

การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติ ผสมหยวกกล้วย Thermal Conductivity of Concrete Blocks Inserted Natural-Rubber Sheet Mixed with Banana Stalk

เนรุณชรา ศรีคะรัน¹ ธรณิศ นาวารัตน์² และสมบัติ พุทธจักร^{3*}

Nerunchara Srikarun¹, Thoranit Navarat² and Sombat Puttajukr^{3*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อประยุกต์การใช้สมบัติฉนวนความร้อนของยางธรรมชาติร่วมกับหยวกกล้วย การศึกษาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ได้แก่วิจัยการนำความร้อนของยางธรรมชาติผสมหยวกกล้วยในปริมาณ ช่วง 0-10 phr ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมหยวกกล้วย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุดของแผ่นยางธรรมชาติผสมหยวกกล้วยที่มีความหนา 1 และ 3mm คือ 0.0031 และ 0.0120 W/m-K ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุดของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติ ผสมหยวกกล้วยที่มีความหนา 1 และ 3 mm คือ 0.0023 และ 0.007 W/m-K ตามลำดับ

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อก การนำความร้อน หยวกกล้วย ยางธรรมชาติ

Abstract

The purpose of this research was to apply the thermal insulation properties of natural rubber sheet mixed with banana stalk. The study was set up into two steps. The first step was to study the thermal conductivity of natural rubber sheet mixed with banana stalk ranging of 0, 2, 4, 6, 8 and 10 phr. The second step was to study the thermal conductivity of concrete blocks inserted with the natural rubber sheet mixed banana stalk. It was found that the coefficient of thermal conductivity of natural rubber sheet mixed with banana stalk having the thickness of 1 and 3 mm were 0.0031 and 0.0120 W/ m-K, respectively. The coefficient of thermal conductivity of the concrete blocks inserted with natural rubber sheet mixed with banana stalk were 0.0023 and 0.0070 W/ m-K, respectively.

Keywords: Concrete Blocks, Thermal Conductivity, Banana Stalk, Natural Rubber

¹ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

² ผศ.ดร., ³ รศ.ดร., แผนกวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

* Corresponding author: e-mail: sombat.p@psu.ac.th

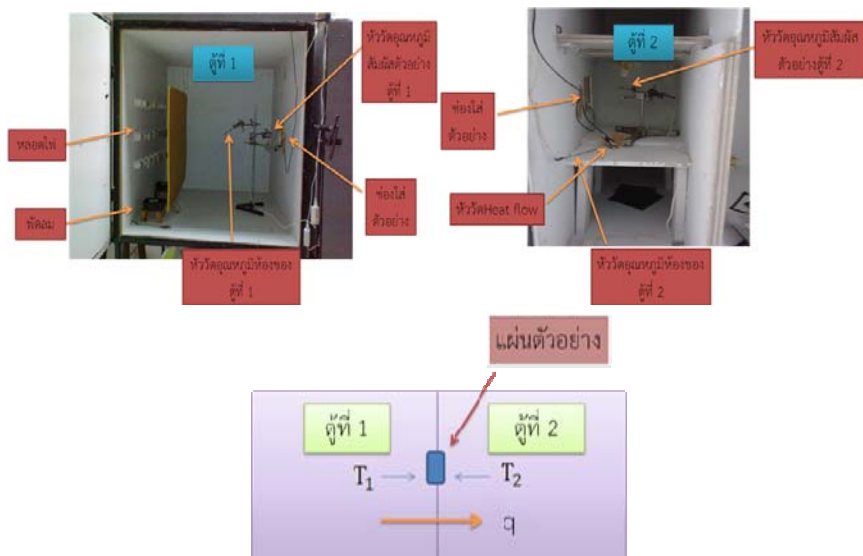
บทนำ

จากสภาวะโลกร้อนและปรากฏการณ์เรือนกระจก ที่เกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานอุตสาหกรรมและรถยนต์ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นการใช้นวัตกรรมความร้อนประสิทธิภาพสูงและราคาถูกผลิตจากวัสดุธรรมชาติเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการก่อสร้างส่วนประกอบของอาคารที่อยู่อาศัย จากปูนซีเมนต์หรืออิฐบล็อกที่นำมาก่อสร้างอาคารนั้นมีสมบัติฉนวนกันความร้อนยังไม่ดีพอ ดังนั้นจึงจำเป็นหาวัสดุใหม่ที่มีหลายกลไกในการดูดซับความร้อน [1] โดยใช้แผ่นยางธรรมชาติผสมหยวกกล้วยแทรกในคอนกรีตบล็อก อาศัยหลักการขยายตัวของโซยางเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นภายใต้หลักการโอโลยีซึ่งเป็นกลไกหนึ่งในการดูดซับความร้อน [2] ส่วนหยวกกล้วยเป็นโครงสร้างมีรูพรุนที่มีอากาศอยู่ภายในทำให้สมบัติการเป็นฉนวนความร้อนดียิ่งขึ้น

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย ยางธรรมชาติชนิดยางแท่งเกรด STR 5L นำมาบดให้โซยางสั้นลงแล้วผสมกับสารเคมีต่อไปนึ่ง ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการเริ่มต้นปฏิกิริยาใช้ร่วมกับสารกระตุ้นคือกรดสเตียริก (Stearic acid) สารเร่งปฏิกิริยา คือ N-cyclohexyl-2-benzothiazyl Sulphenamide (CBS) สารแอนติออกซิแดนท์ คือ N-phenyl-N-1, 3-dimethylbutyl-phenylenediamine (6PPD) หยวกกล้วยเป็นสารตัวเติมสารตัวสุดท้ายที่ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างโซยางโดยโมเลกุลกำมะถัน (Sulphur) สูตรผสมที่พัฒนาสำหรับการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมี 6 สูตรแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 แทนด้วยสัญลักษณ์ F1 ถึง F6 อุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีความละเอียด 0.001 g เครื่องบดและผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) เครื่องหาเวลาสุกของยางแบบ Oscillating Disc Rheometer (ODR) เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนมีหัววัดอุณหภูมิ (Smart Temperature Sensor) 4 อัน และหัววัดความร้อนที่ส่งผ่าน (Smart Q Heat flow Sensor) ชุดเก็บข้อมูล (Data Logger) รุ่น EASY SENSE Advanced ผลิตโดยบริษัท DATA HARVEST นำมาประกอบและสร้างตู้หุ้มฉนวนความร้อน 3 ชั้นจำนวน 2 ตู้ที่ประกบยึดติดกันได้พร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ในตู้ที่ 1 มีหลอดไฟเพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อน มีพัดลมเป็นตัวช่วยกระจายความร้อนให้สม่ำเสมอทั่วตู้ ระหว่างตู้ที่ 1 และตู้ที่ 2 มีช่องว่างขนาดจัตุรัส ($12 \times 12 \text{ cm}^2$) แสดงในภาพที่ 1 A แล้ววางแผ่นยางกันความร้อนไหลผ่านจากตู้ที่ 1 ไปตู้ที่ 2 มีหัววัดฟลักซ์ความร้อน ($q, \text{W/m}^2$) ที่ส่งผ่านติดกับแผ่นยางในตู้ที่ 2 มีหัววัดอุณหภูมิภายในตู้ทั้งสอง และหัววัดอุณหภูมิต่างที่ผิวสัมผัสแผ่นยาง (ΔT) และวัดความหนาเฉลี่ยของแผ่นยาง (ΔX) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามสมการ $q = k \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$ [3] เครื่องทดสอบความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic Densitymeter) รุ่น MD – 300S แสดงในภาพที่ 1 B ผลิตโดยบริษัท Alfa Mirage และใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น ชั่งมวลในอากาศ ชั่งมวลในน้ำ หาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบ

อิเล็กโทรนิคและวัดละเอียดได้ 0.001 g/cm^3 โดยการนำแผ่นยางขึ้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $4 \times 4 \text{ cm}^2$ แล้วหาความหนาแน่น



ภาพที่ 1 A ชุดทดสอบการนำความร้อน



ภาพที่ 1 B เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic Densitymeter)

ยางผสมแล้ว (ตามสูตรตารางที่ 1 (F1 – F6)) พักไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหาเวลาสุกของยาง (เวลาที่จะใช้อบยางในเตาพิมพ์) ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบแกว่ง (ODR) แล้วนำยางดังกล่าวไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเบ้าที่อุณหภูมิและใช้เวลาตามที่ได้จากเครื่อง ODR ได้แผ่นยางผสมขึ้นรูปแล้วมีรูปร่างจตุรัสขนาด $14 \times 14 \text{ cm}^2$ ที่ความหนา 1 mm และ 3 mm ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนโดยขั้นตอนที่ 1 นำขึ้นตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมที่ได้จาก

การเตรียมน้ำมาปิดกันระหว่างตู้ทั้งสอง เพิ่มอุณหภูมิตู้ที่ 1 จาก 25 องศาเซลเซียส ถึง 75 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง อุณหภูมิตู้ที่ 2 เพิ่มตามเล็กน้อย แล้วหยุดให้ความร้อน การวัดอุณหภูมิและฟลักความร้อนดำเนินไปอีก 12 ชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งสองเท่ากันคล้ายกับที่จุดเริ่มต้น จากข้อมูลที่บันทึกได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ขั้นตอนที่ 2 นำแผ่นยางผสมดังกล่าวที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมที่ได้จากการเตรียมนั้นแทรกระหว่างกลางของคอนกรีตบล็อกที่มี ส่วนผสมแสดงในตาราง 2 ที่มีแม่แบบในการหล่อขนาด $16 \times 16 \times 2 \text{ cm}^3$ เทส่วนผสมลงในแม่แบบครึ่งหนึ่ง วางแผ่นยาง แล้วเทส่วนผสมที่เหลือลงไป ทำการกดอัดโดยใช้เกรียงฉาบปูนเพื่อให้ไหลเต็มแม่แบบ ปลดทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง รอให้ คอนกรีตบล็อกแข็งตัวแล้วนำไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางและสารเคมีต่างในรูปจำนวน phr (part per hundred of rubber)

องค์ประกอบ	F1	F2	F3	F4	F5	F6
NR	100	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	2	2	2	2	2	2
CBS	1	1	1	1	1	1
6PPD	1	1	1	1	1	1
Banana stalk	0	2	4	6	8	10
Sulphur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายละเอียดของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย
อุตสาหกรรมจำกัด และทรายละเอียดจากแม่น้ำปัตตานี

สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อก (โดยปริมาตร)		
Cement	Sand	Water
3	5	1

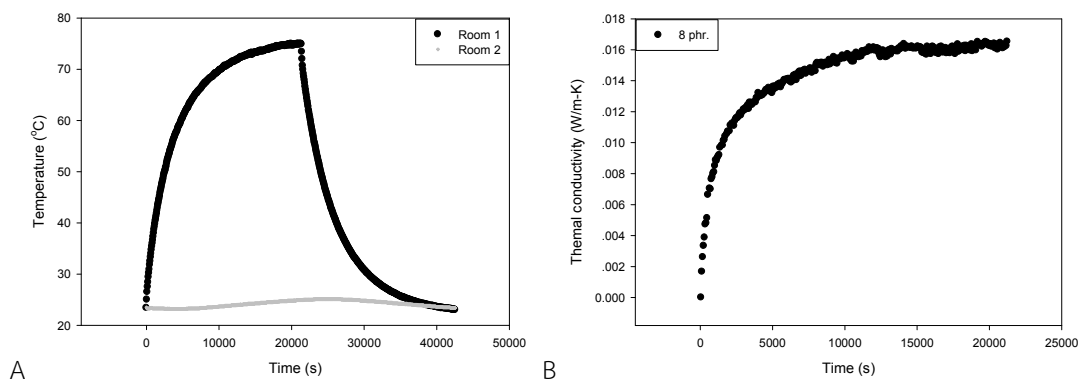
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองค่าความหนาแน่นของแผ่นยางผสมหอยกัลลัวที่แปรค่าตั้งแต่ 0- 10 phr ที่มีความหนาแผ่นยาง มากกว่าจะมีความหนาแน่นมากกว่าดังแสดงในตารางที่ 3 อันเป็นผลมาจากการขึ้นรูปจากเครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด เมื่อแม่พิมพ์ของยางหนา 3 mm ต้องใช้ความดันมากขึ้น จำนวนครั้งการกดก็มากขึ้น ทำให้อากาศบางส่วนออกมา จากปริมาตรอิสระในแผ่นยางผสมดังกล่าว ทำให้ความหนาแน่นขึ้นกับความหนาของแผ่นยาง แลทำให้การนำความร้อนขึ้น กับความหนาอีกเช่นกันดังแสดงในตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของแต่ละสูตร นำข้อมูลผลการทดลอง

มาเขียนกราฟอุณหภูมิคู่มือที่ 1 และคู่มือที่ 2 กับเวลา ดังภาพที่ 2A พบว่ากราฟอุณหภูมิของคู่มือทดสอบการนำความร้อน คู่มือที่ 1 และ คู่มือที่ 2 นั้นที่เวลาเริ่มต้นอุณหภูมิคู่มือทั้งสองเท่ากันอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อน เนื่องจากระหว่างคู่มือทั้งสอง มีช่องว่างที่อากาศถ่ายเทระหว่างกันได้ หัววัดอุณหภูมิทั้งสองคู่มือได้เท่ากันที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งยืนยันความแม่นยำของหัววัดอุณหภูมิ เมื่อนำแผ่นยางมาปิดกัน แล้วให้ความร้อนโดยเปิดหลอดไฟฟ้า อุณหภูมิคู่มือที่ 1 เพิ่มขึ้นจาก 25 องศาเซลเซียส ถึง 75 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง แต่อุณหภูมิคู่มือที่ 2 เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 28 องศาเซลเซียส (ขึ้นกับยางสูตรผสม) ส่วนกราฟค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาดังภาพที่ 2B ค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกแล้วเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แล้วเข้าสู่ค่าคงที่ กราฟมีลักษณะทำนองเดียวกันทุกสูตรที่ผสม

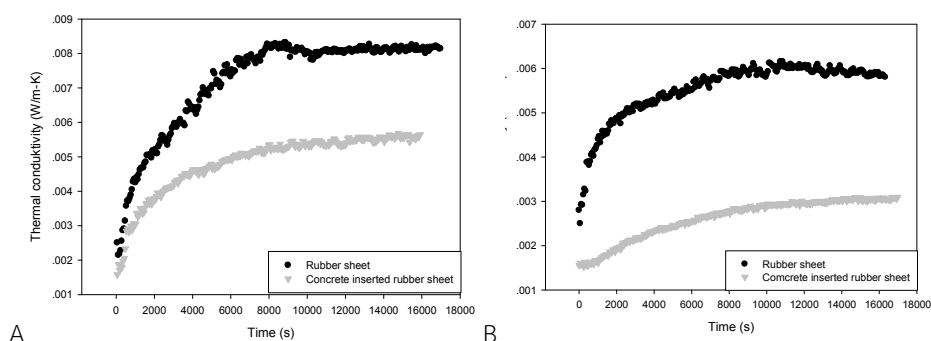
ตารางที่ 3 ความหนาแน่นของแผ่นยางผสมหอยกกล้วย (ความหนา 1 mm และ 3 mm) แปรตามปริมาณหอยกกล้วย

ปริมาณหอยกกล้วยที่ผสม(phr)	Density (g/cm ³)	
	Thickness 1 mm	Thickness 3 mm
0	0.935	0.941
2	0.928	0.936
4	0.936	0.946
6	0.939	0.944
8	0.943	0.951
10	0.950	0.959

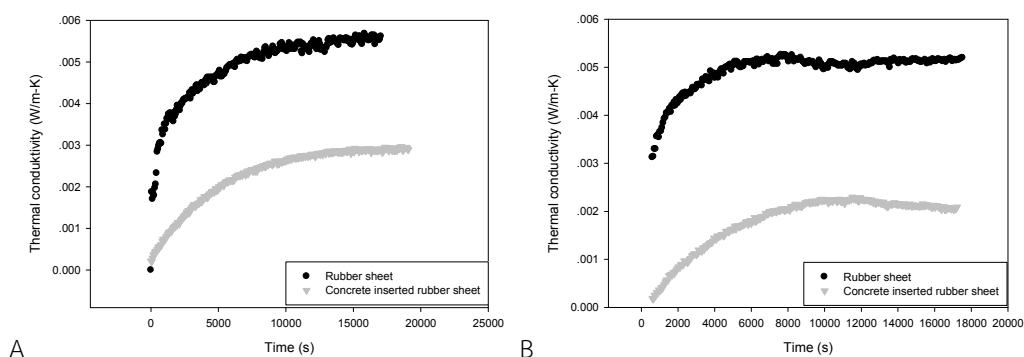


ภาพที่ 2 (A) กราฟอุณหภูมิของคู่มือทดสอบการนำความร้อน คู่มือที่ 1 และ คู่มือที่ 2 และ
(B) กราฟสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางผสมสูตร F5 (ผสมหอยกกล้วย 8 phr หนา 3 mm)

นอกจากนี้เวลาที่อุณหภูมิสูงสุดของตู้ที่ 2 ซ้ำกว่าเวลาที่อุณหภูมิสูงสุดของตู้ที่ 1 แสดงดังภาพที่ 2 (A) อันเป็นผลมาจากการขยับตัวของโมเลกุลยางที่มีเวลาหน่วง [4] ซึ่งเป็นไปตามหลักการรีโอโลยี การขยับตัวของโมเลกุลระหว่างจุดพันกันของโซ่โมเลกุลยาง (Molecular Weight Between Entanglements, Me) [4] เป็นกลไกหนึ่งที่สลายความร้อน นอกจากนี้ภายในโครงสร้างของหยวกกล้วยมีรูพรุนที่มีอากาศอยู่ และเมื่อผสมหยวกกล้วยเข้าไปในสัดส่วนที่มากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนก็ลดลงตามดังตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางความหนา 3 mm จะมีค่ามากกว่าคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางความหนา 1 mm ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากความหนาแน่นต่างกันของแผ่นยางหนา 1 mm และ 3 mm

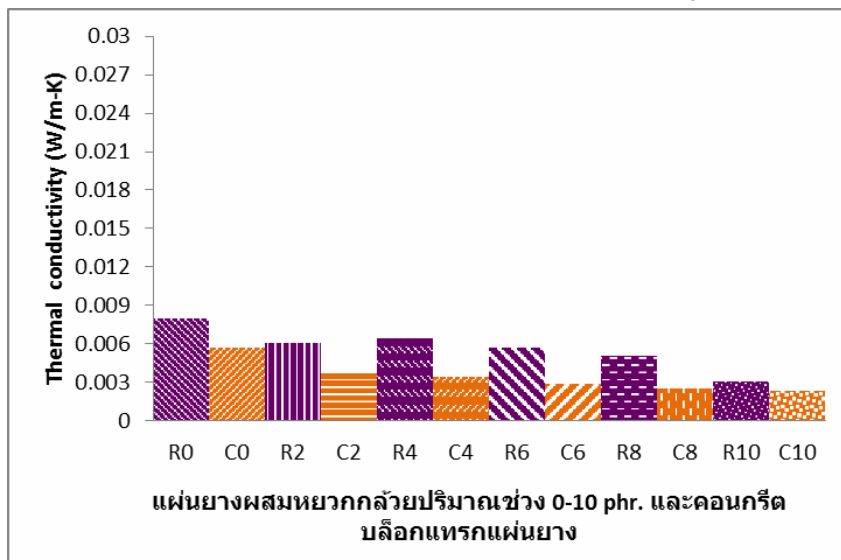


ภาพที่ 3 (A) กราฟเปรียบเทียบกราฟสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางผสมสูตร F1 (หนา 1 mm) และของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยาง F1 และ (B) กราฟเปรียบเทียบกราฟสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางผสมสูตร F2 (หนา 1 mm) และของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยาง F2

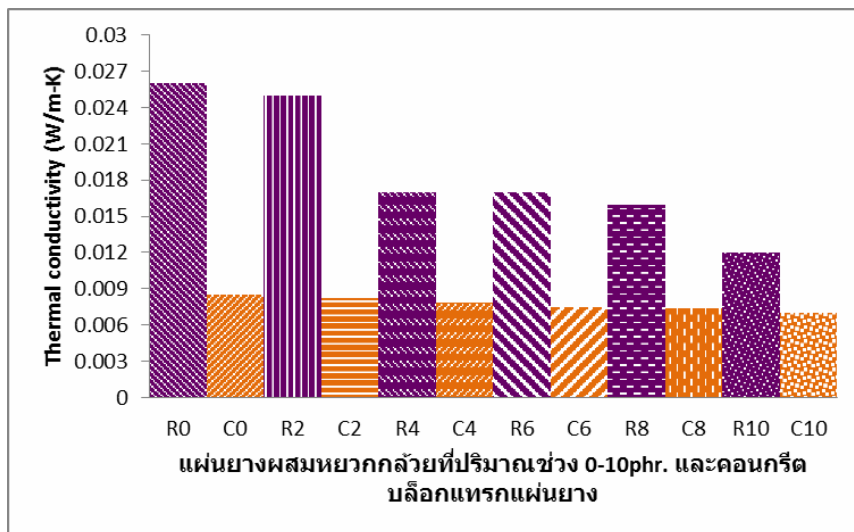


ภาพที่ 4 (A) กราฟเปรียบเทียบกราฟสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางผสมสูตร F4 (หนา 1 mm) และของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยาง F4 และ (B) กราฟเปรียบเทียบกราฟสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางผสมสูตร F6 (หนา 1 mm) และของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยาง F6

กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางผสมและของคอนกรีตบล็อกที่มีแผ่นยางแทรก พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีแผ่นยางแทรก ลดลงอย่างชัดเจนแสดงดังภาพที่ 3-4 การลดดังกล่าวของยางผสมทุกสูตร แสดงด้วยกราฟแท่งในภาพที่ 5-6 โดย R0 คือแผ่นยางผสมหยาบกล้วย 0 phr และคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นยางนี้แทนด้วย C0 ทำนองเดียวกันสำหรับยางผสมสูตรอื่น ๆ เช่น R6, C6 เมื่อแผ่นยางผสมหยาบกล้วย 6 phr ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงหรืออีกความหมายหนึ่งคือความเป็นฉนวนความร้อนมากขึ้นตาม อันเป็นผลจากการเคลื่อนที่โมเลกุลอากาศที่ขังอยู่ภายในหยาบกล้วยซึ่งเป็นกลไกสลายความร้อนที่ส่งผ่านเข้าไปในแผ่นยางและมีความเป็นฉนวนความร้อนของคอนกรีตบล็อกร่วมอยู่ด้วย



ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ระหว่างแผ่นยางธรรมชาติผสมหยาบกล้วย ในปริมาณช่วง 0-10 phr กับคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นยางความหนา 1 mm



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ระหว่างแผ่นยางธรรมชาติผสมหยวกกล้วย
ในปริมาณช่วง 0-10 phr กับคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นยางความหนา 3 mm

บทสรุป

สมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมหยวกกล้วยปริมาณต่าง ๆ โดยวัดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนดังตาราง 4 คอนกรีตบล็อกที่แทรกแผ่นยางหนา 1 mm ผสมหยวกกล้วย 10 phr ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยสุด และเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตบล็อกที่ไม่แทรกแผ่นยาง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงร้อยละ คือ $(0.9203-0.0023)/0.9203 = 0.9975$ หรือ 99.75 % ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับข้อมูลทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ น้ำแข็ง คือ 2.2 กระดาษคือ 0.05 ไม้คือ 0.1 – 0.35, ของเหลว (อโลหะ) คือ 0.2-2.0 ของแข็ง (อโลหะ) คือ 0.02-20 ฉนวนคือ 0.02-0.40 และก๊าซคือ 0.002-0.2 W/m-K ตามลำดับ [5] ความหนาแน่นแผ่นยางขึ้นกับความหนาของแผ่นยางจึงมีผลสืบเนื่องทำให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนขึ้นกับความหนาแผ่นยางเช่นกัน มีผลสืบเนื่องจากเงื่อนไขต่างกันระหว่างชั้นรูปแผ่นยางที่กล่าวมาก่อนนี้ จากตารางที่ 4 ยังพบว่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงเมื่อปริมาณหยวกกล้วยเพิ่มขึ้นเป็นผลโดยตรงจากความเป็นฉนวนความร้อนของหยวกกล้วย

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่าเฉลี่ย) ของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติผสมหยากกัลวยปริมาณ
ต่างๆ และของแผ่นคอนกรีตบล็อกไม่แทรกแผ่นยาง

ปริมาณหยาวกัลวยที่ผสมในแผ่นยาง (phr)	Thermal Conductivity (W/m-K)	
	Thickness 1 mm	Thickness 3 mm
0	0.0057	0.0085
2	0.0037	0.0082
4	0.0034	0.0079
6	0.0029	0.0075
8	0.0025	0.0074
10	0.0023	0.0070
แผ่นคอนกรีตบล็อกไม่แทรกแผ่นยาง	0.9203 (ที่ความหนา 20 mm)	

เอกสารอ้างอิง

- [1] Benazzouk, A., Douzane, O., Mezreb, K., Laidoudi, B. and Queneudec, M. (2006). Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modeling. Laboratoire des Technologies Innovantes (EA 3899), Université de Picardie Jules Verne, IUT Département Génie Civil, Avenue des Facultés, Amiens. pp. 573–579.
- [2] สมบัติ พุทธิจักร. (2554). **รีโอโลยีขั้นสูงและการประยุกต์**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- [3] นพดล ผลไชย. (2551). **ผลของโพลีเอทิลีนและดีครีเมนต์เฟดเตอร์ต่อสมบัติเชิงความร้อนของผนังยาง**. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- [4] Asan, H. (1998). **Effects of Wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor**. Department of Mechanical Engineering, Karadeniz Technical University. Trabzon. 299-305.
- [5] บทที่ 1 กลไกของการถ่ายเทความร้อน (Mechanism of heat transfer). สืบค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2558, จาก <https://ajutarut.files.wordpress.com/2012/08/e0b89ae0b897e0b897e0b8b5e0b988-1-mechanism-of-heat-transfer.pdf>.