ก ๆ กระจายตัวในน้ำ มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีค่า pH 6.5 – 7.0 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975 – 0.980 g/mL และมีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) เป็นองค์ประกอบประมาณ 30 – 35% โดยน้ำหนัก โดยยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย *cis*-1,4-Polyisoprene (C_5H_8) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งยางธรรมชาติ 1 โมเลกุล ประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) ต่อกันเป็นสายยาวประมาณ 3,000 – 5,000 หน่วยต่อโมเลกุล มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมากน้ำหนักโมเลกุล 200,000 ถึง 400,000



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของ *cis*-1,4-Polyisoprene (C₅H₈)

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้ยางแท่งมาตรฐาน (Standard Thai Rubber, STR) เนื่องจากยางแผ่นมีการประเมินเกรดของยางด้วยสายตา ซึ่งให้ผลที่ไม่แน่นอน ทางภาคอุตสาหกรรมยางจึงเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งเป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แทนทำให้ยางแท่งมีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่ายางแผ่น ผ่านการทดสอบเพื่อประเมินเกรดของยาง และรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ โดยพิจารณาจากปริมาณสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในยางเป็นสำคัญ นอกจากนี้ก็ทำการพิจารณาตัวแปรอื่นร่วมด้วย เช่น ปริมาณเถ้า ดัชนีความอ่อนตัว เป็นต้น (พงษ์ธร, 2547) โดยจะนำยางดิบขึ้นรูปเป็นก้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 3 mm เพื่อง่ายต่อการนำสิ่งปนเปื้อนออก และง่ายต่อการแห้งของยาง จากนั้นนำไปอัดเป็นแท่ง ซึ่งจะมีน้ำหนัก 33.33 kg สามารถแบ่งยางแท่งเป็นเกรดต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับปริมาณการปนเปื้อน โดยเรียงจากคุณภาพที่ดีที่สุด คือ STR 5L, STR 5, STR 10, STR 20 และ STR 50 (สมบัติ, 2555) โดยสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติเป็นดังนี้

1. มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง เป็นลักษณะเด่นของยางธรรมชาติ โดยมีความเกี่ยวข้องกับความเค้นและความเครียด คือ ยางเกิดการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงมากระทำจากภายนอก และเมื่อปล่อยแรงที่กระทำกับยาง ยางก็จะกลับคืนสู่รูปเดิม (ตุลย์พงษ์, 2557)
2. มีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบจึงส่งผลให้ยางแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกยืดออก
3. มีความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติแตกหักได้ง่ายเมื่อทำการยืด จึงทำให้มีความทนทานต่อการฉีกขาด
4. มีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ที่ดี ซึ่งสมบัติเชิงพลวัต หมายถึง สมบัติของยางที่วัดได้เมื่อยางถูกแรงกระทำอย่างต่อเนื่องเป็นคาบ เช่น การกดและปล่อยสลับกันไป เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงและทนทานของวัสดุที่ทำจากยางธรรมชาติ โดยระหว่างการทำงานยางจะสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนต่ำ มีสมบัติการเหนียวติดกันที่ดี และยังต้านทานต่อการล้าตัวสูงเหมาะสำหรับการใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์
5. มีความต้านทานต่อการการขีดถู (Abrasion resistance) ถึงแม้ว่ายางธรรมชาติจะมีความต้านทานต่อการขีดถูที่สูงแต่ก็ยิ่งด้อยกว่ายางสังเคราะห์ SBR (Styrene-butadiene rubber)

6. มีความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีค่าความเป็นฉนวนที่สูง เพราะมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน มีช่องว่างระหว่างโมเลกุล สามารถกักเก็บความร้อนไว้ไม่ให้ถ่ายเท

7. ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) ยางธรรมชาติมีองค์ประกอบเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขี้ผึ้ง ดังนั้น ยางธรรมชาติละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขี้ผึ้ง เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน

8. สามารถเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (Aging properties) โมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่มาก ส่งผลให้วงไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และยางธรรมชาติไม่ทนต่อโอโซน เพราะจะทำให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ จำนวนมาก

9. สามารถหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติรักษาสมบัติความยืดหยุ่น หรือสมบัติการหักงอได้ในอุณหภูมิต่ำมาก ๆ

10. ยางธรรมชาติมีค่า compression set ต่ำทั้งอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิสูง โดย Compression set หมายถึง ค่าที่บ่งบอกความสามารถในการรักษาสมบัติความยืดหยุ่นของยางหลังได้รับแรงกดเป็นระยะหนึ่ง โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์

11. มีการกระด้างกระดอน (Rebound resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนที่สูงกว่ายางอื่น ๆ ยกเว้นยางสังเคราะห์ Butadiene Rubber

12. อุณหภูมิของการใช้งาน (Service temperature) ยางธรรมชาติทำงานได้ตั้งแต่อุณหภูมิตั้งแต่ $55^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ แต่หากผสมสารเคมีที่เหมาะสมก็สามารถใช้งานที่อุณหภูมิ $90^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ (พงษ์ธร, 2547)

2.4 ยางรีเคลม (Reclaimed rubber)

ยางรีเคลม หมายถึง ยางที่ผ่านการใช้งานแล้วนำมาผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์โดยจะใช้สารเคมี และความร้อนตัดพันธะโมเลกุล ทำให้ยางไหลเหมือนยางดิบ หรือยางคอมพาวด์ (พงษ์ธร, 2555) แต่ยางรีเคลมมีสมบัติที่ด้อยกว่ายางใหม่ ดังนั้นการใช้งานยางรีเคลมจึงนิยมผสมยางใหม่เพื่อให้ได้สมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานบางประการ (ชินรัตน์, 2010)

ขั้นตอนกระบวนการรีเคลม ทำได้โดยนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ เช่น ลวด ออกจากเนื้อยาง จากนั้นนำเนื้อยางไปบด และผสมกับสารรีเคลมพร้อมทั้งให้ความร้อนและความดัน เพื่อทำลายพันธะที่เกิดจากกำมะถัน หรือเรียกว่ากระบวนการดีวัลคาไนซ์ (Devulcanization) ทำให้ยางรีเคลมมีลักษณะนิ่ม ไหล และขึ้นรูปได้ใหม่ (พงษ์ธร, 2555) กระบวนการดีวัลคาไนซ์มีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง โดยใช้สารดีวัลคาไนซ์ (Devulcanizing agents) ทำปฏิกิริยาภายในหม้อนึ่งความดันไอสสูง ซึ่งวิธีการนี้ใช้ระยะเวลานาน และเป็นอันตราย ต่อมา มีการปรับปรุงเทคโนโลยีโดยใช้วิธีการที่มีความทันสมัยมากขึ้น เช่น กระบวนการทางฟิสิกส์ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟและคลื่นอัลตราโซนิก การใช้ความร้อนร่วมกับแรงเชิงกล และการใช้แรงเชิงร่วมกับสารเคมี โดยใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาและสารกระตุ้นปฏิกิริยา (กระบวนการดีลิงค์) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะส่งผลให้ยางรีเคลมที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น และสามารถ

นำไปผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ (Vulcanization) ขึ้นรูปร่วมกับยางธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังสามารถเพิ่มคุณสมบัติของยางธรรมชาติได้อีกด้วย

ยางรีเคลมเมื่อนำมาวัลคาไนซ์โดยทั่วไปจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความกระด้างกระดอน และความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำกว่ายางทั่วไป แต่ยางรีเคลมจะวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่ายางปกติ และมีค่าความต้านทานต่อการออกซิเดชันที่ต่ำมาก เนื่องมาจากกระบวนการทำยางรีเคลมต้องผ่านกระบวนการออกซิเดชัน การทำให้ร้อน และการล้าง เป็นต้น นอกจากนี้ยางรีเคลมจะมีค่าต้านทานต่อการสึกหรอต่ำกว่ายางใหม่ และสีของยางรีเคลมส่วนใหญ่จะมีสีดำคล้ำ (พรพรรณ, 2528)

ปัจจุบันความต้องการใช้ยางรีเคลมในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีเหตุผลมาจากการใช้ยางรีเคลมเพื่อลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยนำไปผสมกับยางธรรมชาติหรือยางใหม่ ช่วยลดเวลาในการผสมยางและประหยัดพลังงานมากขึ้น และลดปริมาณการใช้สารเคมี เช่น อุตสาหกรรมรองเท้า อุตสาหกรรมท่อยาง เป็นต้น ถึงแม้การผสมยางรีเคลมจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง แต่อย่างไรก็ตามการนำยางรีเคลมผสมในวัสดุก็ส่งผลดีในบางประการ เช่น ลดฟองอากาศในยางคอมพาวด์ (Air entrapment) ลดความหยุ่นหนีด (Nerve) ลดความเสี่ยงต่อการบิดเบี้ยวเสียรูป (Distortion) และลดการบวมตัวหลังอัดรีดผ่านไดน์ (Die swell) เป็นต้น นอกจากนี้ยางรีเคลมยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูด และการใช้ยางรีเคลมมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมไปถึงเศรษฐกิจของโลกมีการขยายตัวมากขึ้น

2.5 สมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ (Thermal properties of polymer)

พอลิเมอร์เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว มีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยย่อย (Monomer) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยมีโครงสร้างหลากหลาย เช่น พอลิเมอร์แบบเส้น พอลิเมอร์แบบกิ่ง และพอลิเมอร์แบบร่างแห ซึ่งส่งผลให้พอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน พอลิเมอร์จัดเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี จึงได้มีการนำพอลิเมอร์มาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ ก่อนอื่นต้องทำให้พอลิเมอร์อยู่ในสถานะของเหลวก่อนการขึ้นรูปเป็นวัสดุต่าง ๆ ซึ่งจะมีการใช้ความร้อนมาเกี่ยวข้องในการเปลี่ยนสถานะก่อนการขึ้นรูป ตลอดจนการหล่อเย็นเป็นผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมีการยับตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ หรือการเพิ่มขึ้นของปริมาตรอิสระในเนื้อพอลิเมอร์ และความหนาแน่นลดลง ซึ่งสามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวได้ พอลิเมอร์มีหลายชนิด ได้แก่ พอลิเมอร์จากธรรมชาติ (Natural polymer) และพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) โดยพอลิเมอร์จากธรรมชาติ ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส โปรตีน และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พลาสติก โฟม เส้นใย และกาว เป็นต้น (นพดล, 2551)

2.6 การผสมสารเคมีในยาง

การผสมสารเคมีลงไปในยาง เพื่อต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์จากยางที่มีสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อแก้ปัญหาข้อเสียต่าง ๆ ของยาง โดยยางสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีได้ด้วยความร้อน ยางที่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมีแล้ว เรียกว่า Cured compound หรือ Cured rubber หรือ Vulcanized rubber

โดยสารเคมีที่นำมาผสมในยาง ได้แก่ กำมะถัน ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก สารตัวเร่ง สารแอนตioxidant สารตัวเติม และสารอื่น ๆ เช่น สี กลิ่น เป็นต้น

2.6.1 สารกระตุ้น (Activator)

สารกระตุ้น หมายถึง สารที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสารกระตุ้นจะเป็นสารประเภทอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ก็ได้ สารกระตุ้นประเภทสารอนินทรีย์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ซิงค์ออกไซด์ ส่วนสารกระตุ้นที่เป็นอินทรีย์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ พวกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก สมบัติที่สำคัญของสารกระตุ้น คือ เมื่อผสมกับยางเพียงเล็กน้อยจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายขึ้น พร้อมทั้งยางมีมอดูลัสที่สูงขึ้น และบางครั้งหากไม่มีสารกระตุ้นก็อาจไม่เกิดกระบวนการวัลคาไนซ์เกิดขึ้น

2.6.2 สารแอนตioxidant (Antioxidant)

ยางเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเสื่อมสลายได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ หรือขณะใช้งาน การเสื่อมสลายในลักษณะนี้เรียกว่า “Degradation” โดยกระบวนการเสื่อมสลายของยางแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท คือ เสื่อมสลายเนื่องจากตั้งทิ้งไว้นาน ถูกออกซิไดซ์เนื่องจากการกระตุ้นของโลหะคะตาไลต์ เสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน เสื่อมสลายเนื่องจากแสง เสื่อมสลายเนื่องจากหึ่งงอไปมา และเกิดรอยแตกเนื่องจากบรรยากาศ

อย่างไรก็ตาม ออกซิเจนและโอโซนเป็นตัวการสำคัญในการเสื่อมสลายของยาง โดยจะมีโลหะหนัก ความร้อน แสง และความเครียดของยางเป็นตัวเร่งทำให้ยางเสื่อมสลายได้เร็วขึ้น ซึ่งสารเคมีที่จะช่วยป้องกันไม่ให้ยางเสื่อมสลาย เรียกว่า สารแอนตioxidant (Antioxidant) (พรพรรณ, 2528)

2.6.3 สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติม หมายถึง สารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางผสมรวมกับยาง ซึ่งส่งผลให้ยางมีสมบัติดั้งเดิมหรือดีขึ้น เช่น เขม่าดำ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น เพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้

1. การลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากสารตัวเติมมีราคาที่ถูกกว่ายางอย่างมาก ดังนั้นเมื่อเติมสารตัวเติมส่งผลให้ราคาต้นทุนการผลิตลดลง

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ เนื่องจากสารตัวเติมเมื่อผสมรวมกับยางแล้วส่งผลให้ยางมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น และมอดูลัสของยางสูงขึ้นด้วย ส่วนสมบัติอื่น ๆ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการสึกหรอ ซึ่งจะเพิ่มขึ้น หรือลดลงก็ขึ้นกับชนิดของยาง และสารตัวเติม เช่น ยางธรรมชาติใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม ส่งผลให้ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อ

แรงดึงสูง และความต้านทานต่อการสึกหรอสูง แต่หากใส่เข้ามาดำมากเกินไปค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความต้านทานต่อการสึกหรอจะลดลง

3. การช่วยในกระบวนการผลิต ซึ่งในกระบวนการผลิตของยางหากไม่มีการเติมสารตัวเติม จะส่งผลให้กระบวนการผลิตมีความยุ่งยากเพิ่มมากขึ้น เช่น เอกซ์ทรูดชัน (Extrusion) ซึ่งหากใส่ยางล้น ๆ หรือมีสารตัวเติมเพียงเล็กน้อยในเครื่องเอกซ์ทรูด จะส่งผลให้ผิวขรุขระ ไม่เรียบ

4. การลดการพองตัวของยางในน้ำมัน โดยยางจะพองตัวได้ดีในน้ำมัน แต่เมื่อเติมสารตัวเติมลงไปในการส่งผลทำให้ยางพองตัวลดลงในน้ำมัน

5. การเพิ่มอายุการใช้งาน โดยปกติแล้วยางจะสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสงแดด ซึ่งแสงแดดมีแสงอัลตราไวโอเล็ต หากใส่สารตัวเติมที่มีสารป้องกันแสงส่องผ่านเข้าไปในเนื้อยาง จะส่งผลให้ยางมีอายุการใช้งานมากขึ้น (นพดล, 2551)

2.6.4 สารเคมีอื่น ๆ

สารเคมีอื่น ๆ หมายถึง สารเคมีที่นอกเหนือจากสารกระตุ้น สารตัวเติม และสารแอนติออกซิแดนท์ โดยสารเคมีอื่น ๆ เป็นสารที่ถือว่าไม่มีความจำเป็นมากที่จะต้องใช้สำหรับยางทั่วไป แต่เมื่อใส่สารเคมีเข้าไปแล้วเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะงาน ได้แก่ แฟคตีส (Factices) ยางรีเคลม (Reclaimed rubber) ยางครัม (Crumb rubber) สารฟู (Blowing agent) สี (Coloring materials) และอื่น ๆ (พรพรรณ, 2528)

2.7 การวัลคาไนซ์ยาง (Vulcanization)

การวัลคาไนซ์ (Vulcanization) เป็นกระบวนการเชื่อมโมเลกุลยางแต่ละโมเลกุลด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย เพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่นของยาง เป็นต้น โดยความเร็วในการเชื่อมโยงพันธะที่เกิดขึ้น เรียกว่า อัตราการวัลคาไนซ์ (Cure rate) โดยการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติสามารถทำได้โดยใช้สารวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น การวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน การวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) เป็นต้น

โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้กำมะถันเป็นสารวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ โดยยางจะทำปฏิกิริยากับกำมะถันในปริมาณที่เหมาะสมที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของกำมะถัน โดยกำมะถันที่นำมาทำปฏิกิริยาจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างโมเลกุลของยางด้วยการสร้างพันธะโควาเลนต์ ทำให้ยางเชื่อมต่อเป็นโมเลกุลเดียวกัน มีคุณภาพคงตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความยืดหยุ่น ทนทาน และไม่เหนียว ซึ่งการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้องจะต้องใช้ระยะเวลาหลายวัน ดังนั้นต้องเพิ่มอุณหภูมิเพื่อลดเวลาการวัลคาไนซ์ สำหรับการวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์น้ำยางธรรมชาติจะใช้อุณหภูมิประมาณ 100 °C (ชินรัตน์, 2549)

2.8 การออกแบบสูตรสำหรับยางอุณหภูมิสูง

การนำเอาผลิตภัณฑ์จากยางไปใช้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพจนใช้งานไม่ได้อีก โดยอัตราการเสื่อมจะถูกเร่งโดยอากาศ (ออกซิเจน) ซึ่งความร้อนในอากาศจะ

ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในกระบวนการออกซิเดชัน การออกซิไดซ์จะเกิดบริเวณผิวยาง แต่ยางที่มีความหนามากกว่า ความสามารถในการแพร่ซึมของอากาศเข้าไปในเนื้อยางค่อนข้างช้า

2.8.1 ผลของการเสื่อมคุณภาพของยางที่อุณหภูมิสูง

การเสื่อมเนื่องจากความร้อน และการออกซิไดซ์ จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และเวลา อัตราการออกซิไดซ์ของยาง มีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ของทุก ๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 °C ไปจนถึง 90 °C โดยที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้โครงสร้างโมเลกุลของยางเปลี่ยนไปตามเวลา ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลง 2 ลักษณะ คือ โมเลกุลของยางจะขาด หรือมีพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น ซึ่งหากโมเลกุลของยางขาดในขณะที่ยางถูกออกซิไดซ์ ส่งผลให้เกิดความแข็ง และค่ามอดูลัสลดลง และหากมีพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น ส่งผลทำให้ยางกระด้างมีความแข็ง มีค่ามอดูลัสมากขึ้น และสามารถยืดยาวได้น้อยลง

2.8.2 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของยาง

ความต้านทานความร้อนของยางจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะโควาเลนต์ที่ประกอบขึ้นเป็นโมเลกุลของยาง โดยเฉพาะแกนกลาง เช่น ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ SBR (Styrene – butadiene rubber) หากมีพันธะคู่อยู่ด้วย สามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิไม่เกิน 70 °C

2.8.3 ขอบเขตของอุณหภูมิ

อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถใช้กับยาง โดยที่ยางไม่เสื่อมคุณภาพหรือสลายตัวมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมากมาย เช่น ความหนาของยาง เวลาที่ยางสัมผัสกับอุณหภูมิสูง เป็นต้น

2.8.4 ระบบการวัลคาไนซ์

ผลิตภัณฑ์ยางที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูง ก็ขึ้นอยู่กับวิธีการวัลคาไนซ์ เช่น ยางที่มีโครงสร้างพันธะคู่ชนิดไดอินอยู่แกนกลาง เมื่อวัลคาไนซ์จะทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงแบบโมโนซัลไฟดิก (Monosulphidic) ซึ่งส่งผลให้ยางทนต่อความร้อนเพิ่มขึ้น (นพดล, 2551)

2.9 ลำต้นกล้วย (Banana stalk)

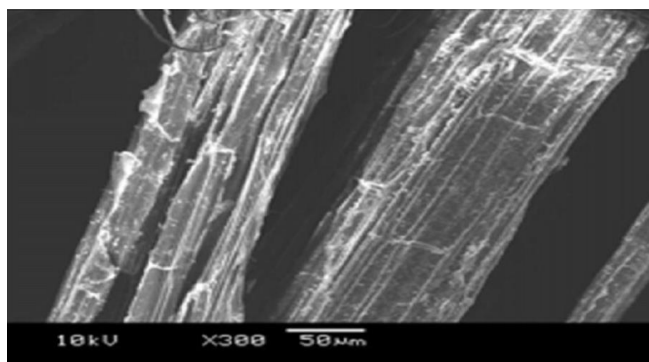
กล้วยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยลำต้นประกอบด้วยกาบกล้วยเรียงตัวกันเป็นวงกลม มีลำต้นจริงอยู่บริเวณใต้พื้นดิน เรียกว่า เหง้า (Rhizome) ดังภาพที่ 2.5 ต้นกล้วยขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อบริเวณรอบตัวแม่ จะมีการแตกหน่อจำนวนมาก และมีความหนาแน่น แต่บางชนิดก็มีแตกหน่อออกห่างตัวแม่ เมื่อหน่อโผล่ขึ้นมาเหนือดิน ลำต้นกล้วยมีลักษณะสูง และค่อนข้างแข็งแรง แต่แท้จริงแล้วเป็นเพียงลำต้นเทียม เนื่องจากเกิดจากการอัดกันแน่นของกาบใบ (เบญจมาศ, 2558) ประเทศไทยมีการปลูกกล้วยเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตครั้งเดียว จากนั้นตัดลำต้นจนถึงยอดทิ้ง ซึ่งส่วนที่ทิ้งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือนำมาผสมกับวัสดุอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร และยังช่วยในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในการใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า

โครงสร้างภายในของลำต้นกล้วยมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีโพรงอากาศ มีส่วนคล้าย ฟองน้ำกระจายอยู่ภายใน มีสมบัติในการกักเก็บอากาศไว้ได้ ส่งผลให้ลำต้นกล้วยมีความสามารถเป็น ฉนวนกันความร้อนได้ดี มีตัวอย่างของการนำลำต้นกล้วยมาใช้ประโยชน์อย่างเช่น นำเชือกกล้วยมา ถักเป็นฐานรองกันหม้อในครัวเรือน จากสมบัติดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการนำลำต้นกล้วยมาใช้เป็น ฉนวนกันความร้อนผสมกับวัสดุก่อสร้างที่พื้กอาศัยในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทดแทนการใช้วัสดุ สังกะสี (ปลื้มจิต และคณะ, 2548)



ภาพที่ 2.5 ลำต้นกล้วย (กิตติชัย, 2554)

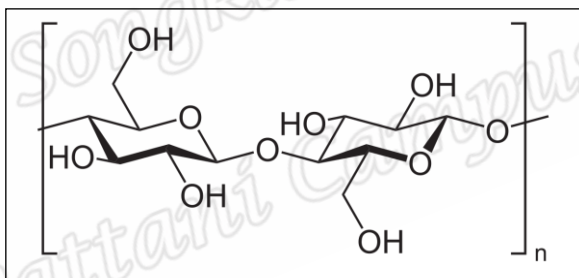
เส้นใยของกล้วยส่วนใหญ่จะพบมากบริเวณลำต้นของกล้วย โดยรูปร่างของเส้นใย กล้วยตามแนวยาวจะมีส่วนประกอบเป็นกลุ่มเส้นใยขนาดเล็กเรียงตัวตามแนวยาวของเส้นใย มี ลักษณะเป็นรูปทรงกรวย มีภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) แสดงลักษณะโครงสร้าง ภายในเส้นใยของลำต้นกล้วย ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งจัดอยู่ในประเภทของเส้นใยสั้น ส่วนลักษณะตาม ภาคตัดขวางจะเป็นรูปทรงรี มีส่วนของผนังเซลล์ค่อนข้างบาง เส้นใยมีความแข็งแรง มีความเหนียว และกระด้าง สามารถทนแรงดึงได้ดี มีสภาพยืดหยุ่นเล็กน้อย มีความมันวาวคล้ายกับเส้นใยไหม และสามารถทนต่อแบคทีเรียในน้ำเค็มได้ดีมาก (วรรณช และคณะ, 2559)



ภาพที่ 2.6 SEM แสดงลักษณะภายในเส้นใยของลำต้นกล้วย (Teli and Valia, 2013)

2.10 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในพืชทั่วไป ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) เป็นหน่วยย่อยจับกันเป็นโซ่ยาว โดยไม่มีกิ่งก้านสาขา ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีแสดงดังภาพที่ 2.7 มีจำนวนมากกว่า 2,000 หน่วยกลูโคส โดยจับตัวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ชนิด 1,4-ไกลโคซิดิก (1,4-Glycosidic linkage) เซลลูโลสจะพบมากในพืชสีเขียวและแบคทีเรียบางชนิด เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ สายเซลลูโลสในพืชจะเรียงตัวกันเป็นชั้น ระหว่างหน่วยกลูโคสในโซ่เดียวกันจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของคาร์บอนในตำแหน่งที่ 3 กับออกซิเจนของกลูโคสในหน่วยย่อยถัดไป และระหว่างเส้นสายเซลลูโลสจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 กับออกซิเจนในโมเลกุลกลูโคสของสายเซลลูโลสอีกสายหนึ่ง โดยพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นช่วยให้โซ่โมเลกุลของเซลลูโลสที่ขนานกันยึดเกาะเข้าด้วยกันทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสมีกิ่งก้านสาขาที่ซับซ้อนยากต่อการสลายตัว เกิดเป็นแผ่นเซลลูโลสที่สามารถละลายน้ำได้ยาก และมีประสิทธิภาพในการย่อยด้วยเอนไซม์ต่ำ เมื่อเซลลูโลสถูกย่อยด้วยเอนไซม์จะเกิดเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ของน้ำตาลกลูโคส ร่างกายของมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ แต่ในกระเพาะอาหารของสัตว์จะมีแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในวัสดุที่เป็นเส้นใย โดยภายในเส้นใยจะมีโมเลกุลของเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemi-cellulose) และลิกนิน (Lignin) เรียงตัวกันในผนังเซลล์ของพืชเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเซลลูโลสมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 60 – 80 ของสารประกอบทั้งหมด เกิดการเกาะจับตัวกันเป็นเส้นใยขึ้น ซึ่งเส้นใยสามารถจำแนกประเภทตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ ในกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติสามารถแบ่งย่อยได้เป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มาจากพืชและเส้นใยโปรตีนจากสัตว์

ในปัจจุบันวัสดุที่เป็นเส้นใยธรรมชาติถูกนำมาผลิตเป็นวัสดุต่าง ๆ ที่หลากหลาย และที่สำคัญ คือ การผลิตฉนวนป้องกันความร้อน เพราะในโครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติมีลักษณะเป็นโพรงอากาศ สามารถกักเก็บความร้อนไว้ภายใน ป้องกันไม่ให้ความร้อนไหลผ่าน ทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ และมีสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง โดยวัสดุทางการเกษตรจำพวกพืชเส้นใยที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงสามารถนำมาทำเป็นฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมทางการเกษตร ตัวอย่าง

ส่วนของพืชที่มีเส้นใยและสามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุป้องกันความร้อน ได้แก่ ชิงช้าโพลี ผักตบชวา ฐานอ้อย ต้นกก หญ้าคา และหยวกกล้วย เป็นต้น (อนุภา, 2559)

2.11 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ใหญ่ ๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ธรรมดา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปูนซีเมนต์ประเภทอื่น ๆ (ประณต, 2556)

2.11.1 ปูนซีเมนต์ธรรมดา

ปูนซีเมนต์ธรรมดา เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการเผาหินซีเมนต์โดยตรงที่อุณหภูมิสูง โดยเผาให้ใกล้ถึงจุดหลอม (Sintering) แล้วนำไปบดให้เป็นผงละเอียด โดยซีเมนต์ธรรมดาแข็งตัวได้อย่างรวดเร็วในน้ำ ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะทำเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่มีความจำเพาะที่จะใช้ทำงานที่เป็นคอนกรีตล้วน เช่น การสร้างทำนบ เป็นต้น ในปัจจุบันซีเมนต์ธรรมดาไม่นิยมผลิตใช้ในงานอุตสาหกรรม เพราะมีสมบัติที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับสมบัติของหินซีเมนต์

2.11.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

ลักษณะทั่วไปของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือ เป็นผงสีเทา เมื่อนำไปผสมน้ำแล้วทิ้งไว้จะแข็งตัว ซึ่งความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่อแข็งตัวจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำเข้ามาผสมกัน หรือรูปแบบการออกแบบขึ้นมา (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2542) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประกอบด้วยหินปูน (Limestone) และดินเหนียว (Clay) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และโดโลไมต์ ($CaMg(CO_3)_2$) ผสมเล็กน้อย โดยสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO \cdot SiO_2$, C_3S) ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO \cdot SiO_2$, C_2S) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ($3CaO \cdot Al_2O_3$, C_3A) และเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอไรต์ ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$, C_4AF) (คลังความรู้ SciMath, 2555)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Normal portland cement) ลักษณะการใช้งานโดยไม่มุ่งเน้นสมบัติพิเศษ
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified portland cement) คอนกรีตที่ใช้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิความร้อนสูง และทนซัลเฟตได้ระดับปานกลาง
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความแข็งแรงสูงโดยเร็ว (High-early strength portland cement) คอนกรีตที่ต้องการใช้งานอย่างรวดเร็ว และมีเนื้อปูนที่เป็นผงละเอียดกว่าคอนกรีตธรรมดา
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดความร้อนต่ำ (Low-heat portland cement) จะช่วยลดปริมาณความร้อนจากการรวมตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำซึ่งจะสามารถลดการขยายตัว และหดตัวของคอนกรีตภายหลังจากการแข็งตัว
5. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-resistance portland cement) ใช้สำหรับบริเวณที่น้ำหรือดินที่มีค่าความเป็นด่างสูง ซึ่งจะมีระยะเวลาการแข็งตัวช้า และมีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง

2.11.3 ปูนซีเมนต์ประเภทอื่น ๆ

จากปูนซีเมนต์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีปูนซีเมนต์อีกหลากหลายประเภทที่ถูกนำมาใช้กับงานรูปแบบอื่น ซึ่งซีเมนต์แต่ละประเภทที่ถูกนำไปใช้ก็จะมีองค์ประกอบที่ใช้ในการผลิตแตกต่างกันเพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ปูนซีเมนต์ประเภทต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่

1. ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed cement) หรือเรียกว่า ปูนซีเมนต์ซิลิกา สามารถผลิตได้โดย นำหินปูนบดละเอียดผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อปรับปริมาณปูนให้เพิ่มมากขึ้นและมีราคาถูก โดยปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีคุณภาพต่ำ มีสมบัติในการแข็งตัวได้ช้าและไม่ยึดหรือหดตัวมากนัก จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องรับแรงหรือน้ำหนักมากนัก เช่น งานคอนกรีตเทพื้น การทำกระเบื้องมุงหลังคา เป็นต้น

2. ปูนซีเมนต์อะลูมินา (High alumina cement) เป็นปูนที่ได้จากการเผาผงแร่อะลูมินา แร่บอไซด์และหินปูนที่อุณหภูมิประมาณ 1,450 °C แล้วทำการบดให้เป็นผงละเอียด เมื่อเม็ดปูนเย็นตัวแล้ว ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้ มีรูพรุนและเปราะได้ง่าย ไม่เหมาะกับงานที่ใช้ความแข็งแรง

2.12 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (ρ) เป็นสมบัติเฉพาะของสารแต่ละชนิด และจะเป็นปริมาณที่บอกค่ามวลนั้นในหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังสมการที่ 2.3 และ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.3)$$

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)

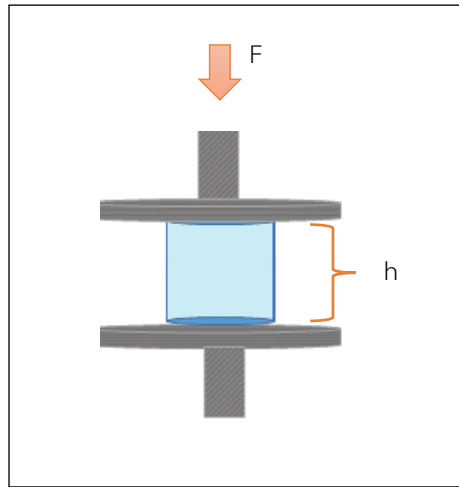
m คือ มวลรวมของวัตถุ (kg)

v คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (m^3)

2.13 สมบัติการเปลี่ยนรูปแบบกด

สมบัติเชิงกลของวัสดุที่มีความสำคัญในการเลือกใช้วัสดุนั้นสามารถรับแรงที่มากระทำได้ มีสมบัติเชิงกลที่สำคัญ คือ วัสดุจะต้องมีความแข็งแรง และสามารถรับแรงที่มากระทำ โดยวัสดุนั้นไม่เสียรูปทรง ไม่แตกร้าวหรือพังทลาย ในการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุสามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีหลัก ๆ คือ การทดสอบโดยการกด

การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุโดยการกด คือ แรงที่มากระทำกับวัตถุในลักษณะการกดอัดเข้าหากัน และแนวแรงตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ทำให้วัสดุออกแรงต้านทานเพื่อไม่ให้เกิดการแตกหักหรือลักษณะคล้ายกับการทดสอบโดยการดึง แต่กระทำในลักษณะการออกแรงในทิศทางตรงกันข้าม ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งวัสดุที่นำมาทดสอบนั้นหากเป็นวัสดุที่เหนียวผลการทดสอบการกดวัสดุจะบวมออกด้านข้าง วัสดุที่นำมาทดสอบมีความอ่อนผลการทดสอบการกดวัสดุจะถูกอัดแบนโดยไม่แตกหัก และวัสดุที่นำมาทดสอบมีความเปราะผลการทดสอบการกดวัสดุจะแตกหัก



ภาพที่ 2.8 การทดสอบการกดวัตถุรูปทรงกระบอก

ความสูงเริ่มต้องกำหนดให้เป็น h_0 และความสูงที่เปลี่ยนไปในเวลา t ต่าง ๆ เป็น $h(t)$ จากนิยามการเปลี่ยนรูปแบบแชนจ์ของการกด คือ

$$\epsilon_h = \ln \frac{h(t)}{h_0} = \lambda \quad (2.4)$$

นิยามการเปลี่ยนรูปทางวิศวกรรมศาสตร์เรียกว่า การเปลี่ยนรูปนอมินอล ϵ คือ

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{h - h_0}{h_0} = \lambda - 1 \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.4) และ (2.5) สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\epsilon = \ln \lambda = \ln(\epsilon + 1) \quad (2.6)$$

ความเค้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปตั้งฉากต่างสองแนว คือ $\sigma_{rr} - \sigma_{xx}$ ดังนั้นความเค้นที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปจากการกดของงานในแนวระนาบแบน คือ

$$\sigma_{rr} - \sigma_{xx} = \frac{F}{\pi r^2(t)} \quad (2.7)$$

นิยามความเค้น และการเปลี่ยนรูปแบบโบคซี หาได้จากกลศาสตร์สถิติของพอลิเมอร์

$$\Delta S = -\frac{1}{2} NK(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) \quad (2.8)$$

จาก Helmholtz free energy (A) = $U - T\Delta S$ ได้ว่าการเปลี่ยนรูปทำให้เอนโทรปีของโซ่พอลิเมอร์เปลี่ยนไป โดยถือว่าพลังงานภายใน (U) น้อยมาก และในขณะปริมาตรคงที่ทำให้เขียนสมการ Helmholtz free energy ต่อปริมาตรได้

$$A = -T\Delta S = \frac{1}{2} NkT(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) \quad (2.9)$$

และ Helmholtz free energy ต่อปริมาตร คืองานสำหรับการเปลี่ยนรูปต่อปริมาตรแบบย้อนกลับ

$$W = \frac{1}{2} NkT(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) \quad (2.10)$$

แสดงในอีกรูป

$$W = \frac{1}{2} G(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) \quad (2.11)$$

พอลิเมอร์ถูกความเค้นกระทำต่อปริมาตร จะได้ $\lambda_1\lambda_2\lambda_3$ และเมื่อมีความเค้นมากระทำในแกนเดียว โดยกำหนดได้ว่า $\lambda_2\lambda_3 = \frac{1}{\lambda}$ และ $\lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{\lambda^2}$ จะได้

$$W = \frac{1}{2} G\left(\lambda^2 + \frac{2}{\lambda} - 3\right) \quad (2.12)$$

เมื่อความเค้นกระทำในแนวแกนเดียวที่ขึ้นตัวอย่างมีพื้นที่หน้าตัด A_0 และความยาวเริ่มต้น l_0 เมื่อกระทำแล้วจะได้ δw โดยใช้แรง f จะได้ งานต่อปริมาตร คือ

$$\delta w = \frac{\delta w}{A_0 l_0} \quad (2.13)$$

นิยามความเค้นนอมินอล σ_n คือ $\sigma_n = \frac{f}{A_0}$ และอีกรูปสามารถเขียนได้

$$\sigma_n = \frac{d_w}{d_\lambda} = G(\lambda - \lambda^{-2}) \quad (2.14)$$

และจากความสัมพันธ์ของความเค้น σ_n กับ σ คือ $\sigma_n \lambda = \sigma = \sigma(t)$ จะได้

$$\sigma(t) = G(\lambda^2 - \lambda^{-1}) \quad (2.15)$$

สามารถเขียนในเทอมของมอดูลัสการกด $D(t)$ (สมบัติ, 2547)

$$D(t) = \frac{\sigma(t)}{\lambda^2 - \lambda^{-1}} \quad (2.16)$$

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึง ยาง ปูน และสารเคมี ซึ่งได้แก่ ยางแท่ง STR 5L ยางรีเคลม (Reclaimed rubber) ปูนสำเร็จรูป ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ชนิด White seal กรดสเตียริก (Stearic acid), CBS (*N*-Cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide) 6 PPD (*N*-Phenyl-*N*-1,3-dimethylbutyl-*p*-phenylenediamine) และกำมะถัน (Sulphur) ส่วนวัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องชั่งละเอียดแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic balance) เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ตะแกรงร่อนสาร เบอร์ 16 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disc Rheometer, ODR) เครื่องอัดเข้าไฮโดรลิกแบบสองชั้น (Compression Moulding Machine) เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic density meter) ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน และเครื่องมือการทดสอบสมบัติการกด (Compression tester) และวิธีการวิจัย ตามลำดับดังนี้

3.1 ยาง ปูน และสารเคมี

- 3.1.1 ยางแท่ง เกรด STR 5L
- 3.1.2 ยางรีเคลม
- 3.1.3 ปูนสำเร็จรูป ชนิดก่อกว้าง ทรายละเอียด
- 3.1.4 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ชนิด White seal
- 3.1.5 กรดสเตียริก (Stearic acid)
- 3.1.6 CBS (*N*-cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide)
- 3.1.7 6PPD (*N*-phenyl-*N*-1,3-dimethylbutyl-*p*-phenylenediamine)
- 3.1.8 กำมะถัน (Sulphur)

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องชั่งละเอียดแบบอิเล็กทรอนิกส์ 4 ตำแหน่ง (Electronics balance)
- 3.2.2 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ยี่ห้อชาร์ป (Sharp) รุ่น EM-11 มอเตอร์และความเร็วสูง 12,000 rpm
- 3.2.3 ตะแกรงร่อนสาร เบอร์ 16
- 3.2.4 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

เครื่องผสมยางระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง ภาพที่ 3.1 ใช้ในการบดยางผสมกับสารตัวเติม และสารเคมีเข้าด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วย ลูกกลิ้งสองลูกเรียงกันในแนวนอนแบบขนานกัน และหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่แตกต่างกันทำให้เกิดแรงบดผสมยางและสารต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำให้โมเลกุลยางที่มีลักษณะเป็นโซ่ยาวและเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็ก และทำให้ยางมีความอ่อนตัวลง อีกทั้งสามารถแปรรูปยางได้โดยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง จะใช้สำหรับ

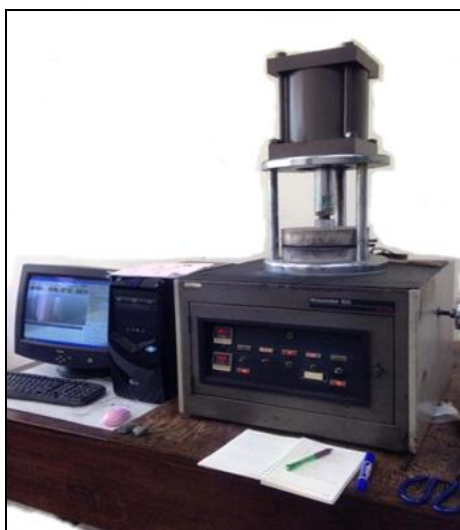
ผสมยางในปริมาณที่ไม่มาก เนื่องจากต้องใช้ทักษะความชำนาญและกำลังคนในการควบคุมการผสม (บุญธรรม และปรีชา, 2534)



ภาพที่ 3.1 เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

3.2.5 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disc Rheometer, ODR)

เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง หรือเครื่อง ODR ภาพที่ 3.2 เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบการวัลคาไนซ์ของยางชนิดต่าง ๆ โดยตรง ประกอบด้วยโรเตอร์ที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างดาดบนและดาดล่าง ซึ่งระหว่างการใช้งานเครื่องโรเตอร์จะแกว่งแบบมุมแคบ ด้วยความถี่ 1.67 Hz หรือ 100 รอบต่อนาที โดยต้องควบคุมให้มีความถี่ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้อย่างวัลคาไนซ์ถูกทำลายโครงสร้าง 3 มิติ และหลังจากนั้นเครื่องก็จะบันทึกแรงบิดที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลาของการทดสอบ



ภาพที่ 3.2 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disc Rheometer, ODR)

3.2.6 เครื่องอัดเบาไฮดรอลิกแบบสองชั้น (Compression moulding machine)

การขึ้นรูปร่างคอมปาวด์โดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นวิธีการที่นิยมกันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอื่น ๆ เครื่องกดอัดและแม่พิมพ์ที่เลือกใช้คือ เครื่องอัดเบาไฮดรอลิกแบบสองชั้น ซึ่งประกอบด้วย แผ่นกดอัด (Platen) จำนวนอย่างน้อย 2 แผ่น (บนและล่าง) หรือมากกว่า 2 แผ่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องกดอัดให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการผลิต โดยแผ่นกดอัดจะถูกเลื่อนขึ้นลงด้วยระบบไฮดรอลิก เพื่อกดอัดและส่งผ่านแรงดันไปยังเบาที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกดอัดทั้งสอง โดยแรงดันจะต้องมีค่าสูงเพียงพอสำหรับการใช้งาน นอกจากนี้แม่พิมพ์แบบกดอัดจะต้องได้รับการออกแบบให้มีรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอัดเบาไฮดรอลิกด้วย ดังภาพที่ 3.3 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกไฮดรอลิกเท่ากับ 7 นิ้ว และขนาดของแผ่นอัด 15×15 ตารางนิ้ว โดยสามารถกำหนดอุณหภูมิ และความดันได้ และในระหว่างการอัดเบายางจะต้องทำการไล่อากาศ เพื่อให้ชิ้นงานยางที่ได้ไม่มีฟองอากาศอยู่ใน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลและประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น (นนทศักดิ์, 2558)



ภาพที่ 3.3 เครื่องอัดเบาไฮดรอลิกแบบสองชั้น (Compression moulding machine)

3.2.7 เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic density meter)

เครื่องทดสอบความหนาแน่นระบบไฟฟ้า รุ่น MD - 300S ภาพที่ 3.4 ใช้สำหรับวัดความหนาแน่นของยาง โลหะ พลาสติก เม็ดวัสดุลอยน้ำ ฟิล์ม และของเหลว โดยใช้หลักการแทนที่ของน้ำตามหลักอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น โดยจะทำการชั่งมวลในอากาศ และชั่งมวลในน้ำ ซึ่งสามารถชั่งน้ำหนักได้ตั้งแต่ 0.01 - 300 g จากนั้นหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ ซึ่งเครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถชดเชยอุณหภูมิของตัวกลางเพื่อผลการวัดที่มีความแม่นยำมากขึ้น สามารถใช้ได้ทั้งของแข็งและของเหลว และสามารถวัดค่าความหนาแน่นได้ละเอียดถึง 0.001 g/cm^3



ภาพที่ 3.4 เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic density meter)

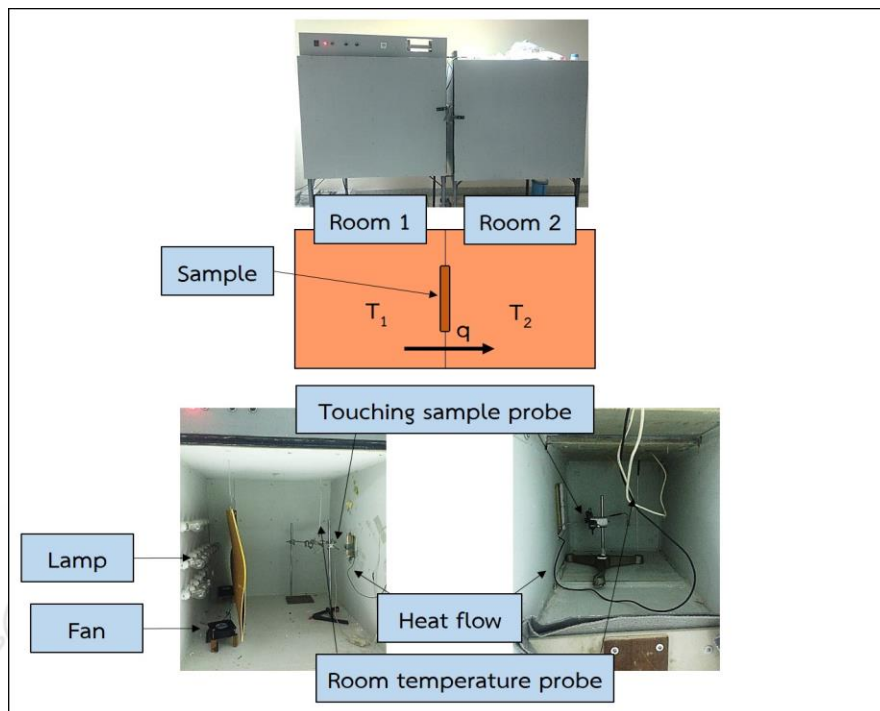
3.2.8 ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน

ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน ใช้หลักการให้ความร้อนไหลผ่านวัสดุจากสถานะที่มีอุณหภูมิสูงไปยังสถานะที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งชุดทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ห้อง ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยจำลองให้เป็นช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเปรียบเสมือนภายในของตัวอาคารจริง โดยห้องที่ 1 สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นตามที่ต้องการได้ และห้องที่ 2 จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อมีความร้อนไหลผ่านผนังมาจากห้องที่ 1 และวัสดุที่ต้องการทดสอบความเป็นฉนวนกันความร้อนจะถูกนำมาวางกั้นกลางระหว่างห้องทั้งสอง โดยอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบภายในห้องที่ 1 ประกอบด้วย หลอดไฟเป็นแหล่งให้ความร้อน พัดลมเป็นตัวช่วยกระจายความร้อนให้สม่ำเสมอทั่วห้อง หัววัดอุณหภูมิสัมผัสตัวอย่าง หัววัดอุณหภูมิห้อง และหัววัดฟลักซ์ความร้อน ส่วนอุปกรณ์ในห้องที่ 2 ประกอบด้วยหัววัดอุณหภูมิสัมผัสตัวอย่าง หัววัดอุณหภูมิห้อง และหัววัดฟลักซ์ความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 3.5

ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน จะทำการทดสอบเมื่อได้แผ่นยางผสมหรือวัสดุฉนวนกันความร้อนตัวอย่างที่ขึ้นรูปได้ตามขนาดและความหนาที่ต้องการแล้ว โดยนำฉนวนกันความร้อนตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมนั้นมาวางกั้นระหว่างห้องทั้งสอง โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิห้องที่ 1 จากอุณหภูมิ 25 °C จนมีอุณหภูมิถึง 80 °C เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง แล้วหยุดให้ความร้อน และทำการวัดอุณหภูมิไปอีกเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิของห้องทั้งสองมีค่าเท่ากันคล้ายกับที่จุดเริ่มต้น โดยสามารถนำข้อมูลที่บันทึกได้จากชุดเก็บข้อมูล (Data logger) ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนโดยใช้สมการการนำความร้อน

ในการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน มีวิธีการที่ใช้ทดลอง 2 แบบ โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้วิธีการทดลองโดยใช้ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนที่แยกห้องในการทดลองอย่างชัดเจน ใช้เวลาในการทดสอบจำนวน 24 ชั่วโมง โดยวัดจากเวลาจริงโดยใช้เวลา 12 ชั่วโมงแรกในการเพิ่มอุณหภูมิ และ 12 ชั่วโมง ถัดไปในการลดอุณหภูมิสู่ภาวะสมดุลความร้อน ผลการ

ทดลองที่ได้จะมีความแม่นยำสูง ส่วนงานวิจัยอื่น ๆ ที่ทำการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนที่ผ่านมามักใช้วิธีการทดลองโดยใช้ระยะเวลาสั้น ๆ แล้วเปรียบเทียบหาแนวโน้มของอัตราการถ่ายเทความร้อน แล้วผ่านการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาจุดสมดุลความร้อนก่อนที่จะคำนวณหาสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งไม่มีความแม่นยำเท่ากับการทดลองโดยใช้ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนที่วัดจากเวลาจริง



ภาพที่ 3.5 ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน

3.2.9 เครื่องมือทดสอบสมบัติการกด (Compression tester)

เครื่องมือทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และแรงกดดังภาพที่ 3.6 เป็นการทดสอบการตอบสนองของวัสดุเมื่อมีแรงกดมากระทำในแนวตรง ทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่างเป็นการหดสั้นหรือแตกออก โดยหัววัดที่ใช้เป็นทรงกระบอกกดลงบนผิวตัวอย่าง หัววัดที่ใช้ทดสอบควรมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าวัสดุตัวอย่าง โดยวางวัสดุตัวอย่างบริเวณกึ่งกลางจานรอง ซึ่งเครื่องมือการกดใช้รับแรงได้สูงสุด 10 kN สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วในการกดหรือดึงได้จาก 0.0005 ถึง 500 mm/min โดยมีการเพิ่มแรงกดหรือความเค้นอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ เครื่อง Compression tester ที่ใช้ในการทดสอบ คือ รุ่น H10KS การทดสอบสอบโดยการกดนิยมใช้ทดสอบวัสดุที่มีความเปราะ เช่น เหล็กหล่อหรือคอนกรีต โดยการทดสอบจะเริ่มจากการเพิ่มแรงกดอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ เมื่อวัสดุตัวอย่างได้รับแรงกดสูงเกินกว่าความสามารถที่จะรับไว้ได้ จนกระทั่งวัสดุตัวอย่างเสียรูปหรือแตกออก โดยการเสียรูปของวัสดุตัวอย่างอาจจะมีลักษณะพองออกหรือแตกละเอียด



ภาพที่ 3.6 เครื่องทดสอบการกด (Compression tester)

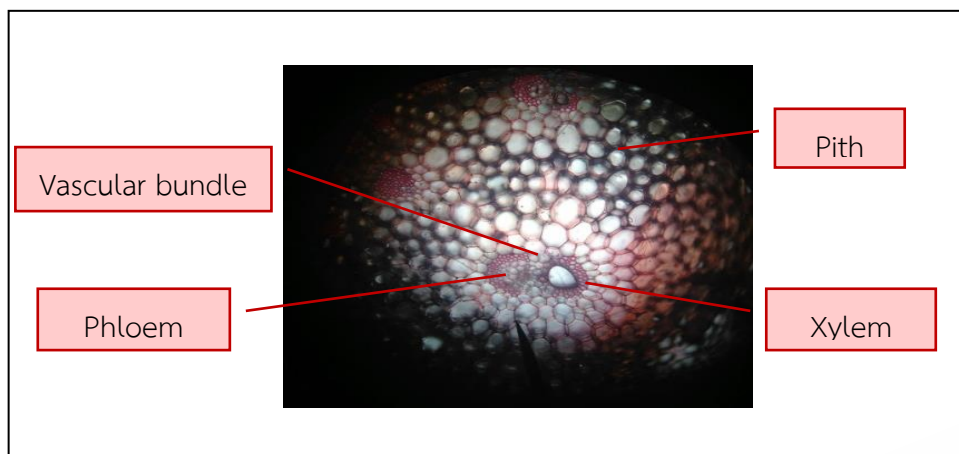
3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การเตรียมสารตัวเติม (Filler)

ลำต้นกล้วยที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ กล้วยน้ำว้า ดังภาพที่ 3.7 นำมาจากพื้นที่ ตำบลรูสะมิแล อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี ซึ่งเลือกลำต้นกล้วยที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ อายุประมาณ 1 ปี ในขั้นตอนแรกนำเนื้อเยื่อของลำต้นกล้วยมาศึกษาโครงสร้างภาคตัดขวาง โดยผลการศึกษาเป็นดังภาพที่ 3.8 โดยโครงสร้างของลำต้นกล้วยประกอบด้วย รูปพรุนระหว่างลำต้น (Pith) สำหรับกักเก็บอากาศซึ่งสามารถดูดซับพลังงานความร้อนไม่ให้ถ่ายเทผ่านไปยังผิวอีกด้านของชั้นทดสอบ กลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียง (Vascular bundle) กลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียงอาหาร (Phloem) และกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ (Xylem) โดยเนื้อเยื่อสามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้เช่นกัน หลังจากนั้นนำลำต้นกล้วยหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ และนำไปตากแดดให้แห้ง โดยใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ จากนั้นนำลำต้นกล้วยที่แห้งแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ และร่อนด้วยตะแกรงร่อนสารเบอร์ 16 จะได้ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยบดละเอียดที่มีขนาดเท่า ๆ กัน ดังภาพที่ 3.9 เพื่อนำไปเป็นสารตัวเติมเพื่อผลิตฉนวนกันความร้อนต่อไป



ภาพที่ 3.7 ลำต้นกล้วย



ภาพที่ 3.8 โครงสร้างลำต้นกล้วยภาคตัดขวาง



ภาพที่ 3.9 ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

3.3.2 การเตรียมยางคอมปาวด์

การเตรียมยางคอมปาวด์ สามารถเตรียมได้โดยการนำยางธรรมชาติ ยางรีเคลม ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยบด และสารเคมีต่าง ๆ ผสมเข้าด้วยกัน โดยมีอัตราส่วนตามที่ได้จากการคำนวณปริมาณการใช้งานของส่วนผสมต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1 โดยมีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติ และยางรีเคลมเป็น 100:0, 80:20 และ 60:40 ซึ่งปริมาณสารตัวเติมจากผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 phr และสารเคมีต่าง ๆ ในปริมาณเท่ากันในทุก ๆ อัตราส่วน ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) 2 phr กรดสเตียริก (Stearic acid) 2 phr สารตัวเร่ง (CBS) 1 phr สารแอนติออกซิแดนท์ (6PPD) 1 phr และกำมะถัน (Sulphur) 1.5 phr โดยทำการบดส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ซึ่งใช้เวลาในการบดผสมประมาณ 30 นาที และรีดให้เป็นแผ่น เมื่อได้ยางคอมปาวด์แล้ว จากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปอัดเข้าขึ้นรูปเป็นฉนวนกันความร้อน โดยจะได้ยางคอมปาวด์ที่มีส่วนผสมทั้งหมดที่เตรียมได้เป็น 15 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมยางธรรมชาติ ยางรีเคลม ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย และสารเคมีต่าง ๆ

Chemicals	Amount of chemicals (phr)														
	F1				F2				F3						
Natural rubber	100				80				60						
Reclaimed rubber	0				20				40						
ZnO	2				2				2						
Stearic Acid	2				2				2						
CBS	1				1				1						
6PPD	1				1				1						
Banana stalk	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
Sulphur	1.5				1.5				1.5						

3.3.3 การอัดเข้าขึ้นรูป

ก่อนนำยางคอมปาวด์ไปอัดเข้าขึ้นรูป จะนำยางที่ได้ไปศึกษาหาเวลาในการวัลคาไนซ์ (Cure time) หรือหาค่าการสูกของยาง ซึ่งทำได้โดยนำยางคอมปาวด์ปริมาณ 10 g ทดสอบด้วยเครื่อง เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disc Rheometer, ODR) ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นระยะเวลา 30 นาที และบันทึกระยะเวลาที่ทำให้ยางคงรูปร้อยละ 90 (t_{90})

เมื่อได้เวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์แล้วนั้น จะสามารถนำยางคอมปาวด์ไปอัดเข้าขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้เวลาตามเวลาการวัลคาไนซ์ โดยจะขึ้นรูปเป็นฉนวนกันความร้อนที่ความหนาแตกต่างกัน ขนาดของเบ้าจะมี 2 ขนาด คือ $15 \times 15 \times 0.1 \text{ cm}^3$ และ $15 \times 15 \times 0.3 \text{ cm}^3$ ดังนั้นจากสูตรผสมยางคอมปาวด์ 15 รูปแบบ จะสามารถผลิตเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนได้ทั้งหมด 30 ชิ้นตัวอย่าง

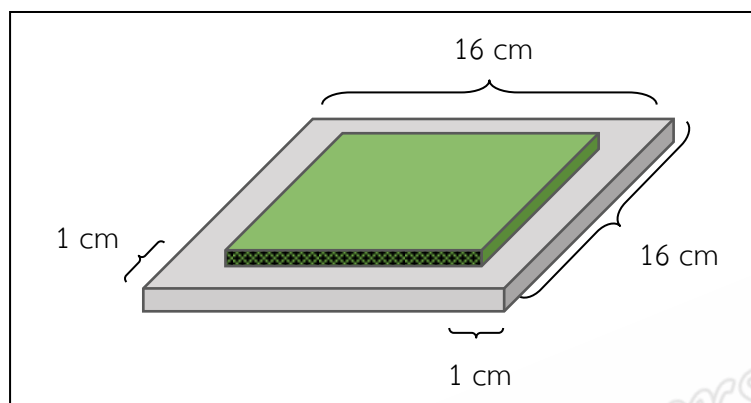
3.3.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น

นำฉนวนกันความร้อนที่ได้จากการขึ้นรูปทั้งหมด 30 ชิ้นตัวอย่าง มาตัดให้มีขนาด $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ที่มีความหนา 0.1 และ 0.3 cm มาทดสอบด้วยเครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า โดยใช้หลักการอาร์คิมิดีส ในการคำนวณหาความหนาแน่น

3.3.5 การเตรียมคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อน

เตรียมแม่พิมพ์เพื่อหล่อคอนกรีตบล็อกขนาด $16 \times 16 \times 5 \text{ cm}^3$ โดยขั้นตอนที่ 1 ทำการผสมปูนสำเร็จรูปกับน้ำในอัตราส่วนปูนสำเร็จรูป 1 kg ต่อน้ำ 200 mL จนได้ปูนที่มีความเหลวพอเหมาะแก่การขึ้นรูป จากนั้นขั้นตอนที่ 2 ทำการเทคอนกรีตลงในแม่พิมพ์เพียงครึ่งหนึ่งของแม่พิมพ์ จากนั้นวางแผ่นฉนวนที่ได้จากการผสมระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย โดยจัดแผ่นฉนวนกันความร้อนให้ห่างกับขอบแม่พิมพ์ข้างละ 1 cm ดังภาพที่ 3.10 จากนั้นเทคอนกรีตที่เหลือลงบนแผ่นฉนวนกันความร้อนให้เต็มแม่พิมพ์ ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา

4 – 5 วัน เพื่อให้คอนกรีตบล็อกแห้ง จึงแกะแม่พิมพ์ออกจากคอนกรีตบล็อก เมื่อทำการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย ครบทุกอัตราส่วน จะได้คอนกรีตบล็อกทั้งหมด 30 ชิ้นตัวอย่าง ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.10 การแทรกแผ่นยางในคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ 3.11 คอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน

3.3.6 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อน

นำคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อนและคอนกรีตบล็อกที่แทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยในแต่ละอัตราส่วนทั้ง 30 ชิ้นตัวอย่าง มาทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยใช้ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน โดยจำลองเป็นเวลากลางวัน ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิห้องที่ 1 จากอุณหภูมิ 25 °C ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 80 °C เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง แล้วจำลองเวลากลางคืนด้วยการปิดไฟเพื่อหยุดให้ความร้อน และทำการวัดอุณหภูมิไปอีก เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิของห้องทั้งสองมีค่าเท่ากันคล้ายกับที่จุดเริ่มต้น โดยใช้เวลาทั้งหมดจำนวน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากชุดเก็บข้อมูล มาคำนวณตามสมการ

$$q = -k \left| \frac{dT}{dx} \right| \text{ เมื่อ } q \text{ (Heat Flux)} = \frac{Q}{A \cdot t} \text{ โดยหลักการทํางานของชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อน}$$

ของฉนวนกันความร้อน มีกระบวนการควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเครื่องมือมีความละเอียดในการบันทึกข้อมูลเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.3.7 การทดสอบสมบัติการกีดขวางของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อน

นำคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่ขึ้นรูปได้จากแม่พิมพ์ที่มีการแทรกฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ โดยสุ่มเลือกคอนกรีตบล็อกตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้นตัวอย่าง ได้แก่

1. คอนกรีตบล็อกที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อน
2. คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 100:0 ผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 2 phr ความหนา 0.1 cm
3. คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 80:20 ผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 6 phr ความหนา 0.1 cm
4. คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 80:20 ผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 6 phr ความหนา 0.3 cm
5. คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 60:40 ผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.1 cm

โดยทำการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกด้วยแม่พิมพ์เป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 cm และสูง 4.5 cm ซึ่งจะเทคอนกรีตที่ผสมได้จากปูนสำเร็จรูปและน้ำลงในแม่พิมพ์ทรงกระบอกเพียงครึ่งหนึ่ง จากนั้นนำฉนวนกันความร้อนที่ตัดเป็นวงกลมวางลงในเบ้า โดยมีระยะห่างจากขอบ 1 cm จากนั้นเทคอนกรีตที่เหลือลงไปให้เต็มแม่พิมพ์ วางทิ้งไว้จนคอนกรีตบล็อกแห้งเป็นระยะเวลา 28 วัน จึงแกะแม่พิมพ์ออกจากคอนกรีตบล็อก จากนั้นนำไปทดสอบการกีดขวางด้วยเครื่อง Compression tester ซึ่งใช้อัตราการกด 50 mm/min จนคอนกรีตบล็อกแตกออก หลังจากนั้นนำข้อมูลแรงกดและระยะกดที่บันทึกได้มาคำนวณหาความเค้นจริงและนำข้อมูลระยะที่กดได้มาคำนวณหาการเปลี่ยนรูปของโคซีจากสัดส่วนการกีด

บทที่ 4

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

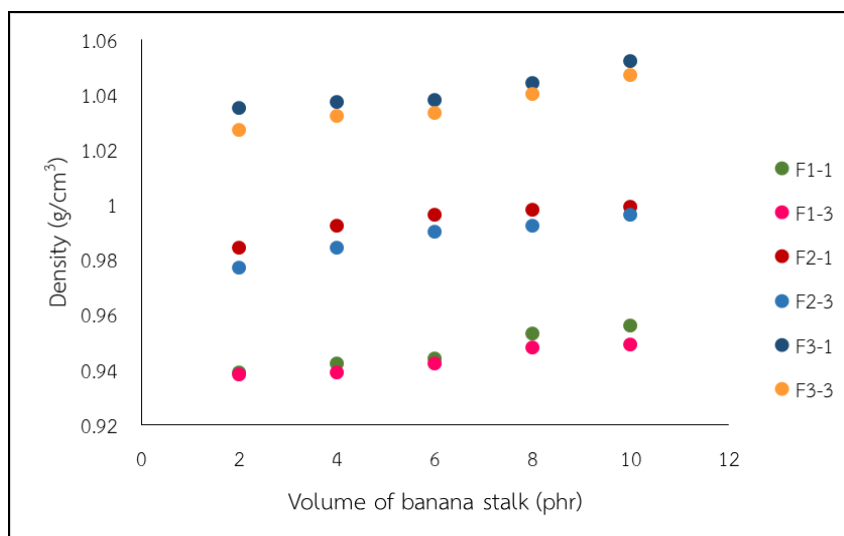
สำหรับผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย จากการศึกษาสมบัติเชิงความร้อน และสมบัติเชิงกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย เช่น สมบัติเชิงกล ความหนาแน่น และศึกษาโครงสร้างภายในของลำต้นกล้วย รวมไปถึงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าต้านทานการกวดของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย สิ่งแรกที่ผู้วิจัยจะกล่าวถึงคือผลการทดสอบความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย ในส่วนที่สองจะพูดถึงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย และในส่วนที่สามคือผลการทดสอบการกวดของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดได้ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่ขึ้นรูปด้วยความหนา 0.1 cm และ 0.3 cm พบว่ามีค่าความหนาแน่นเป็นดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่ขึ้นรูปด้วยความหนา 0.1 cm และ 0.3 cm

Volume of banana stalk (phr)	Density (g/cm ³)					
	F1		F2		F3	
	0.1 cm	0.3 cm	0.1 cm	0.3 cm	0.1 cm	0.3 cm
2	0.939	0.938	0.984	0.977	1.035	1.027
4	0.942	0.939	0.992	0.984	1.037	1.032
6	0.944	0.942	0.996	0.990	1.038	1.033
8	0.953	0.948	0.998	0.992	1.044	1.040
10	0.956	0.949	0.999	0.996	1.052	1.047



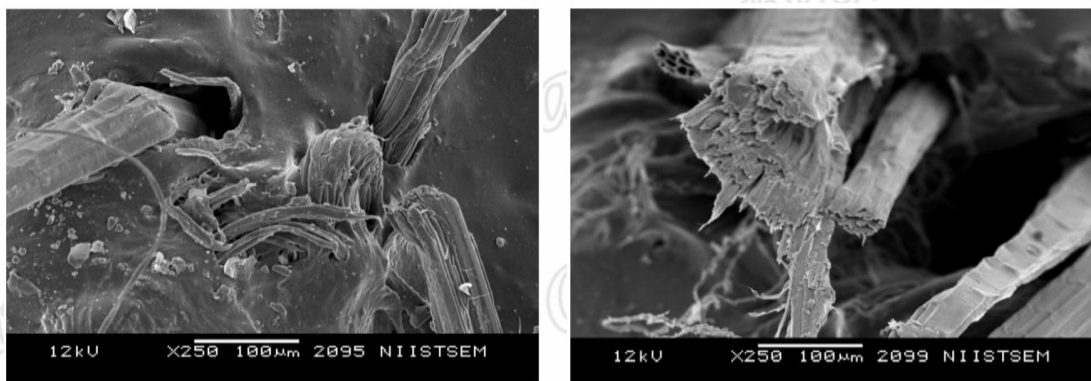
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่ขึ้นรูปด้วยความหนา 0.1 cm และ 0.3 cm กับปริมาณผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

จากผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมจำนวน 3 อัตราส่วน คือ 100:0, 80:20 และ 60:40 แทนด้วยสัญลักษณ์ F1, F2 และ F3 ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 60:40 มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด มีสาเหตุมาจากสัดส่วนของยางรีเคลมที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากยางรีเคลมผ่านการขึ้นรูปมาก่อน โดยใช้สารเคมีจำพวกกำมะถัน ซึ่งกำมะถันเป็นสารเคมีที่เพิ่มการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโซ่ยาง ให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำยางรีเคลมมาผสมกับยางธรรมชาติจะส่งผลให้ฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติบริสุทธิ์ และนอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน โดยการเพิ่มสัดส่วนของยางรีเคลมได้อีกด้วย

นอกจากนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนของยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม โดยการใช้ผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยเป็นสารตัวเติม พบว่าการเพิ่มปริมาณผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 phr ตามลำดับ ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนพบว่า ปริมาณผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ยังพบว่าการขึ้นรูปของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 0.1 cm มีค่าความหนาแน่นมากกว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 0.3 cm เนื่องจากแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 0.1 cm เกิดจากการใช้แรงกดอัดในการขึ้นรูปด้วยความเค้นที่มากกว่า ส่งผลให้โครงสร้างและโพรงอากาศภายในแผ่นฉนวนยุบตัวลงไปจนไม่มีช่องว่างภายใน

จากผลการศึกษาหาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย สามารถอธิบายยืนยันผลการศึกษานี้ว่า เมื่อมีการเติมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยเพื่อเป็นสารตัวเติมในธรรมชาติ จะทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อน

จากยางธรรมชาติมีค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น โดยศึกษาจากภาพลักษณะโครงสร้างภายในแผ่นฉนวนกันความร้อน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะโครงสร้างภายในแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติบริสุทธิ์ และแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมผงเส้นใยจากกากกล้วย ดังแสดงในภาพ 4.2 ซึ่งพบว่าเมื่อมีการแทรกผงเส้นใยจากกากกล้วย จะส่งผลให้เกิดช่องว่างบริเวณรอบ ๆ ผงเส้นใยจากกากกล้วย เนื่องจากโมเลกุลของยางไม่สามารถเกี่ยวพันกับโครงสร้างของผงเส้นใยจากกากกล้วย เพราะธรรมชาติของลำต้นกล้วยจะมีไขมัน (Wax) เคลือบอยู่บริเวณผิวกากกล้วย ซึ่งผงเส้นใยจากกากกล้วยสามารถกักเก็บอากาศแล้วสลายความร้อนบริเวณช่องว่าง ซึ่งเป็นโพรงอากาศ ทำให้ฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากกากกล้วยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ และการเติมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย จะทำให้ฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นมากขึ้น เช่นเดียวกับกับผลการศึกษาหาความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย (Ezema *et al.*, 2014)



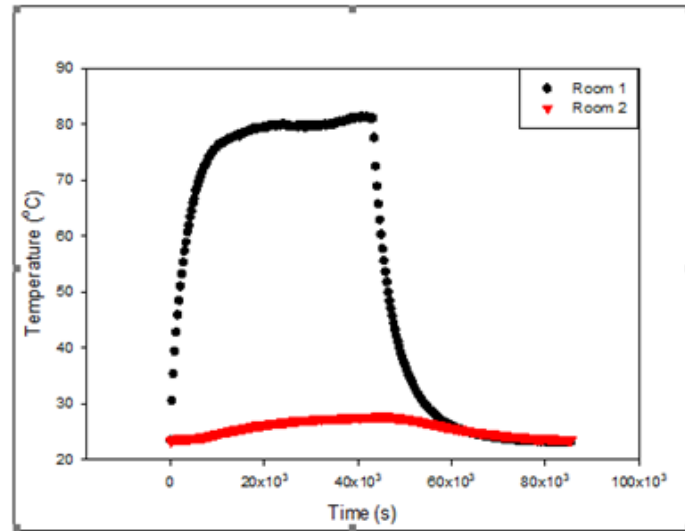
(a)

(b)

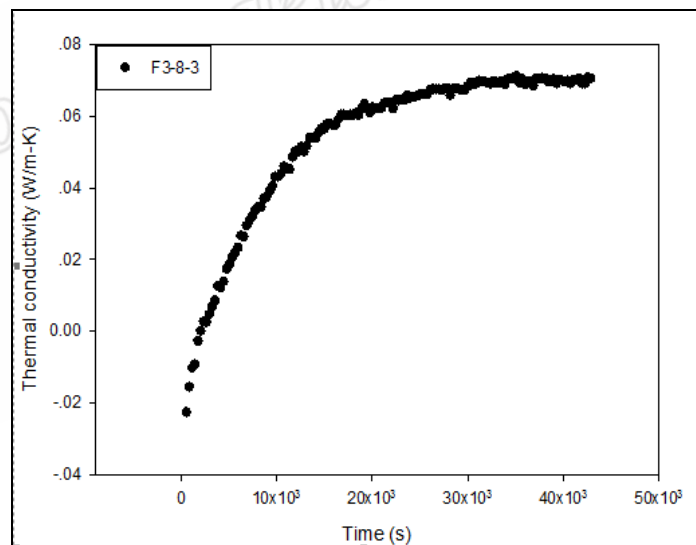
ภาพที่ 4.2 ภาพจาก SEM แสดงการกระจายตัวของผงกากกล้วย 2 บริเวณ a และ b ด้วยขนาดกำลังขยาย 250 เท่า (Ezema *et al.*, 2014)

4.2 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

เมื่อผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยได้ทั้งหมด 30 ชิ้นตัวอย่าง และนำแผ่นฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยไปผ่านการทดสอบหาค่าความหนาแน่น หลังจากนั้นทำการผลิตคอนกรีตบล็อกแทรกกลางด้วยฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยทั้ง 30 ชิ้น จากนั้นนำคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm

จากการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยด้วยชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน พบว่าเมื่อนำคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนทั้ง 30 ชิ้นตัวอย่าง มาแทรกระหว่างห้องทั้งสองของชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน เวลาเริ่มต้นห้องทั้งสองมีอุณหภูมิคงที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นให้ความร้อนแก่

ห้องที่ 1 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าความร้อนจะถ่ายเทจากห้องที่ 1 ผ่านคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนไปยังห้องที่ 2 จากนั้นหยุดให้ความร้อนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนอุณหภูมิทั้ง 2 ห้อง ลดลงเข้าสู่ภาวะสมดุลทางความร้อน จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อนำคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย มาวางกั้นระหว่างห้องทั้งสองของชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน พบว่ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนจากห้องที่ 1 ไปยังห้องที่ 2 ลดลง สังเกตได้จากอุณหภูมิภายในห้องที่ 2 เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย และเมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย ลดลง บ่งบอกถึงความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้

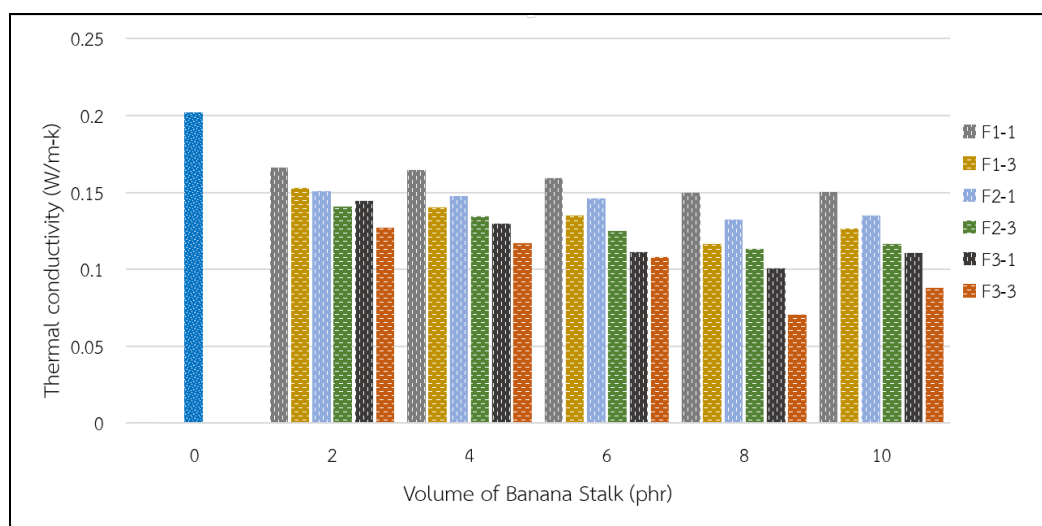
เมื่อนำข้อมูลอัตราการถ่ายเทความร้อนมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน จากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่ามีผลการศึกษามีดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

Volume of banana stalk (phr)	Thermal Conductivity (W/m-K)					
	Thickness 0.1 cm			Thickness 0.3 cm		
	C _{F1} 1	C _{F2} 1	C _{F3} 1	C _{F1} 3	C _{F2} 3	C _{F3} 3
ไม่แทรกแผ่นฉนวน	0.2022					
2	0.1663	0.1509	0.1446	0.1531	0.1405	0.1270
4	0.1643	0.1478	0.1299	0.1403	0.1345	0.1169
6	0.1593	0.1458	0.1113	0.1348	0.1247	0.1079
8	0.1498	0.1322	0.1006	0.1163	0.1133	0.0706
10	0.1501	0.1349	0.1107	0.1265	0.1163	0.0878

จากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย เมื่อพิจารณาฉนวนกันความร้อนภายในคอนกรีตบล็อกที่ส่วนผสมอัตราส่วนเดียวกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 0.1 cm มีความหนาแน่นมากกว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 0.3 cm เนื่องจากกระบวนการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่มีความหนา 0.1 cm จะต้องใช้แรงกดอัดขึ้นรูปด้วยความเค้นที่มากกว่าเพื่อทำให้เกิดการยุบตัวของผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยให้มีความหนาของชั้นตัวอย่างที่น้อยกว่า อีกทั้งต้องใช้แรงกดอัดไล่อากาศออกจากช่องว่างต่าง ๆ ภายในเนื้อเยื่อของแผ่นฉนวนกันความร้อนด้วย ส่งผลให้โครงสร้างภายในแผ่นฉนวนกันความร้อนไม่มีลักษณะเป็นโพรงอากาศที่ใช้กักเก็บความร้อนเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนกันความร้อน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวน

กันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่มีความหนา 0.1 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่ายางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่มีความหนา 0.3 cm เมื่อศึกษาสมบัติเชิงความร้อนด้วยชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนกับอัตราส่วนการผสมยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย โดยคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.2022 W/m-K ซึ่งนับว่าคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง ส่งผลให้คอนกรีตบล็อกธรรมดาเป็นฉนวนกันความร้อนที่ไม่ดี มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง

ส่วนคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมเป็น 100:0, 80:20 และ 60:40 พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อน เนื่องจากมีฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนกรีตบล็อก โดยคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลมเป็น 60:40 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด

เมื่อเพิ่มสารตัวเติมเป็นผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยจะช่วยให้แผ่นฉนวนกันความร้อนมีความเป็นฉนวนมากขึ้น โดยฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมจะใช้ปริมาณผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 phr เมื่อผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยเข้าไปผสมในแผ่นฉนวนกันความร้อนในสัดส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง โดยปริมาณของผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำ

ความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนมีค่าต่ำที่สุด ทำให้เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

คอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่มีความหนา 0.1 และ 0.3 cm เมื่อทดสอบสมบัติเชิงความร้อน พบว่า คอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย ที่ความหนา 0.3 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด เนื่องจากมีโพรงอากาศ และช่องว่างระหว่างโมเลกุลของยางภายในแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย อีกทั้งความหนาที่มากกว่าของแผ่นฉนวนกันความร้อน ซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของยางภายในแผ่นฉนวนกันความร้อน ส่งผลให้ปริมาณคอนกรีตที่ใช้ในการขึ้นรูปลดลง ช่วยให้สมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกลดลง

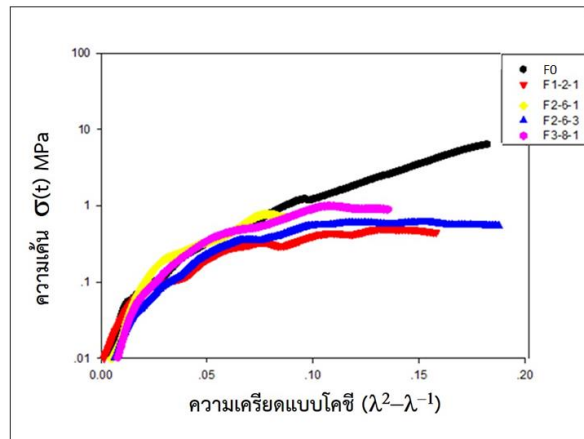
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนระหว่าง 0.1663 – 0.0706 W/m-K ซึ่ง คอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด คือ คอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมในอัตราส่วน 60:40 และปริมาณผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ที่มีความหนา 0.3 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.0706 W/m-K ส่งผลให้เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีสามารถนำไปผลิตเป็นวัสดุผิวอาคารที่มีคุณภาพต่อไป

4.3 ผลการทดสอบการกีดของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

การศึกษาสมบัติเชิงกลในการต้านการกด เพื่อประเมินความแข็งแรงของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตบล็อก โดยทำการทดสอบการกดคอนกรีตบล็อกตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 cm และสูง 4.5 cm ที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนทั้ง 4 ชั้นตัวอย่าง และคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อน โดยทำการทดสอบคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจำนวน 5 ชั้นตัวอย่างที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่

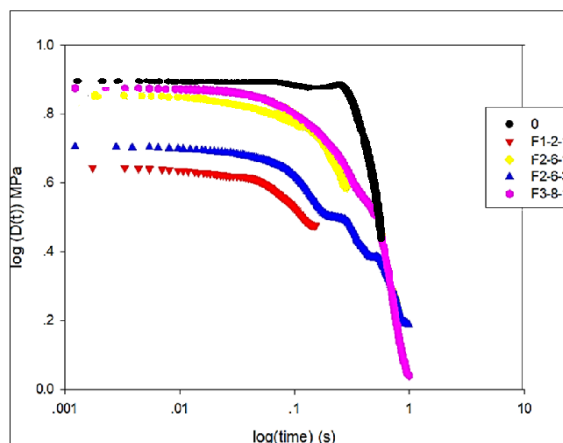
1. คอนกรีตบล็อกที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อน (F0)
2. คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 100:0 ผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 2 phr ความหนา 0.1 cm (F1-2-1)
3. คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 80:20 ผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 6 phr ความหนา 0.1 cm (F2-6-1)
4. คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 80:20 ผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 6 phr ความหนา 0.3 cm (F2-6-3)
5. คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลม 60:40 ผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.1 cm (F3-8-1)

จากการทดสอบสมบัติการกวดจะได้ข้อมูลของแรงที่ใช้ในการกวด (N) และระยะในการกวด (mm) แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความเค้นกับการเปลี่ยนรูปแบบโคซี และค่ามอดูลัสกับเวลา ผลที่ได้เป็นดังแสดงในภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับการเปลี่ยนรูปแบบโคซี

ผลการทดสอบการกวดพบว่าคอนกรีตบล็อกธรรมดาไม่แตกแผ่นฉนวนกันความร้อนและคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่สุ่มเลือกมาทดสอบการกวดนั้น มีความแข็งแรงที่ไม่แตกต่างกัน โดยเมื่อเริ่มต้นใช้อัตราการกวด 50 mm/min คอนกรีตบล็อกตัวอย่างจะสามารถทนแรงกวดได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นค่อย ๆ เพิ่มอัตราการกวดจนคอนกรีตบล็อกตัวอย่างไม่สามารถรับแรงกวดได้อีก จนกระทั่งคอนกรีตบล็อกแตกออกและเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป จากการทดสอบพบว่าในระยะแรกเมื่อเพิ่มแรงกวดต่อคอนกรีตบล็อกตัวอย่างทำให้ความเค้นเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความเครียดแบบโคซีเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ค่าความเครียดแบบโคซีมีค่าตั้งแต่ 0.01 ซึ่งกราฟของคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนกับคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน จะแสดงผลแตกต่างกัน เนื่องจากเป็นผลมาจากการยืดหยุ่นของโซโมเลกุลยางในแผ่นฉนวนกันความร้อนที่แทรกไว้



ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ค่ามอดูลัสกับเวลาที่ใช้ในการกวด

การทดสอบการกวดของคอนกรีตบล็อกธรรมดาไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน และคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย เมื่อนำมาหาค่ามอดูลัสของการกวดเทียบกับเวลา พบว่ากราฟมอดูลัสของ คอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใย จากลำต้นกล้วยนั้น มีค่ามอดูลัสคงที่ไประยะหนึ่ง แล้วเกิดการร่วงและแตกหักของคอนกรีตบล็อก ทำให้กราฟของค่ามอดูลัสลดลงทันที

ส่วนกราฟมอดูลัสของคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยาง ธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยนั้น จะพบว่ากราฟจะมีค่ามอดูลัสลดลงเป็น แบบเส้นโค้ง ซึ่งเป็นผลมาจากการยืดหยุ่นของโซโมเลกุลยางในแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยาง ธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่แทรกไว้ ซึ่งเป็นสมบัติเด่นที่สำคัญอีก ประการที่สามารถผ่อนคลายแรงกวดลงได้ ส่งผลให้แผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใย จากลำต้นกล้วยเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพอีกด้วย

Prince of Songkla University
Pattani Campus

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

ในบทสุดท้ายนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึง สรุปผลการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย และข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์และแนวทางของผู้ที่สนใจจะศึกษาในเรื่องนี้ต่อไป ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 กลไกการเป็นฉนวนกันความร้อน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนแก่คอนกรีตบล็อก พบว่าเป็นการศึกษาความเป็นฉนวนความร้อนที่เกิดขึ้นเพียง 1 กลไก ของการดูดซับความร้อน แต่งานวิจัยชิ้นนี้เป็นคอนกรีตบล็อกที่แทรกด้วยฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย ซึ่งจะมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนมากกว่า ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ เพราะมีหลายกลไกในการดูดซับความร้อน ดังนี้

1. การเป็นฉนวนความร้อนของตัวคอนกรีตบล็อกเอง
2. การเป็นฉนวนกันความร้อนของยางธรรมชาติ เพราะเมื่อโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติเกิดการขยับตัวจะเกิดการดูดซับความร้อน
3. การเป็นฉนวนกันความร้อนของยางรีเคลม ซึ่งเป็นอนุภาคที่ผ่านการบด สามารถขยับตัวได้เล็กน้อย ทำให้เกิดการดูดซับความร้อน
4. เซลลูโลสภายในเส้นใยลำต้นกล้วยมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนจากธรรมชาติที่สามารถดูดซับความร้อนได้
5. ภายในโครงสร้างของลำต้นกล้วยมีรูพรุนหรือโพรงอากาศ สามารถดูดซับและกักเก็บความร้อนได้ดี

5.1.2 การทดสอบความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

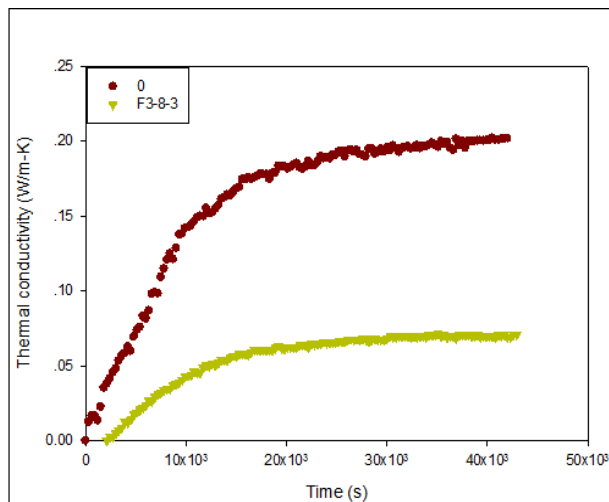
ฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อยางรีเคลมเป็น 60:40 มีความหนาแน่นมากที่สุด เป็นเพราะปริมาณยางรีเคลมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากภายในโมเลกุลของยางรีเคลมมีสารจำพวกกำมะถันที่สร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของยางให้เชื่อมต่อกันและมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนมีค่าสูงขึ้น เมื่อเทียบกับฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อยางรีเคลมเป็น 100:0 และ 80:20

การผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 phr ในยางธรรมชาติ และยางรีเคลม พบว่าปริมาณผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ถูกแรงกดอัดเพื่อใช้ในการขึ้นรูป ทำให้ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ยังพบว่า การขึ้นรูปของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 0.1 cm มีค่าความหนาแน่นมากกว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 0.3 cm เนื่องจากแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 0.1 cm เกิดจากการใช้แรงกดอัดในการขึ้นรูปด้วยความเค้นที่มากกว่า ส่งผลให้โครงสร้างและโพรงอากาศภายในแผ่นฉนวนยุบตัวลงไปจนไม่มีช่องว่างภายใน

5.1.3 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

คอนกรีตบล็อกที่แทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมในอัตราส่วน 60:40 และปริมาณผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ที่มีความหนา 0.3 cm เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนดีที่สุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0706 W/m-K เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน ซึ่งคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนมีสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนค่อนข้างต่ำ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.2022 W/m-K

คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง เนื่องจากมีฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนกรีตบล็อกซึ่งยางรีเคลมที่นำมาผสมกับยางธรรมชาติมีสารเคมีจำพวกกำมะถันผสมอยู่ ส่งผลให้โมเลกุลของยางมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล เมื่อโซ่โมเลกุลของยางขยับตัวจะเกิดการดูดซับความร้อนทำให้ยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมมีสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนจากเพิ่มมากขึ้น และเมื่อผสมผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยในแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมสัดส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง เนื่องจากภายในโครงสร้างของลำต้นกล้วยมีรูพรุนหรือโพรงอากาศภายในเซลล์รูโลส สามารถดูดซับและกักเก็บความร้อนได้ดี นอกจากนี้การแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่มีความหนา 0.3 cm ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกต่ำที่สุดเนื่องจากความหนาที่มากกว่าของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย ส่งผลให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลของยางภายในแผ่นฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยดูดซับความร้อนได้ และยังส่งผลให้ปริมาณคอนกรีตที่ใช้ในการขึ้นรูปลดลง ช่วยให้สมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยลดลง มีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มผิวอาคาร



ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนระหว่างคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อนและคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด

จากการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่แทรกฉนวนกันความร้อนซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.2022 W/m-K และคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมที่อัตราส่วน 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยปริมาณ 8 phr ที่มีความหนา 0.3 cm ซึ่งเป็นคอนกรีตบล็อกที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0706 W/m-K จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะมีค่าลดลงเมื่อมีการแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย โดยมีประสิทธิภาพในการนำความร้อนลดลงจากเดิม คิดเป็นร้อยละ 65 โดยคำนวณจากความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่ลดลง เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกธรรมดา ดังภาพที่ 5.1

จากการศึกษาผลของความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่แทรกในคอนกรีตบล็อก พบว่าฉนวนกันความร้อนจะมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากขึ้น เมื่อฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (ธนัญชัย และคณะ, 2549) ที่ระบุไว้ว่า ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นมาก จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงกว่าฉนวนกันความร้อนชนิดเดียวกันที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า

5.1.4 การทดสอบการกีดขวางของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย

คอนกรีตบล็อกธรรมดาไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน และคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีความแข็งแรง และความต้านทานการกดเท่ากันกับคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ไม่

แทรกฉนวนกันความร้อน ซึ่งคอนกรีตบล็อกตัวอย่างจะสามารถทนแรงกดอัดได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นคอนกรีตบล็อกจะแตกออกและเสียรูปไป โดยการแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วยในคอนกรีตบล็อกนั้นไม่มีผลทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าความต้านทานการกีดกันความชื้นจากความชื้นเทียบกับค่าความเครียดแบบโคซี และค่ามอดูลัสเทียบกับเวลา โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวจะมีประโยชน์ในการประเมินการใช้งานคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง ก่อนการนำไปผลิตเป็นวัสดุห่อหุ้มผิวอาคารหรือนำไปใช้งานจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย พบว่าเป็นการลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนได้จริง อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตฉนวนกันความร้อนโดยใช้วัสดุเหลือใช้ และวัสดุจากธรรมชาติ คือ ยางรีเคลม และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย โดยหากมีการเปลี่ยนสารตัวเติมเป็นวัสดุจากธรรมชาติชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนหรือมีช่องอากาศภายในโครงสร้าง เช่น ผักตบชวา หรือขานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่เหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหล่านั้นได้ โดยสามารถใช้วิธีการศึกษาเช่นเดียวกันกับลำต้นกล้วยได้

ในการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อน ควรเพิ่มเติมอัตราส่วนของส่วนผสมในแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในการศึกษาให้มีความครอบคลุมในทุกอัตราส่วน เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษามีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2549. ฉนวนโฟมกับเทคโนโลยีผนัง. สืบค้นจาก: <http://www.2e-building.com/article.php?cat=knowledge&id=160> [5 มกราคม 2560]
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2543. การใช้ฉนวน, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, หน้า 1-59.
- คลังความรู้ SciMath. 2555. เคมีกับเซรามิกส์. สืบค้นจาก: <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/1358-?groupid=262>. [7 ตุลาคม 2559]
- เฉลิมพล ไชยแก้ว ปิติ สุคนธสุขกุล และสุพรชัย อุทัยนฤมล. 2546. การศึกษาการใช้ผงจากยางรถยนต์เก่าในคอนกรีตบล็อกปูผิวทางแบบอ่อน. 1-6.
- ชินรัตน์ ลากพูลธนะอนันต์. 2549. การวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง. Rubber Asia Publication. 1-3.
- ชูพงษ์ ทองคำสมุทร. 2556. อิทธิพลของฉนวนต้านทานความร้อนและการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังอาคาร. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 100-111.
- ณัฐภาพ นิมปีดิวัน รุจิพรรณ สัมปันณา และนราธิป โกวิท. 2553. ภาวะโลกร้อนกับสถานการณ์ด้านพลังงานของประเทศ. Executive Journal. 105-109.
- ตรีญา มูลชัย. 2555. ผลพลอยได้จากข้าวสุสารตัวเต็มสำหรับยางธรรมชาติ. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 1036-1048.
- ทิพวรรณ บุญย์เพิ่ม. 2549. เมื่ออาคาร (ต้อง) เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. วารสารการจัดการสมัยใหม่. 30.
- ธนัญชัย ปศุณวรรกิจ พันธดา พุฒิปุโรจน์ วรธรรม อุจน์จิตติชัย และพรรณจิรา ทิศาวิภาต. 2549. ประสิทธิภาพป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิชาการสถาปัตยกรรมและการผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 3-13.
- ธนาวรรณ กิจประไพอำพล. 2539. เส้นทางและโอกาสการส่งออกและผลกระทบจากการมีเขตการค้าเสรีอาเซียน (สำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง). สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 1-136.
- นรา เทื่อใหม่ และสายฝน แก้วสม. 2550. การผลิตฉนวนกันความร้อนแบบเซลล์ปิดจากยางธรรมชาติ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). 61-111.
- เนรัญชรา ศรีคะรัน. 2557. รายงานวิจัยเรื่องฉนวนกันความร้อนแทรกด้วยแผ่นยางธรรมชาติ (NR) ผสมหยวกกล้วย. สาขาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. หน้า 1-106.
- นนทศักดิ์ สมเกื้อ. 2558. การขึ้นรูปและการคงรูปร่างโดยใช้แม่พิมพ์. สืบค้นจาก: <http://www.tgi.or.th/upload/files/7>. [15 กุมภาพันธ์ 2561]

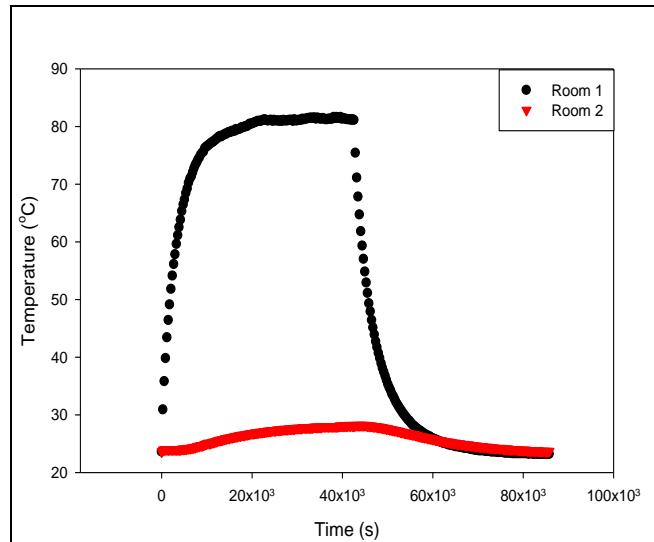
- เบญจมาศ ศิลาชัย. 2558. กล้วย, พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 1-3.
- ประชุม คำพุ่ม และกิตติพงษ์ สุวีโร. 2554. การพัฒนาสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเศษพลาสติกเอทิลีนไวน์ลอะซิเตท. 949-953.
- ประชุม คำพุ่ม. 2550. การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 30, 363-375.
- ประณต กุลประสูตร. 2556. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 14, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 17-31.
- ปานทิพย์ เปลี่ยนโมฬี. 2559. ผลผลิตสูงสุดต่อจากยางพารา. อุตสาหกรรมสาร. 23-24.
- บุญญาธิช อินทรพัฒน์. 2555. สารตัวเติมในยางธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ชีวมวล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 14 (1), 30-43.
- ปลื้มจิต เตชธรรมรักษ์ อำนวย ลากเกษมสุข และขวัญชัย จ้อยเจริญ. 2548. การประยุกต์ใช้กากกล้วยเป็นฉนวนความร้อนสำหรับบรรจุภัณฑ์รักษาอุณหภูมิของอาหาร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชชมงคลธัญบุรี. 5-9.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, หน้า 1-319
- พัลลภ กฤตยานวัช. 2553. สถาปัตยกรรมแนวธรรมชาติ: ทิศทางใหม่ด้านการวางผังและออกแบบอาคารในอนาคต. ธนาคารอาคารสงเคราะห์. 60, 6-18
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย. 2547. ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), หน้า 4-12
- ภิกษาบัญชา ชุณหสวัสดิกุล. 2554. ยางและการพัฒนาอุตสาหกรรมยาง. INNomag. 38, 28-31.
- รัตนสุดา ชลธาดู. 2558. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและแนวทางการแก้ไขปัญหา. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 18, 416-431.
- วรรณุช ดีละมัน กัลทิมา เซาร์ชาญชัยกุล และกิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์. 2559. การพัฒนาและผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยการผสมเส้นใยธรรมชาติ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. หน้า 1-60.
- วรรณิ เอกศิลป์ และ ชัยรัตน์ บุญถนอมวงศ์. 2557. สมรรถนะทางความร้อนของอิฐบล็อกผสมผักตบชวาและขี้เลื่อย. การประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2557. 3 เมษายน 2557, 179-186.
- ศักดิ์สิทธิ์ พันทวี. 2551. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ไดอะทอมไมท์และเพอร์ไลท์ในงานคอนกรีตมวลเบา. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. 2559. กลไกการถ่ายเทความร้อน. สืบค้นจาก: <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/heat-transfer>. [6 ตุลาคม 2559]

- สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 2542. ชนิดและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์. สืบค้นจาก: <http://kanchanapisek.or.th>. [5 ตุลาคม 2559]
- สุนทร บุญญาธิการ. 2553. นวัตกรรมการออกแบบบ้านยุคใหม่เพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. วิชาการอาคารสงเคราะห์. 60, 47-50.
- สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย. 2555. การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากผักตบชวา. สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สืบศิริ แซ่ลี และศักดิ์ชาย สิกขา. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นฝ้าและผนังฉนวนกันความร้อนจากพืชในเขตพื้นที่ประเทศไทย. วารสารวิชาการ ศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 15-24.
- สมบัติ พุทธจักร. 2555. เทอร์โมไดนามิกส์และการประยุกต์สำหรับยาง, พิมพ์ครั้งที่ 1, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, หน้า 315-316.
- สมบัติ พุทธจักร. 2547. สมบัติเชิงฟิสิกส์ เซมิคอนดักเตอร์และเชิงวิศวกรรมของยาง, พิมพ์ครั้งที่ 1, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, หน้า 175.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2553. ภัยจากโลกร้อนกับการพัฒนาที่ยั่งยืน. วารสารเศรษฐกิจและสังคม. 1, 1-52.
- อนุภา สกุลพาณิชย์. 2559. การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ. วารสารวิชาการ สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ. มหาวิทยาลัยศิลปากร. 1688-1702.
- อุษาวดี ตันติวรานุกษ์ และฉันทนา เล็กใจชื่อ. 2560. สมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากต้นปุด (*Etilingera littoralis* Gieseke). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 35,102-108.
- Abu-Jdayil, B., Mourad, A. H. and Atif, H. 2016. Thermal and physical characteristics of polyester–scrap tire composites. Construction and Building Materials. 105, 472–479.
- Eiras, J. N., Segovia, F., Borrachero, M. V., Monzó, J., Bonilla, M. and Payá, J. 2014. Physical and mechanical properties of foamed Portland cement composite containing crumb rubber from worn tires. Materials and Design. 59, 550–557.
- Ezema, I. C., Menon, A. R., Obayi, C. S. and Omah, A. D. 2014. Effect of surface treatment and fiber orientation on the tensile and morphological properties of banana stem fiber reinforced natural rubber composite. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2, 216-222.
- Greatwall. 1988. ทำไมจึงต้องทำฉนวนให้อาคาร. สืบค้นจาก: <http://www.greatwall1988.com/th/insulation.php>. [ตุลาคม 5, 1998]

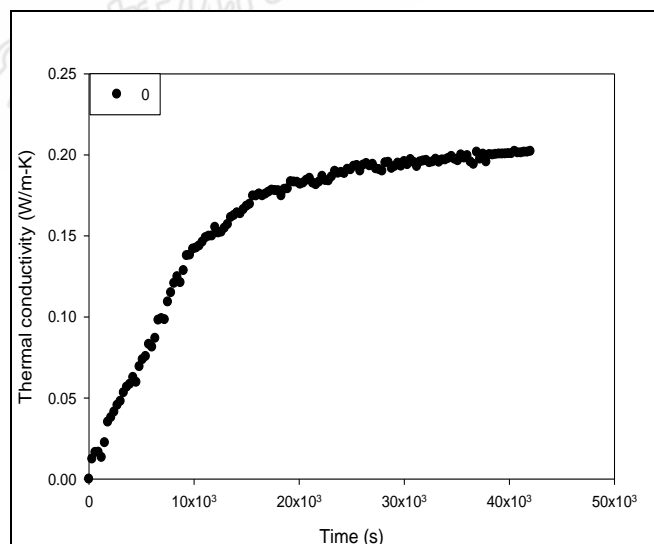
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W. and Martin, M. E. 2006. Global temperature change. PNAS. 103(39), 14288–14293.
- Hawkins, S. J., Southward, A. J. and Genner, M. J. Detection of environmental change – evidence from the western english channel. 1-18.
- Kim, K. H., Jeon, S. E., Kim, J. K. and Yang, S. 2003. An experimental study on thermal conductivity of concrete. Cement and Concrete Research. 33, 363–371.
- Teli M.D. and Valia S.P. 2013. Acetylation of banana fiber to improve oil absorbency. Carbohydrate polymers. 92, 328-333.
- Sukontasukkul, P. 2009. Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel. Construction and Building Materials. 23, 1084–1092.
- Turgut, P. and Yesilata, B. 2008. Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks. Energy and Buildings. 40, 679–688.
- Won, J. P., Kang, H. B., Lee, S. J., Lee S. W. and Kang J. W.. 2011. Thermal characteristics of high-strength polymer–cement composites with lightweight aggregates and polypropylene fiber. Construction and Building Materials. 25, 3810–3819.
- Yesilata, B. and Turgut, P. 2007. A simple dynamic measurement technique for comparing thermal insulation performances of anisotropic building materials. Energy and Buildings. 39, 1027–1034.
- Yesilata, B., Isiker, Y. and Turgut, P. 2009. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. Construction and Building Materials. 23, 1878–1882.

Prince of Songkla University
Pattani Campus
ภาคผนวก

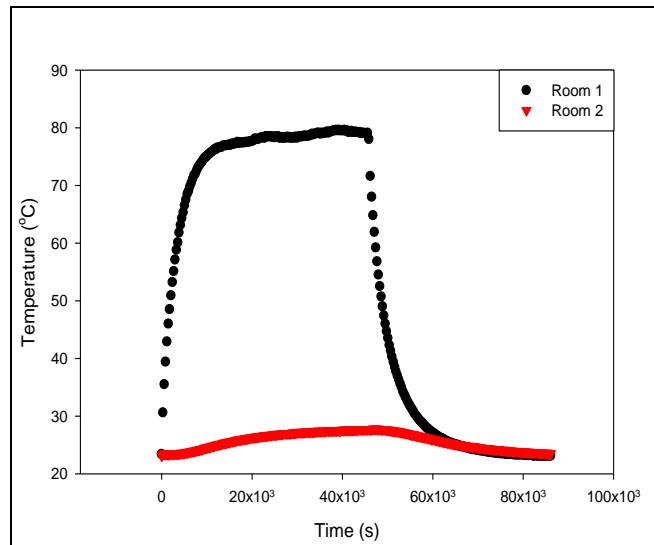
ภาคผนวก ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีไซเคิล และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย



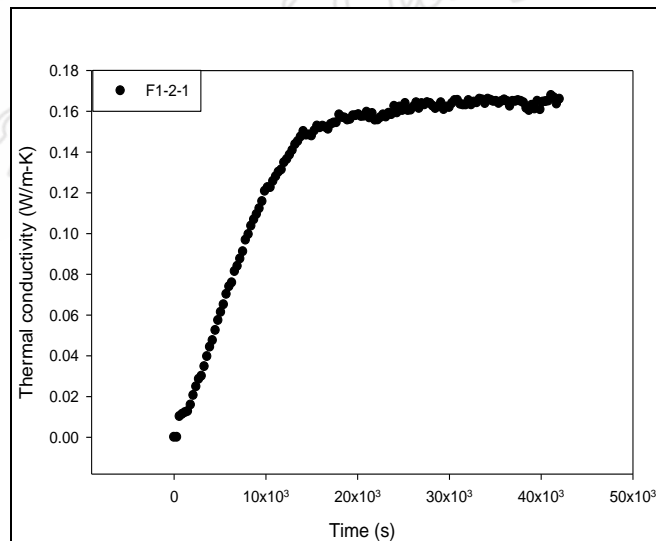
ภาพที่ ผ1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกธรรมดาไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน



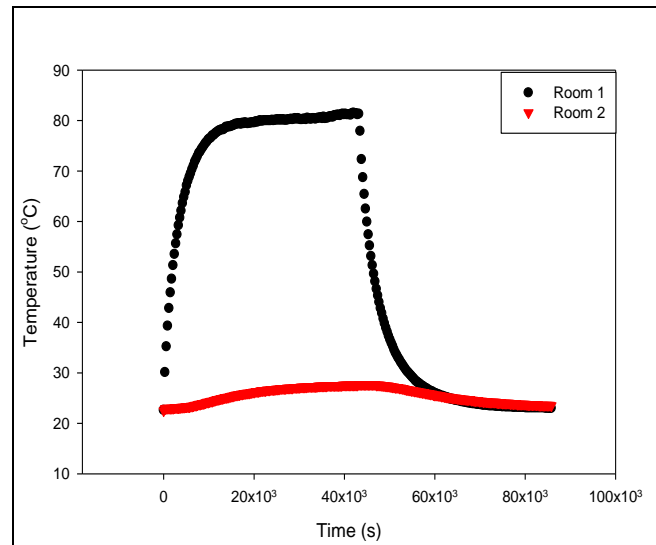
ภาพที่ ผ2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกธรรมดาไม่แทรกแผ่นฉนวนกันความร้อน



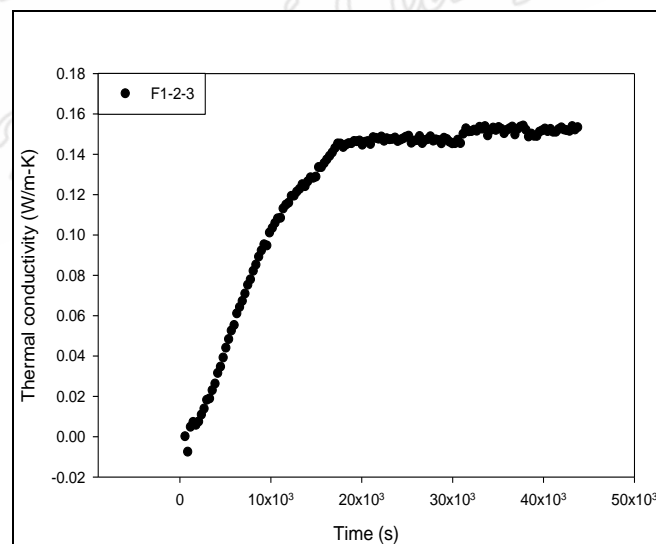
ภาพที่ ผ3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผนังใยจากลำต้นกล้วย 2 phr ความหนา 0.1 cm



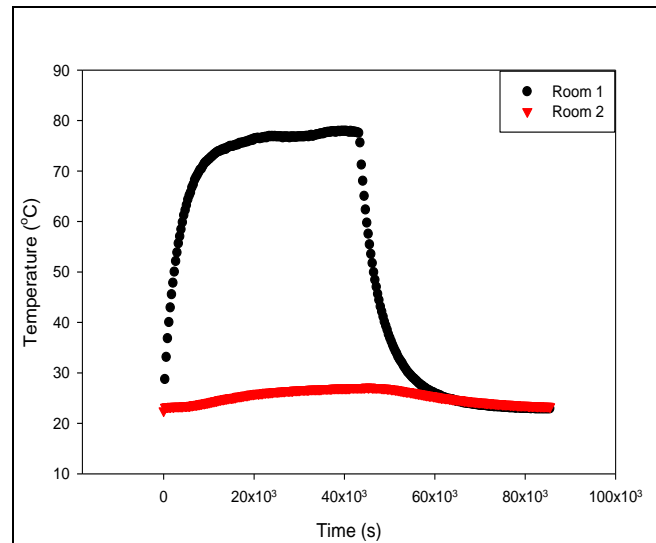
ภาพที่ ผ4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผนังใยจากลำต้นกล้วย 2 phr ความหนา 0.1 cm



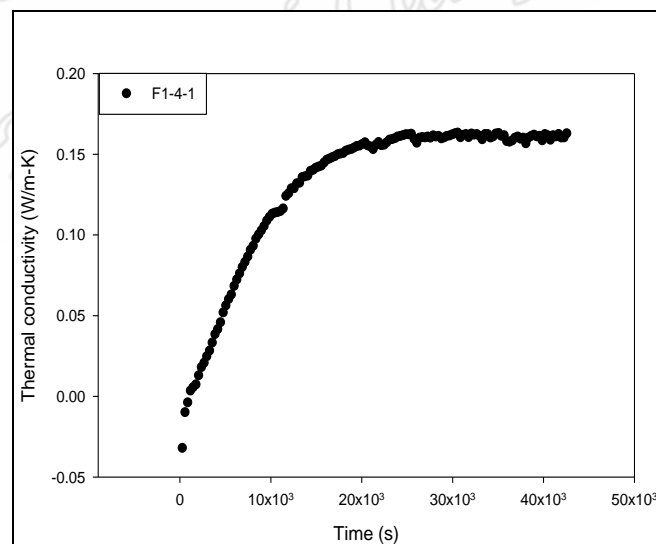
ภาพที่ ๕5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 2 phr ความหนา 0.3 cm



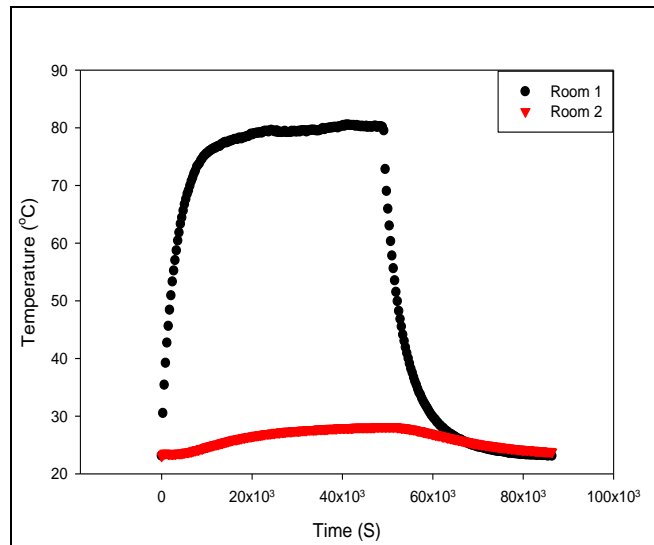
ภาพที่ ๕6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 2 phr ความหนา 0.3 cm



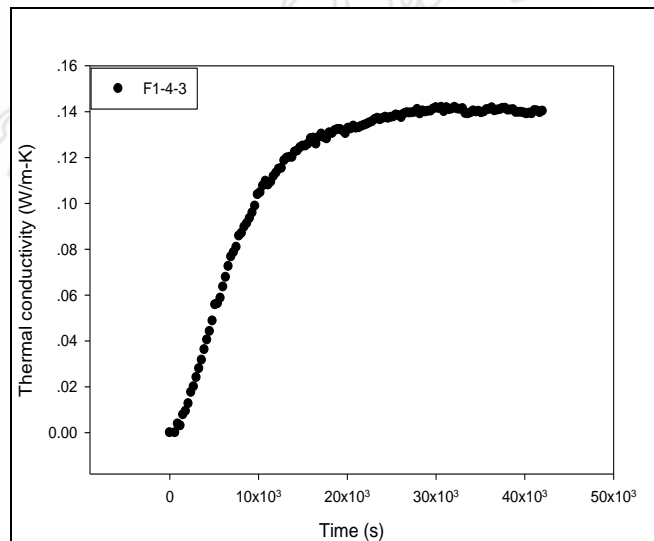
ภาพที่ ๗7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 4 phr ความหนา 0.1 cm



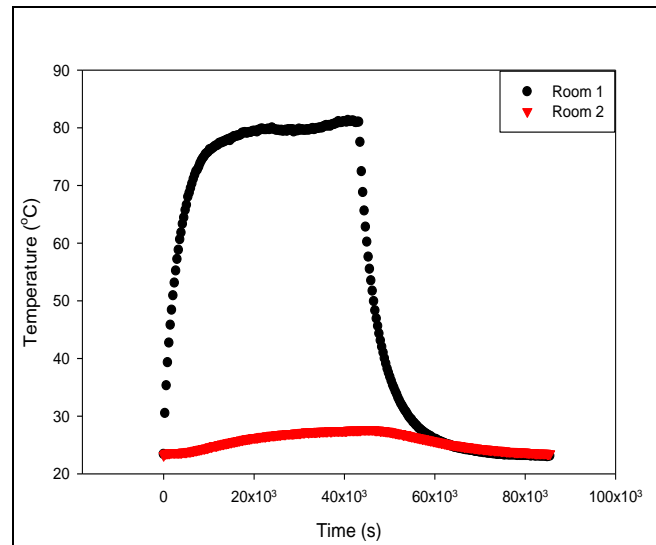
ภาพที่ ๗8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 4 phr ความหนา 0.1 cm



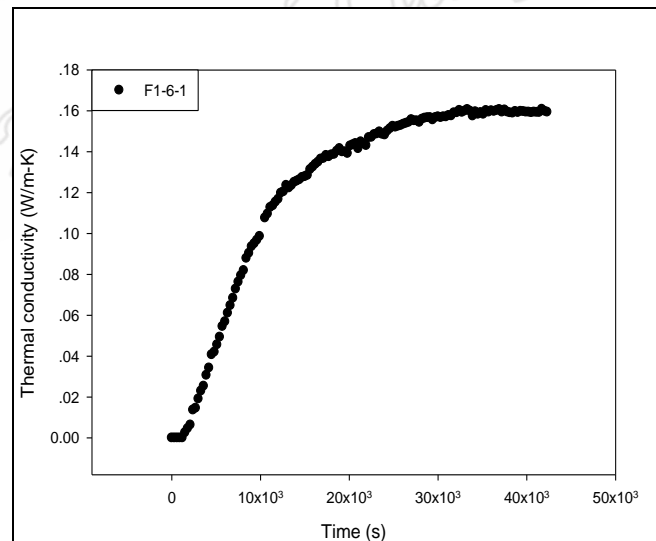
ภาพที่ ๙ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 4 phr ความหนา 0.3 cm



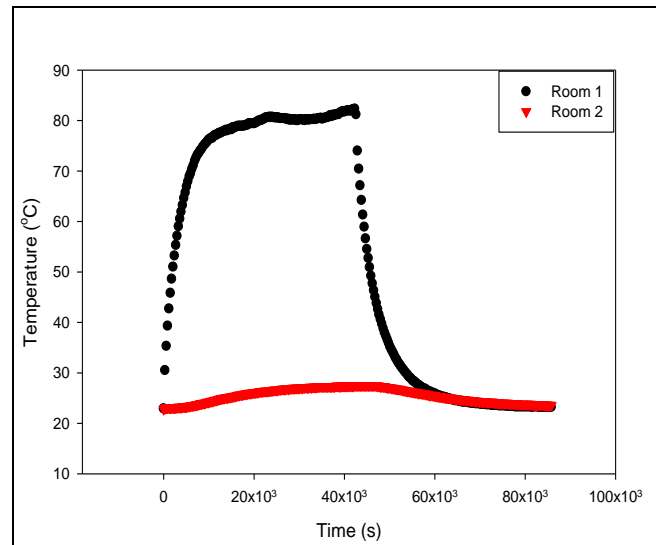
ภาพที่ ๑๐ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 4 phr ความหนา 0.3 cm



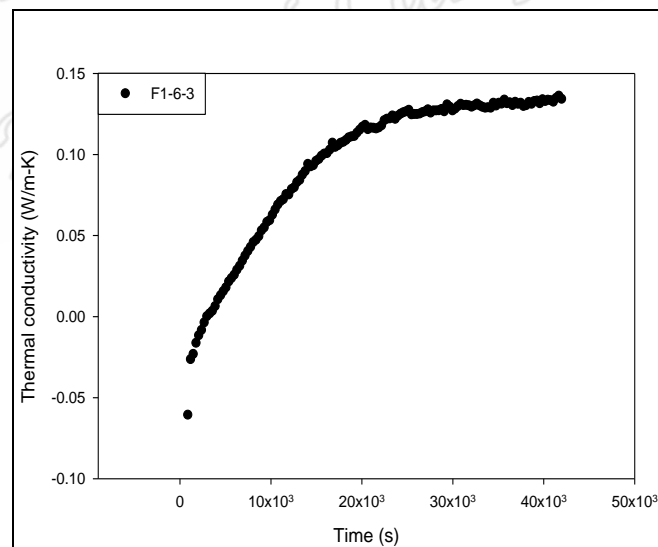
ภาพที่ ๑๑1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 6 phr ความหนา 0.1 cm



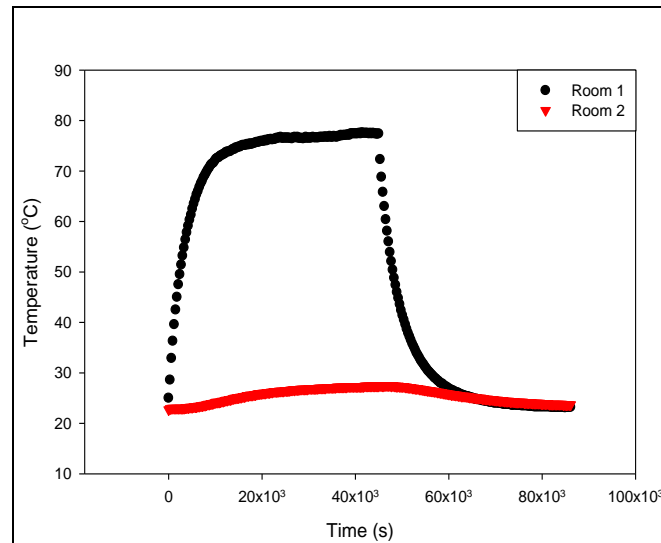
ภาพที่ ๑๑2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 6 phr ความหนา 0.1 cm



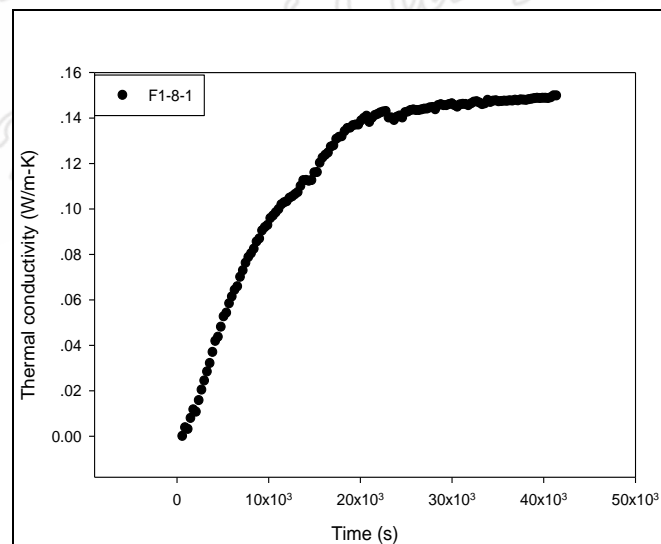
ภาพที่ ๑๓ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 6 phr ความหนา 0.3 cm



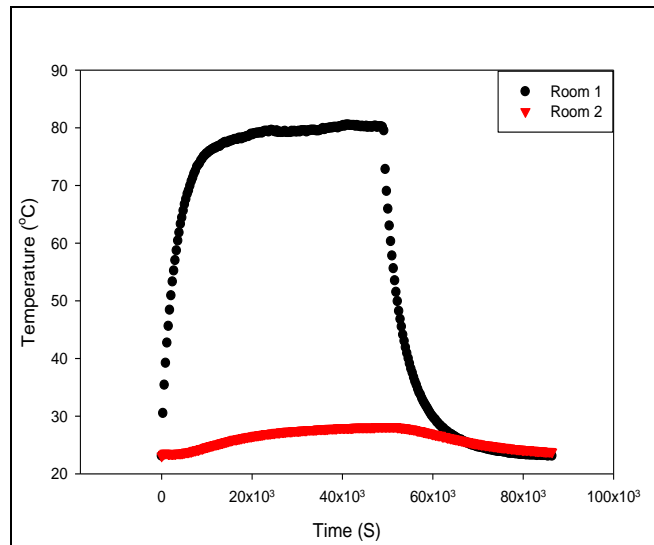
ภาพที่ ๑๔ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 6 phr ความหนา 0.3 cm



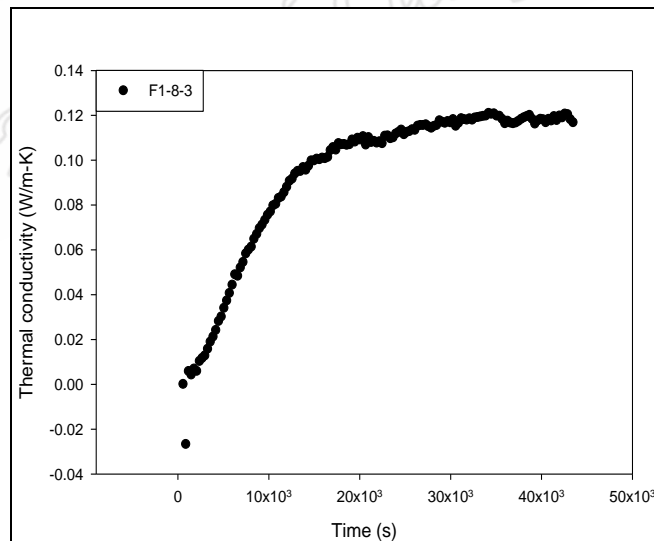
ภาพที่ ๑๕ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.1 cm



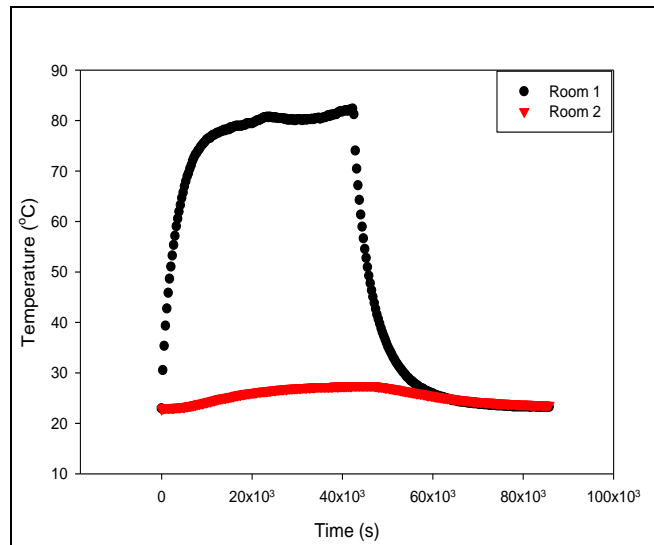
ภาพที่ ๑๖ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.1 cm



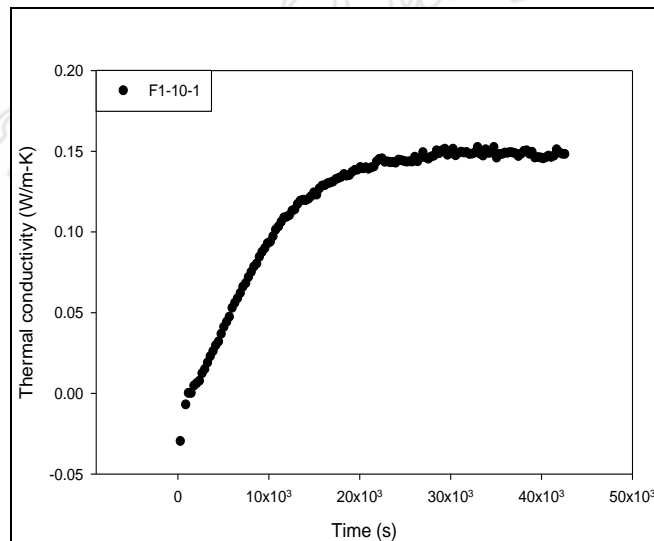
ภาพที่ ๑๗ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm



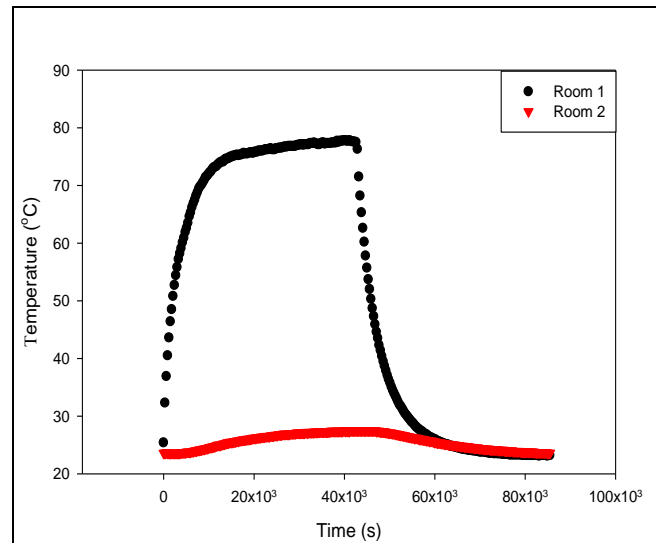
ภาพที่ ๑๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm



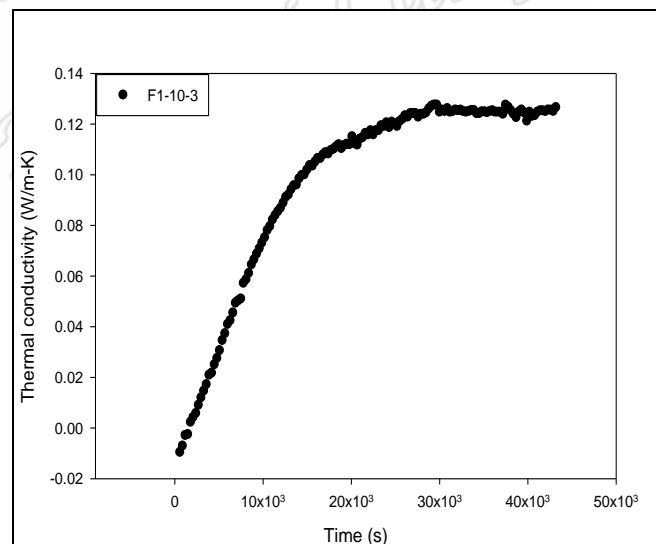
ภาพที่ ๑๙ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.1 cm



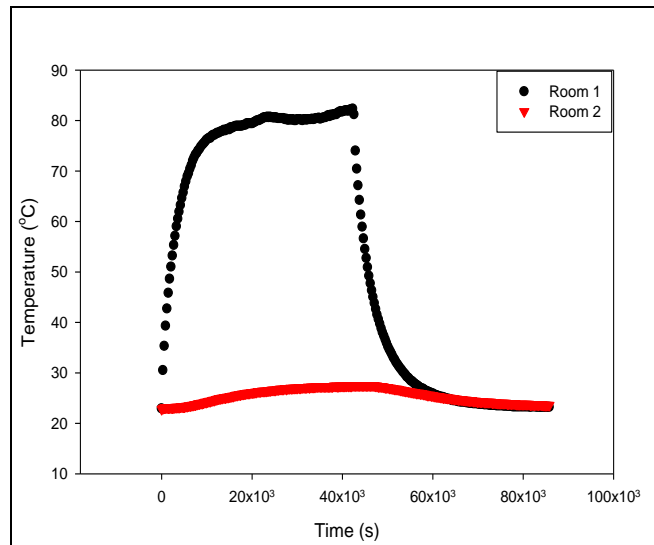
ภาพที่ ๒๐ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.1 cm



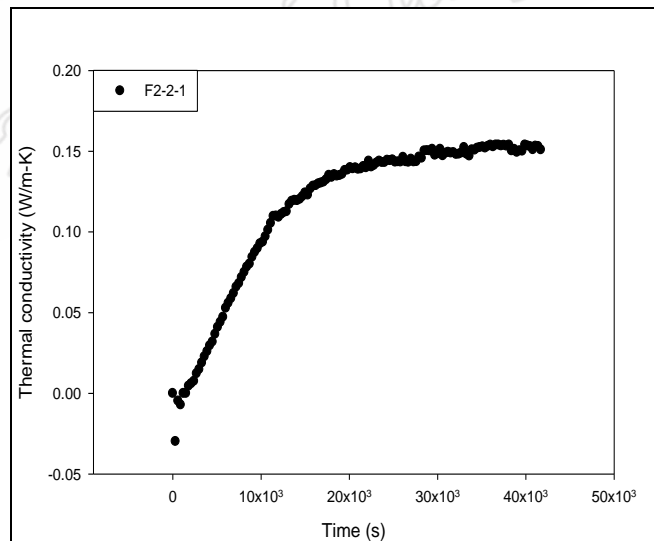
ภาพที่ ๒๒๑ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.3 cm



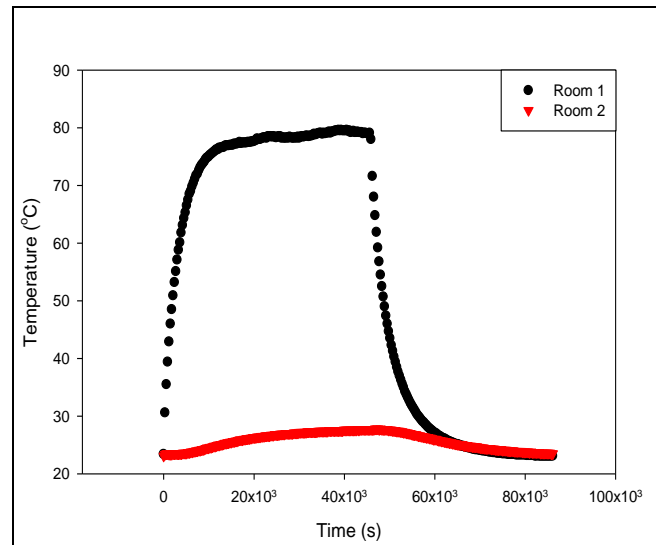
ภาพที่ ๒๒๒ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 100:0 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.3 cm



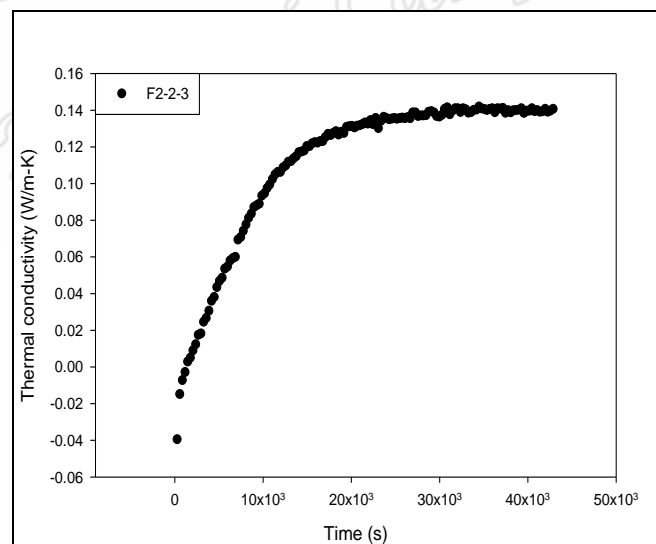
ภาพที่ ๒๓ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 2 phr ความหนา 0.1 cm



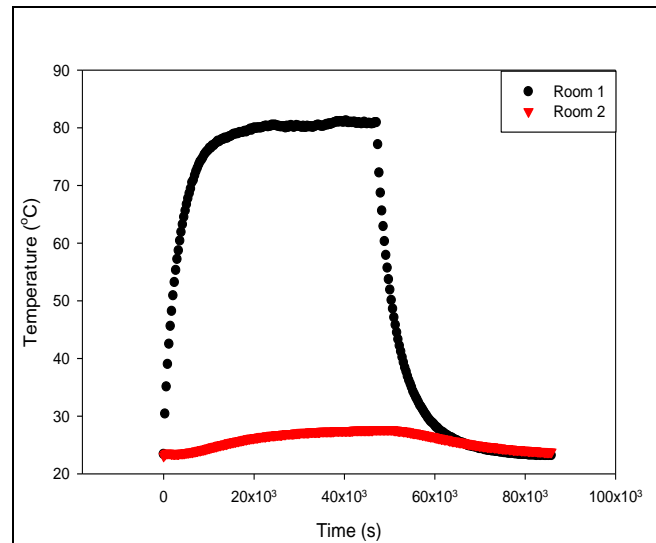
ภาพที่ ๒๔ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 2 phr ความหนา 0.1 cm



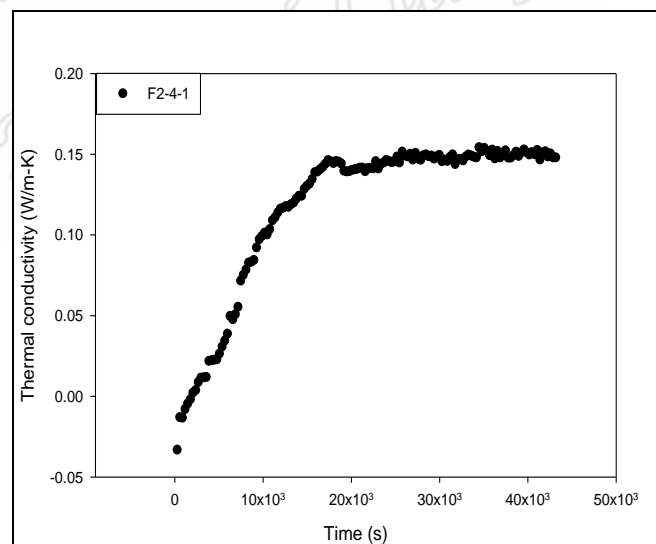
ภาพที่ ๒๕ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีไซเคิล 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 2 phr ความหนา 0.3 cm



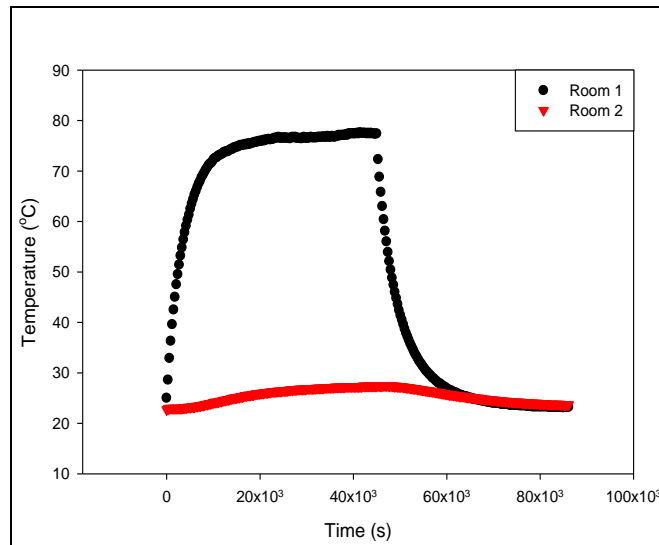
ภาพที่ ๒๖ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีไซเคิล 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 2 phr ความหนา 0.3 cm



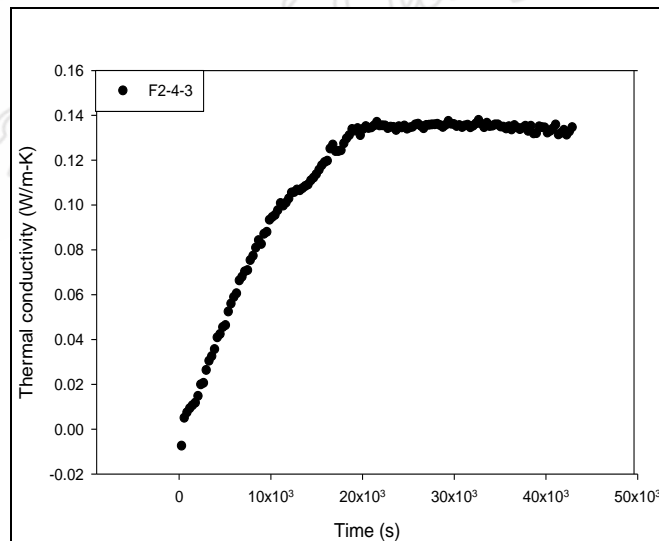
ภาพที่ ๒๗ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 4 phr ความหนา 0.1 cm



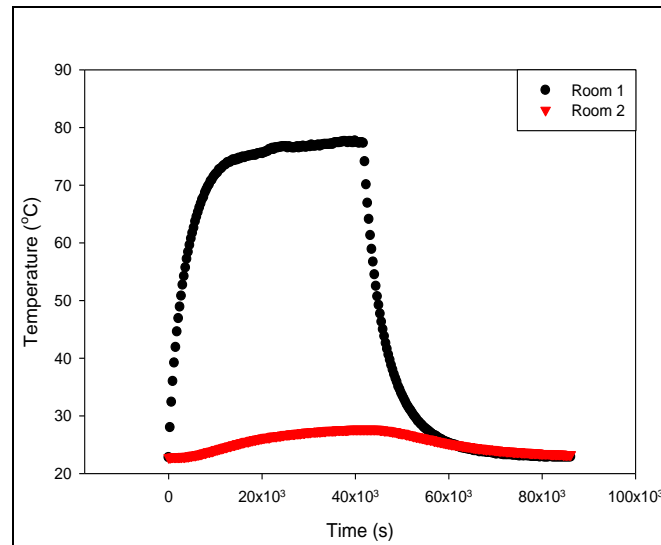
ภาพที่ ๒๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 4 phr ความหนา 0.1 cm



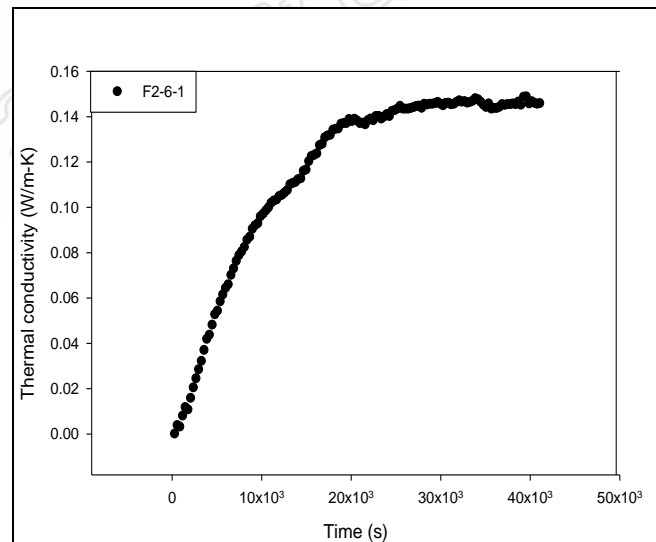
ภาพที่ ๒๒๙ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 4 phr ความหนา 0.3 cm



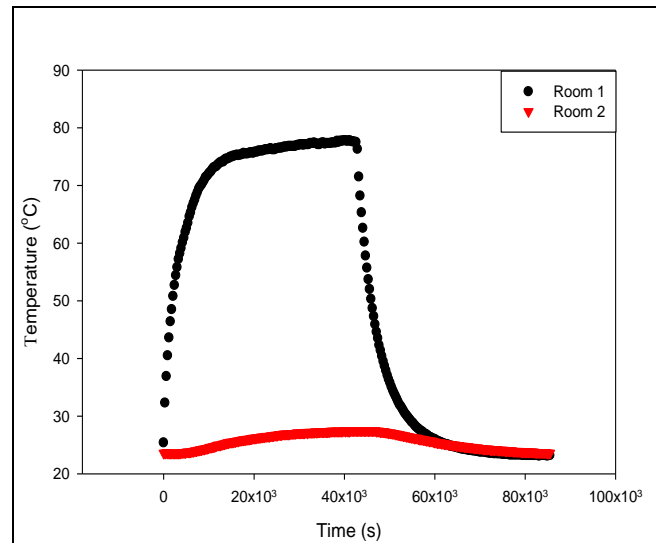
ภาพที่ ๒๓๐ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 4 phr ความหนา 0.3 cm



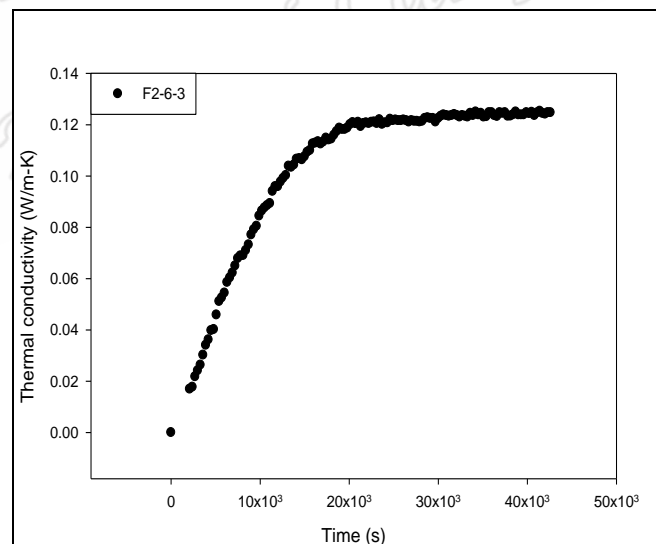
ภาพที่ ผ31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 6 phr ความหนา 0.1 cm



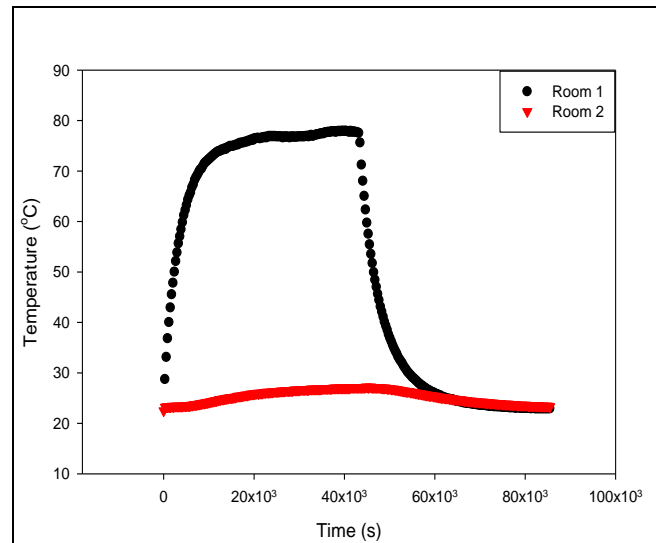
ภาพที่ ผ32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 6 phr ความหนา 0.1 cm



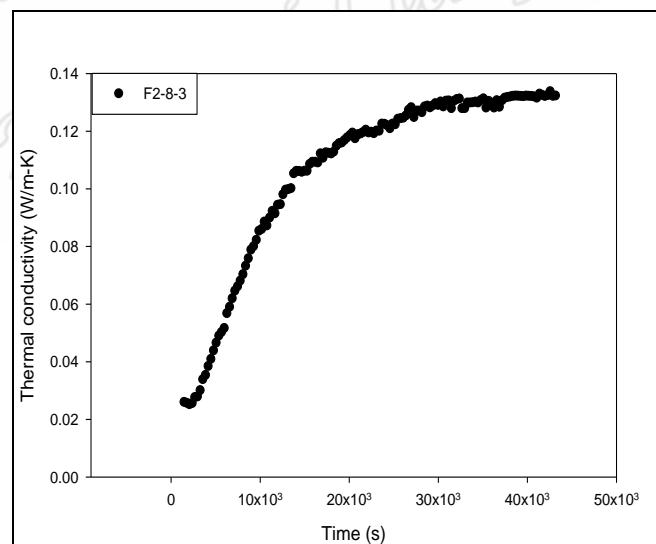
ภาพที่ ผ33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 6 phr ความหนา 0.3 cm



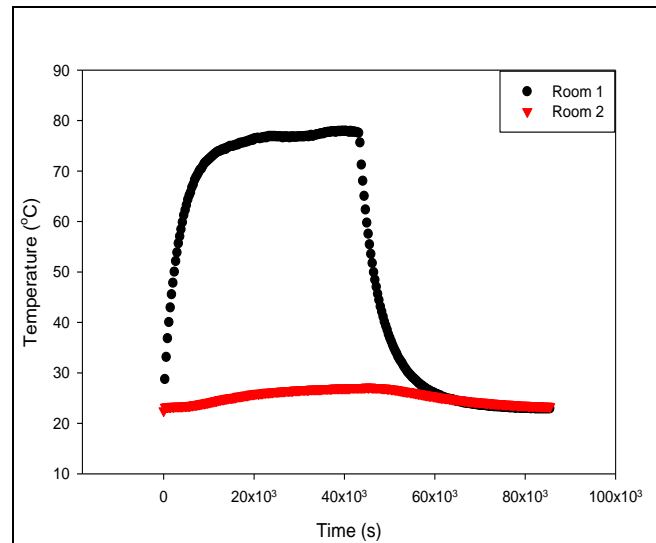
ภาพที่ ผ34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 6 phr ความหนา 0.3 cm



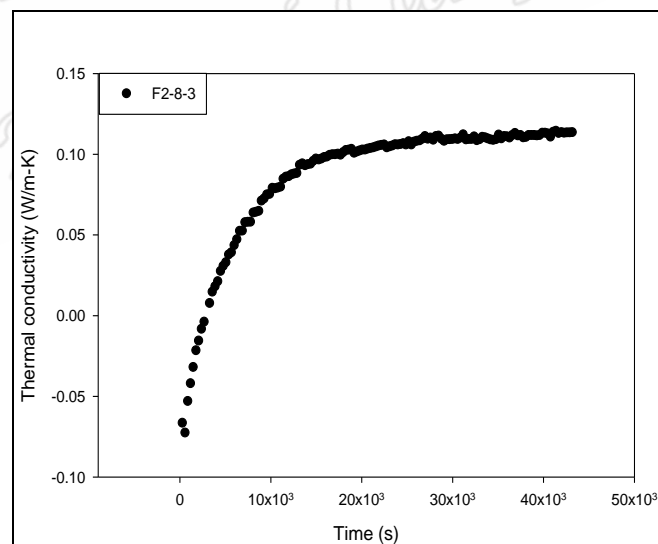
ภาพที่ ผ35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 8 phr ความหนา 0.1 cm



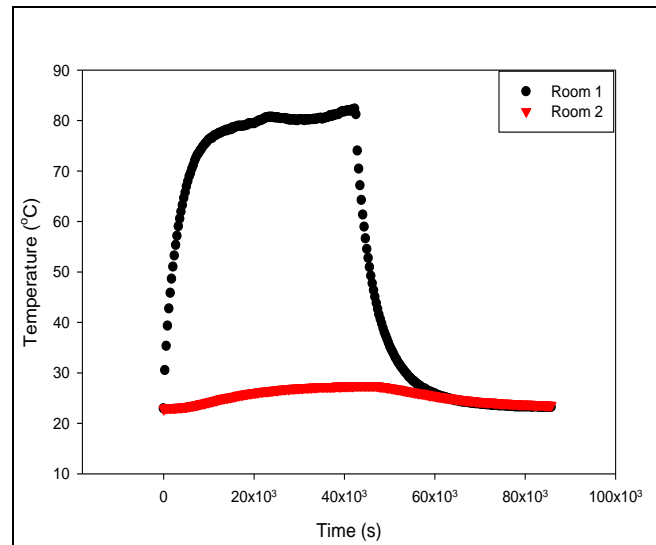
ภาพที่ ผ36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 8 phr ความหนา 0.1 cm



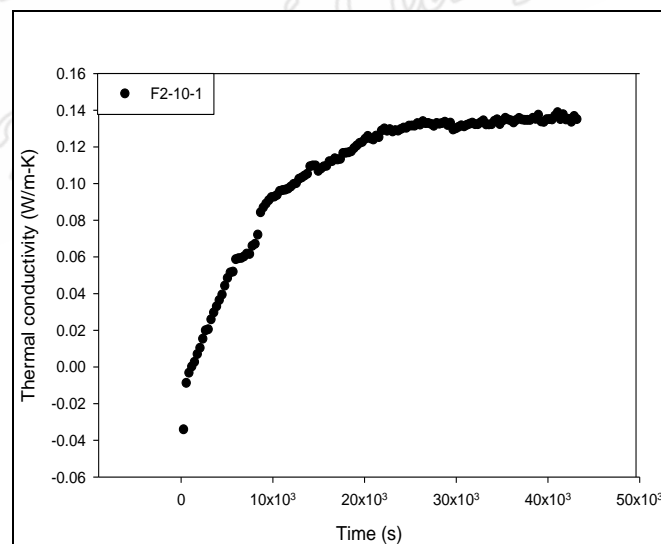
ภาพที่ ๓37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm



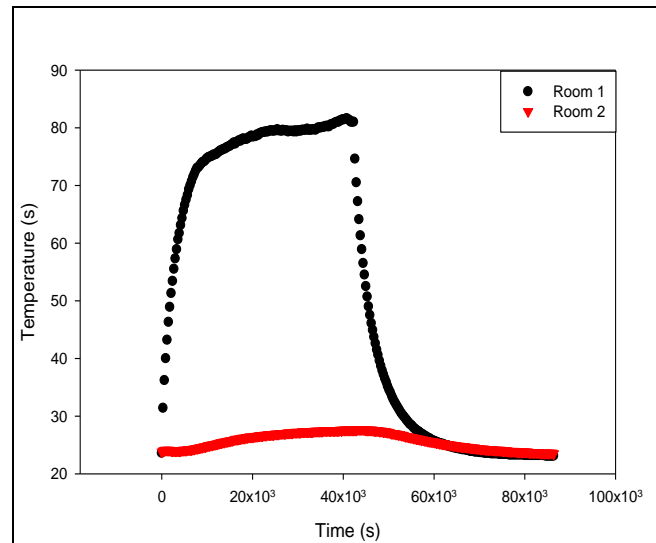
ภาพที่ ๓38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm



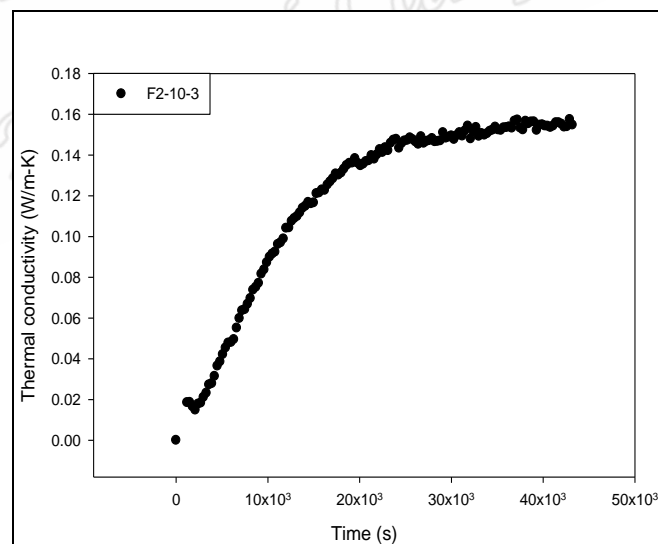
ภาพที่ ๓๓๙ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.1 cm



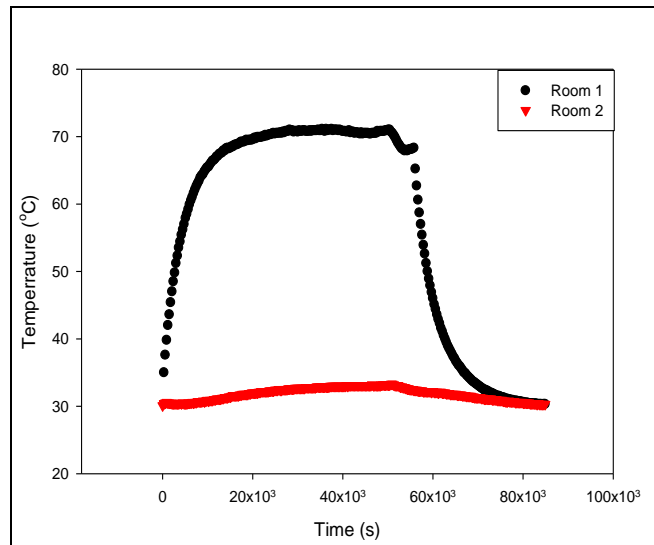
ภาพที่ ๓๔๐ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.1 cm



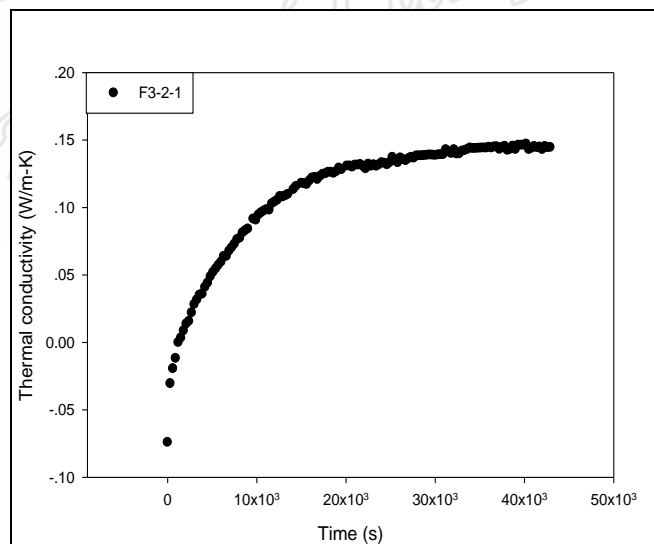
ภาพที่ ๔๑1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.3 cm



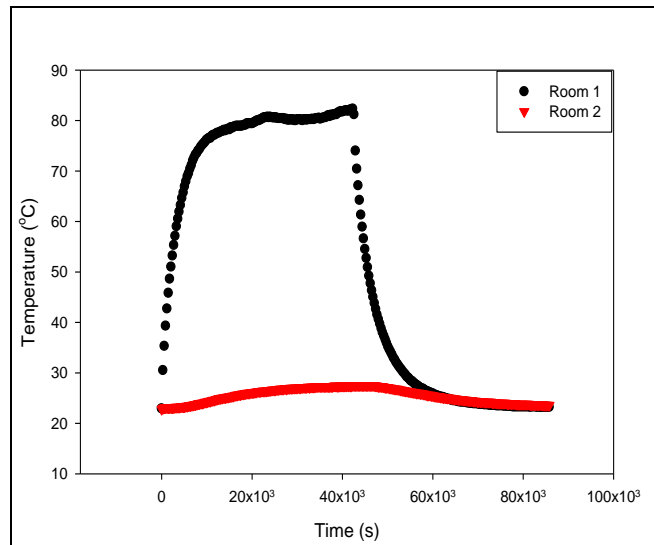
ภาพที่ ๔๒2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 80:20 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.3 cm



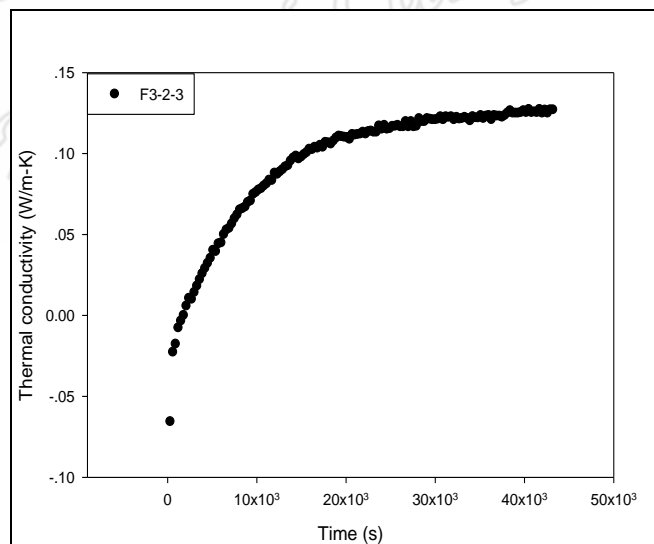
ภาพที่ ๔๓ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 2 phr ความหนา 0.1 cm



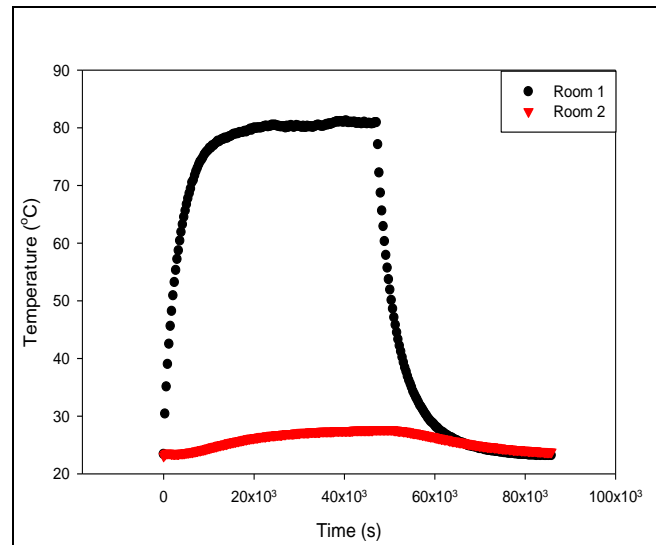
ภาพที่ ๔๔ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 2 phr ความหนา 0.1 cm



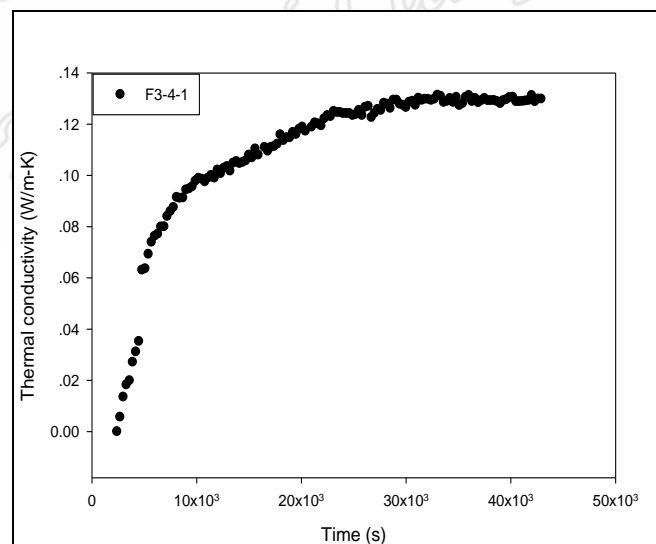
ภาพที่ ๗45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 2 phr ความหนา 0.3 cm



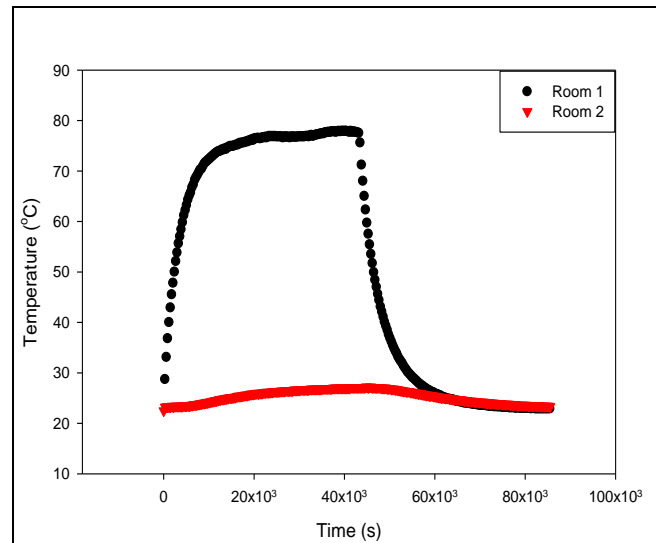
ภาพที่ ๗46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 2 phr ความหนา 0.3 cm



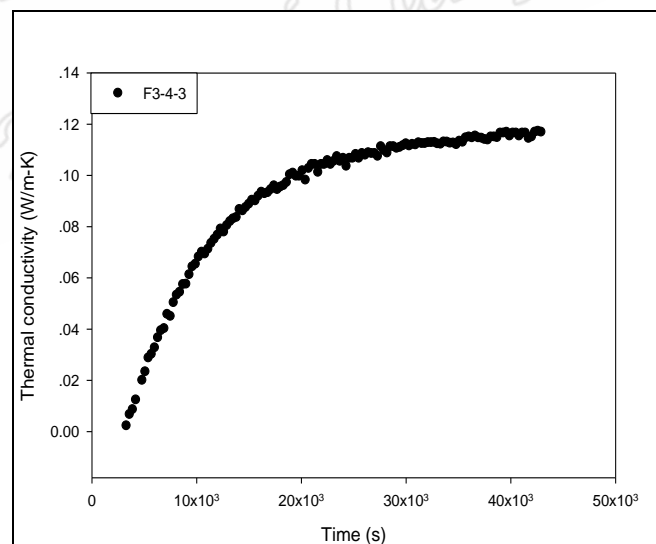
ภาพที่ ๔๗7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 4 phr ความหนา 0.1 cm



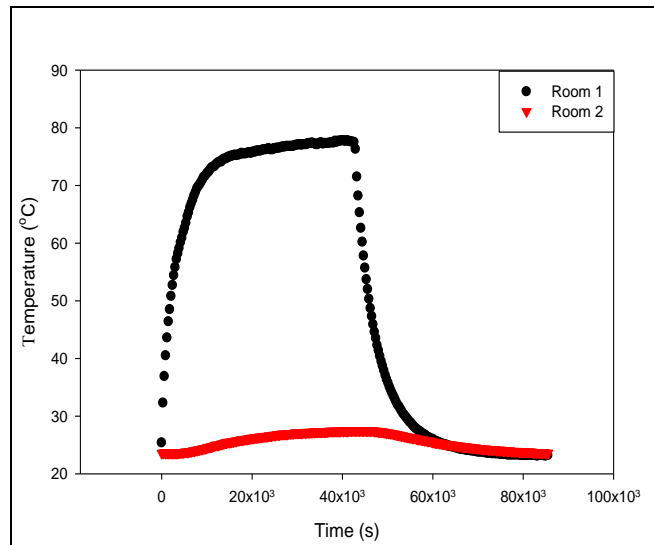
ภาพที่ ๔๔๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 4 phr ความหนา 0.1 cm



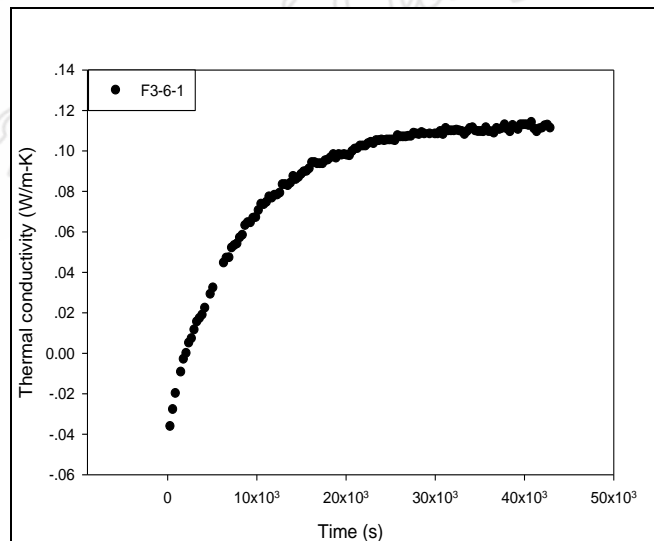
ภาพที่ ๔๔๙ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 4 phr ความหนา 0.3 cm



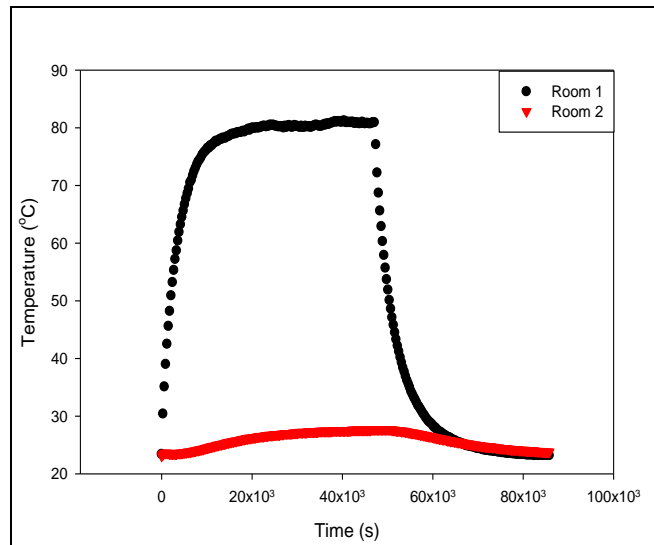
ภาพที่ ๕๕๐ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 4 phr ความหนา 0.3 cm



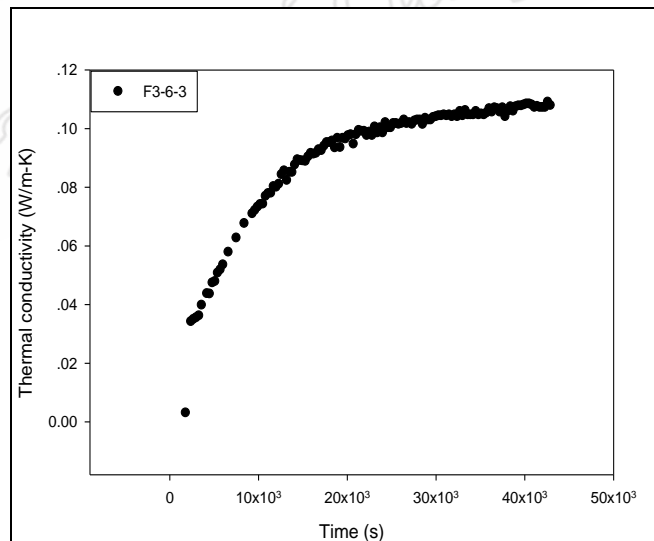
ภาพที่ ๕๕๑ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 6 phr ความหนา 0.1 cm



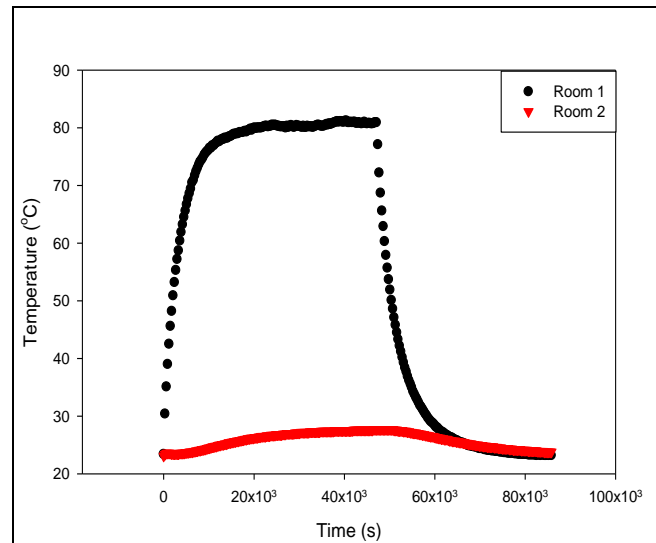
ภาพที่ ๕๕๒ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 6 phr ความหนา 0.1 cm



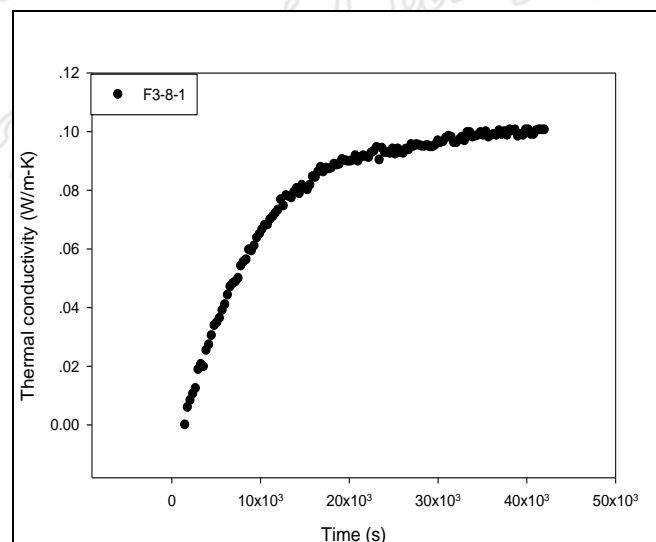
ภาพที่ ๕๕๓ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 6 phr ขึ้นรูปที่ความหนา 0.3 cm



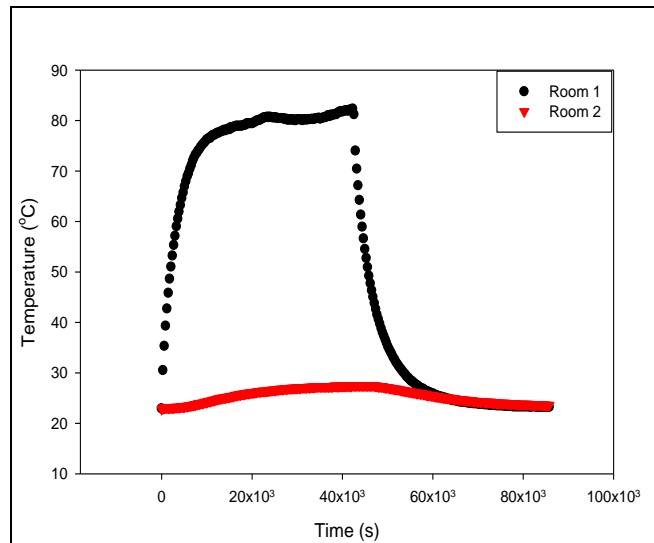
ภาพที่ ๕๕๔ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 6 phr ความหนา 0.3 cm



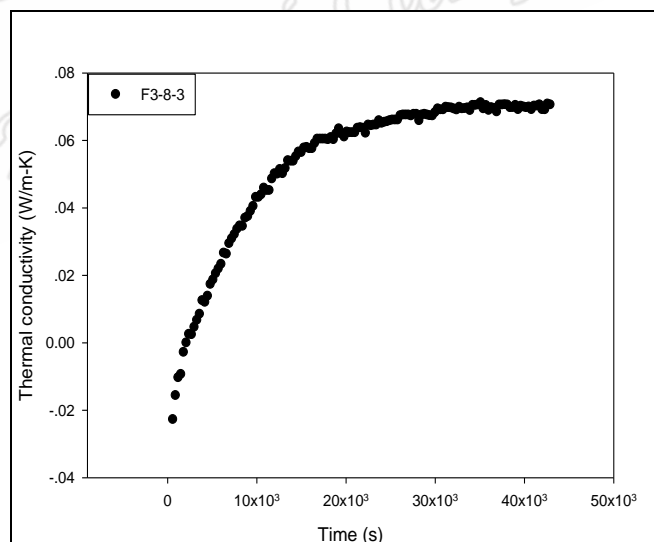
ภาพที่ ๕55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 8 phr ความหนา 0.1 cm



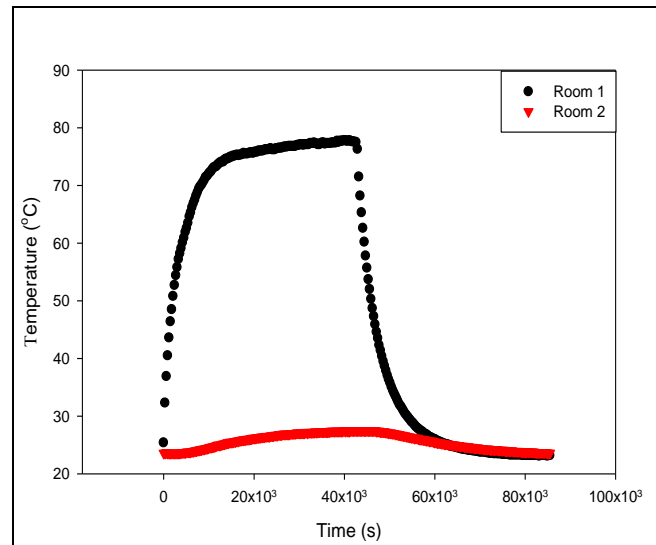
ภาพที่ ๕56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 8 phr ขึ้นรูปที่ความหนา 0.1 cm



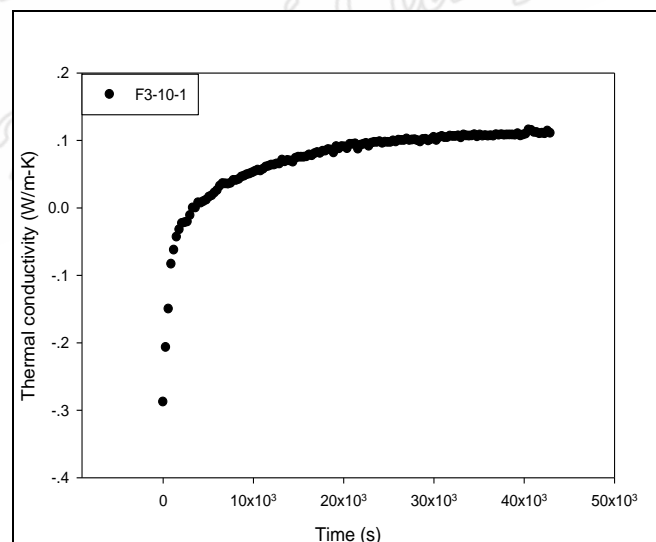
ภาพที่ ๕๕๗ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm



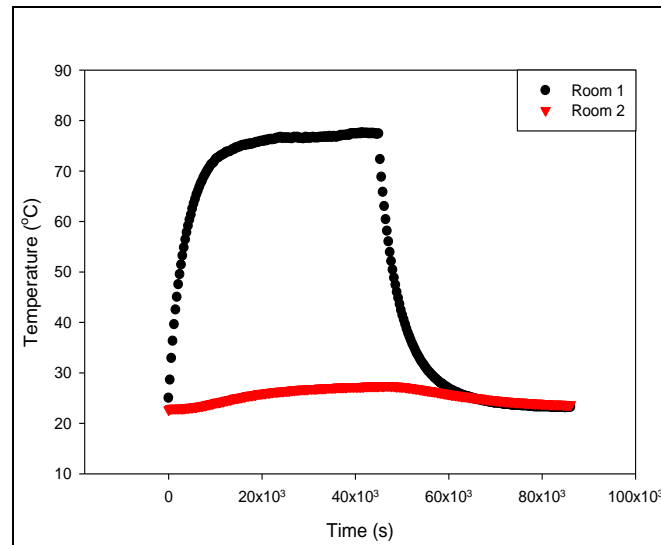
ภาพที่ ๕๕๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 8 phr ความหนา 0.3 cm



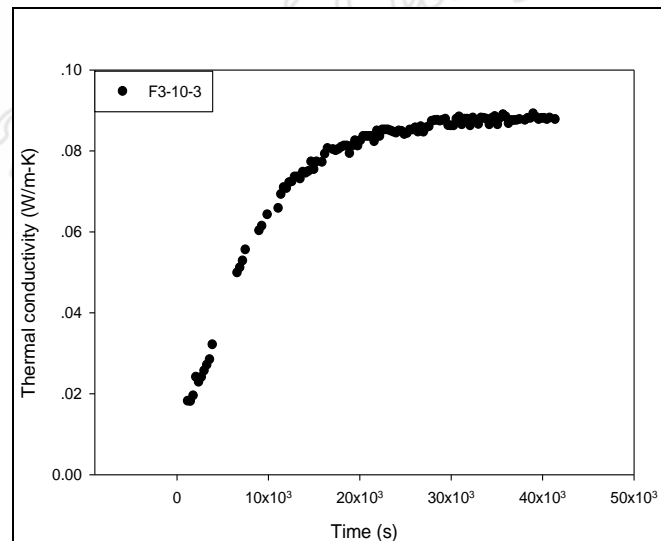
ภาพที่ ๕๕๙ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.1 cm



ภาพที่ ๕๕๐ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีเคลม 60:40 และผงเส้นใยจากลำตันกล้วย 10 phr ความหนา 0.1 cm



ภาพที่ ๖๖๑ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างห้องกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีไซเคิล 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 10 phr ความหนา 0.3 cm



ภาพที่ ๖๖๒ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาในการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางธรรมชาติผสมยางรีไซเคิล 60:40 และผงเส้นใยจากลำต้นกล้วย 10 phr ความหนา 0.3 cm

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นางสาวเนรัญชรา ศรีคะรัน

รหัสนักศึกษา 5820320802

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2557

ทุนการศึกษา

1. ทุนอุดหนุนวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ทุนสนับสนุนค่าธรรมเนียมการศึกษา จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

เนรัญชรา ศรีคะรัน ธรณิศ นาวารัตน์ และสมบัติ พุทธจักร. 2559. การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมหยวกกล้วย. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. (1 มกราคม – มิถุนายน 2559), 75-83.

เนรัญชรา ศรีคะรัน ธรณิศ นาวารัตน์ และสมบัติ พุทธจักร. 2560. สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมยางรีเคลมและลำต้นกล้วย. การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 9. ห้องประชุม 3 อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, นครศรีธรรมราช, 30-31 มีนาคม 2560

เนรัญชรา ศรีคะรัน ธรณิศ นาวารัตน์ และสมบัติ พุทธจักร. 2560. การใช้ยางพาราผสมยางรีเคลมและต้นกล้วยเพื่อประยุกต์ใช้วัสดุทดแทนฉนวนกันความร้อนในงานก่อสร้าง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 9. อาคารเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต, ภูเก็ต, 31 พฤษภาคม 2560, 786-793.