

## การคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมสำหรับหลังคาคอนกรีตที่ติดตั้ง ฉนวนยางฟองน้ำเซลล์ปิดจากยางธรรมชาติ STR 20

### Calculation of Overall Heat Transfer for the Concrete Roof Installing Closed Cell Sponge Rubber Insulation from Natural Rubber STR 20

ธีระทัศน์ โสภากิติบุรุษ

Teeratat Sopakitiboon

นักวิจัยอิสระ

Independent Researcher

Email: steeratat@gmail.com

Received: March 07, 2020; Revised: May 01, 2020; Accepted: May 15, 2020

#### บทคัดย่อ

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของยางฟองน้ำเซลล์ปิดจากยางธรรมชาติชนิด STR 20 เพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาคอนกรีต โดยการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานความร้อนรวมและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) พบว่าหลังคาคอนกรีตที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดนี้มีค่าความต้านทานความร้อนรวม ( $R_T$ ) สูงขึ้น  $1.083 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  (+ 30.34%) และยังส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ลดลง  $2.44 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (- 23.28%) และผลจากการวิจัยนี้ยังสร้างแนวคิดในการนำฉนวนกันความร้อนชนิดนี้ไปติดตั้งกับแผ่นสะท้อนความร้อน เพื่อให้ค่าการนำความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารต่ำลง

**คำสำคัญ :** ฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาคอนกรีต, ยางธรรมชาติชนิด STR 20, ค่าการต้านทานความร้อนรวม, ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

#### Abstract

This research is calculation of overall thermal transfer of closed cell sponge rubber from natural rubber STR 20 for use as insulation underside installing concrete roof with mathematical models calculating the overall thermal conductivity and the overall heat transfer coefficient to be the data for calculation overall heat transfer of the roof building (RTTV). The result of this research was found that the concrete roof with this type of insulation had the overall thermal resistance ( $R_T$ ) increased  $1.083 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  (+ 30.34%) and also caused the overall heat transfer coefficient (U) to decrease  $2.44 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (- 23.28%) and the result of this research also creates the idea that insulation will be rolled onto the reflective foil to reduce the heat conductivity to enter the building.

**Keywords :** Insulation under concrete, Natural Rubber STR 20, Total heat resistance, Total heat transfer coefficient

## 1. บทนำ

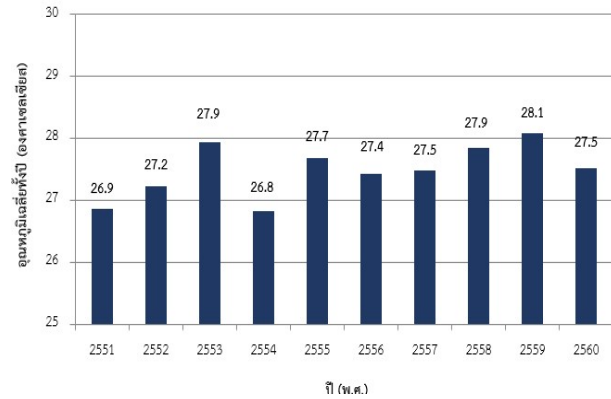
เกษตรกรรม เป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งของประเทศไทย อุตสาหกรรมยางพาราเป็นสินค้าทางการเกษตรประเภทหนึ่งที่ส่งผลด้านเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากมีปริมาณการผลิตสูง มีการส่งออกต่างประเทศเป็นจำนวนมาก แต่กลับประสบปัญหาราคาคตกต่ำ สาเหตุหนึ่งเกิดจากการไม่มีการพัฒนาเพื่อสร้างให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์เน้นการส่งออกในรูปของวัตถุดิบ และปัจจุบันยางธรรมชาติประสบปัญหาราคาคผันผวน [1] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ราคายางประจำปี 2562 [1]

เดือน	ราคาท้องถิ่น (บาท)		ราคาประมูล ณ ตลาดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา (บาท)				FOB. (Bangkok)
	ยางแผ่น ดิบ	น้ำยางสด (ณ โรงงาน)	ยางแผ่น ดิบ	ยางแผ่น รมควัน ชั้น 3	น้ำยางสด		
มกราคม	41.49	39.14	43.11	45.81	0.00	50.46	
กุมภาพันธ์	42.41	41.73	43.85	46.28	0.00	50.78	
มีนาคม	46.67	50.16	48.59	52.51	0.00	55.80	
เมษายน	48.23	50.94	50.93	53.97	0.00	56.08	
พฤษภาคม	49.04	50.82	51.71	53.87	0.00	57.26	
มิถุนายน	53.35	52.00	55.77	58.54	0.00	62.81	
กรกฎาคม	47.40	46.57	48.68	50.34	0.00	56.14	
สิงหาคม	38.05	39.17	39.34	41.76	0.00	46.78	
กันยายน	38.19	39.71	39.58	41.72	0.00	46.69	
ตุลาคม	35.37	36.61	36.75	39.00	0.00	43.99	
พฤศจิกายน	36.94	38.07	38.54	40.44	37.71	45.75	
ธันวาคม	38.68	39.31	40.16	42.53	0.00	48.29	
ค่าเฉลี่ย	42.99	43.69	44.75	47.23	3.14	51.74	

แนวทางในการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืนแนวทางหนึ่งคือการเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ โดยเน้นการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด อุตสาหกรรมโยธาเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำผลิตภัณฑ์จากยางพารามาใช้งาน ประกอบกับอุณหภูมิของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [2] ดังรูปที่ 1 ทำให้มีโอกาสที่จะนำฉนวนกันความร้อนเข้าไปติดตั้งภายในอาคาร เช่น ผนัง หลังคา เป็นต้น ด้วยการสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นลักษณะยางพองน้ำหรือยางโฟม ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน โดนจากการใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดฟองอากาศ

อีกทั้งประเทศไทยยังมีนโยบายการอนุรักษ์พลังงานของอาคาร ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากยางธรรมชาตินี้จึงน่าจะมีโอกาสได้นำไปติดตั้งในอาคาร แต่ก่อนจะนำฉนวนกันความร้อนชนิดนี้ไปติดตั้งจริง จำเป็นต้องมีการคำนวณค่าต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานเสียก่อน เพื่อเป็นข้อมูลต่อไป



รูปที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี พ.ศ. 2551-2560 [2]

บทความนี้ผู้วิจัยมุ่งหมายที่จะคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการนำยางพองน้ำเซลล์ปิดจากยางธรรมชาติชนิด STR 20 ซึ่งเป็นการวิจัยต่อยอดจากวิจัยเรื่องการเตรียมยางพองน้ำชนิดเซลล์ปิดจากยางแท่งชนิด STR 20 เพื่อประยุกต์ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของ Teerat Sopakitiboon, et al. [3] ซึ่งสามารถขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนได้ความหนาที่ 7 cm. มาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาคอนกรีต ซึ่งเป็นหลังคาแบบหนึ่งที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่มีข้อจำกัด เนื่องจากฉนวนกันความร้อนจำเป็นต้องมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม เพราะการติดตั้งจะเป็นการใช้ Spindle Pin ยึดติดกับใต้หลังคา โดยทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนรวม ค่าความต้านทานความร้อนรวม และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) และเป็นแนวทางสำหรับการนำฉนวนกันความร้อนชนิดนี้ไปติดตั้งในลักษณะต่าง ๆ ของอาคารและเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อน คือสิ่งที่นำมาใช้เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง คุณสมบัติที่สำคัญของฉนวนกันความร้อนคือ จะต้องเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ค่าการต้านทานความร้อนสูง ไม่ดูดซึมน้ำ และจะต้องไม่เป็นวัสดุที่ลามไฟ โดยทั่วไปฉนวนที่มีขายในตลาดฉนวนกันความร้อนของประเทศไทยจะเป็นวัสดุประเภท Synthetic Rubber, Cellular Glass, Polyethylene และผลิตจาก Polyurethane สำหรับฉนวนยางธรรมชาติกันความร้อน หมายถึงฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากยางธรรมชาติ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นผนังเซลล์ปิดแบบยืดหยุ่นสูง (Elastic Closed Cell) ภายในจะประกอบไปด้วยเซลล์ขนาดเล็กปริมาณมากที่ชิดกัน ทำให้มีค่าการดูดซับความชื้นต่ำ และมีค่าการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี [4]

### 2.2 ค่าการนำความร้อน (k-Value)

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k-value) คือค่าการนำความร้อนของวัสดุ ซึ่งวัดผลจากค่าปริมาณ ความร้อนผ่านวัสดุจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง โดยที่อุณหภูมิทั้งสองด้านต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ซึ่งค่าการนำความร้อน (k) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 [5]

$$\dot{Q} = k \cdot (\Delta T / \Delta X) \quad \text{หน่วย W/m.K} \quad (1)$$

โดยที่ k = ค่าการนำความร้อน (W/m.K)

$$\dot{Q} = \text{ความร้อนที่ไหลผ่านต่อพื้นที่ผิวตัวอย่าง (W/m}^2\text{)}$$

$\Delta T$  = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัสดุทดสอบ (K)

$$\Delta X = \text{ความหนาของชิ้นทดสอบ (m.)}$$

### 2.3 ค่าความต้านทานความร้อน (R-Value)

ค่าความต้านทานความร้อน คือค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุในการป้องกันการไหลผ่านความร้อนของวัสดุ คำนวณได้จากสมการที่ 2 [6-7]

$$R = (\Delta X / k) \quad \text{หน่วย (m}^2\text{.K)/W} \quad (2)$$

โดยที่ R = ค่าความต้านทานความร้อน ((m<sup>2</sup>.K)/W)

$$\Delta X = \text{ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m.)}$$

$$k = \text{ค่าการนำความร้อน (W/m.K)}$$

กรณีหลังคาประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดค่าความต้านทานความร้อนรวมหรือค่า  $R_T$  (m<sup>2</sup>.K/W) คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$R_T = R_o + (\Delta X_1 / k_1) + R_a + \dots + (\Delta X_n / k_n) + R_i \quad (3)$$

โดยที่  $R_o$  = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร

$\Delta X_1, \dots, \Delta X_n$  = ความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นหลังคาอาคาร

$k_1, \dots, k_n$  = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นหลังคาอาคาร

$R_a$  = ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในอาคาร

$R_i$  = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร

ค่า  $R_o$  และ  $R_i$  โดยกำหนดไว้คือ ผิวของวัสดุโดยมากจะถือว่ามีการสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง และกรณีพื้นหลังคาทั่วไปให้ถือว่าค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ [6]

ชนิดของผิววัสดุที่ทำหลังคา	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ				ที่ผิวหลังคา ด้านนอก ที่มุมเอียงใด ๆ
	ที่ผิวหลังคาด้านใน ที่มุมเอียงต่าง ๆ กันจากแนวระนาบ				
	๐ องศา	๒๒.๕ องศา	๔๕ องศา	๖๐ องศา	
กรณีพื้นที่พื้นผิวหลังคามีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	๐.๑๖๒	๐.๑๔๘	๐.๑๓๓	๐.๑๒๖	๐.๐๕๕
กรณีพื้นที่พื้นผิวหลังคามีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	๐.๘๐๑	๐.๕๙๕	๐.๓๙๑	๐.๒๔๙	

### 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา คำนวณได้จากสมการที่ 4

$$U = (1 / R_T) \quad \text{หน่วย W/(m}^2\text{.K)} \quad (4)$$

### 2.5 หลังคาของอาคาร

หลังคาของอาคารโดยทั่วไปจำแนกได้ตามวัสดุที่ใช้ในการผลิตเช่น หลังคาเหล็กกรีดลอน หลังคากระเบื้อง เป็นต้น แต่ก็มีหลังคาอีกรูปแบบที่มักใช้ในการก่อสร้างอาคารคือ หลังคาคอนกรีต เช่น ดาดฟ้าของอาคาร เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปหลังคาของอาคารรูปแบบนี้ ส่วนของใต้อาคารจะ

เปลือยไม่มีการติดตั้งผ้าไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ซึ่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาคอนกรีตนี้ ฉนวนกันความร้อนจำเป็นต้องมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ และสามารถยึดติดได้ด้วยพุก (Spindle Pin) ที่มีลักษณะเฉพาะ โดยหลังคาคอนกรีตนี้จะมีค่าการนำความร้อนที่  $1.442 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  ที่ความหนา  $20 \text{ cm}$ . [8] หรือเท่ากับ  $2.0 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  [9]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Teerat Sopakitiboon, et al. [3] ได้ศึกษากระบวนการวัลคาไนเซชัน “Thermal Insulator Made from Solid Natural Rubber: Part 1 - Formulation of Rubber Compounding, Appropriate Forming Condition and Basic Properties” ทำการศึกษากระบวนการวัลคาไนเซชันที่เหมาะสมสำหรับการผลิตฉนวนกันความร้อนจากยางแท่งทั้งในระบบกัมมะถันและในระบบเปอร์ออกไซด์ ด้วยการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดพองอากาศโดยเฉลี่ย และสมบัติทางกล ได้แก่ การทนต่อแรงดึงและการต้านทานต่อแรงกดของยางพองน้ำที่ผลิตจากยางแท่ง พบว่าระบบเหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตฉนวนกันความร้อนจากยางแท่ง คือระบบเปอร์ออกไซด์ โดยเปรียบเทียบกับระบบกัมมะถัน ผ่านการทดสอบสมบัติทางกายภาพคือ ขนาดพองอากาศโดยเฉลี่ย และสมบัติทางกล ได้แก่ การทนต่อแรงดึงและการต้านทานต่อแรงกดของยางพองน้ำที่ผลิตจากยางแท่ง และยังพบว่าระบบเปอร์ออกไซด์แบบกึ่งประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตฉนวนกันความร้อนจากยางแท่ง

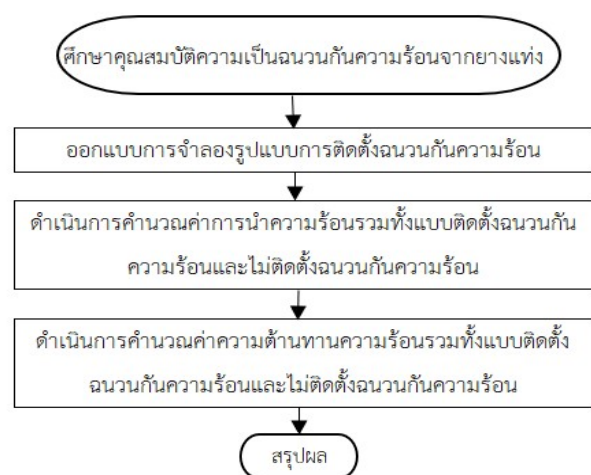
ธีระทัศน์ โสภากิติบุรณ [10] ได้ศึกษา การเตรียมยางพองน้ำชนิดเซลล์ปิดจากยางแท่งชนิด STR 20 เพื่อประยุกต์ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน ได้ทำการผสมยางคอมปาวด์ด้วยระบบกึ่งประสิทธิภาพ และนำมาศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารทำให้เกิดฟอง (Blowing Agents) ชนิด Supercell DPT ในปริมาณการใช้ที่ 3, 5 และ 8 ส่วนในยางร้อยละส่วน (phr) และสารหน่วงการติดไฟ (Flame Retardant) 2 ชนิดคือ อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์และคลอรีเนตพอลิเอทิลีน ที่ปริมาณ 10 และ 20 phr พบว่าที่ปริมาณการใช้สารทำให้เกิดฟอง 8 phr ส่งผลให้ขนาดพองอากาศในฉนวนยางพองน้ำมีขนาดที่โตมากที่สุด และความหนาของฉนวนกันความร้อนมีขนาด 7 cm. สำหรับ

สารหน่วงการติดไฟทั้งสองชนิดที่ปริมาณแตกต่างกัน ให้สมบัติการต้านทานต่อการลามไฟที่ไม่แตกต่างกัน โดยผ่านการทดสอบการลามไฟตามมาตรฐาน UL 94-HBF ทั้งหมด เมื่อนำฉนวนยางพองน้ำมาทำการทดสอบการดูดซึมน้ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งาน และค่าการนำความร้อน พบว่าฉนวนยางพองน้ำที่ใช้ปริมาณสารทำให้เกิดฟอง 8 phr และสารหน่วงการติดไฟชนิดอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ 10 phr จะให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดที่ 0.47 % สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่อุณหภูมิสูงสุด  $84 \text{ }^\circ\text{C}$  และมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดคือ  $0.064760 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  ซึ่งการวิจัยยังไม่ได้ทำการหาแนวทางในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนดังกล่าว

## 3. การดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยเป็นการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดการจำลองรูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากยางพองน้ำเซลล์ปิดจากยางธรรมชาติชนิด STR 20 ที่ความหนา 7 cm. มาติดตั้งใต้หลังคาประเภทหลังคาคอนกรีตที่มีอุณหภูมิใต้หลังคาในช่วงอุณหภูมิ  $15 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$  เนื่องจากด้วยคุณสมบัติของฉนวนยางพองน้ำที่นำมาประยุกต์ โดยขั้นตอนการทำงานวิจัยดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ซึ่งกำหนดเงื่อนไขการคำนวณของวัสดุคือ

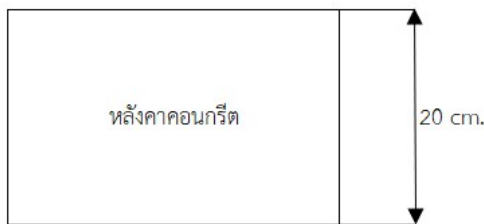
1) หลังคาคอนกรีตความหนา 20 cm. ตามความหนาที่ใช้ในการคำนวณตามคู่มือโปรแกรม OTTV 52 ของสถาบันสถาปนิกสยาม [8]

2) ความหนาของฉนวนกันความร้อนมีขนาด 7 cm. มีลักษณะทางกายภาพเป็นแผ่นเรียบ ซึ่งเป็นความหนาที่ได้จากการเตรียมยางพองน้ำชนิดเซลล์ปิดจากยางแท่งชนิด STR 20 เพื่อประยุกต์ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของรีเซตส์ โสภากิติบุรณ [10]

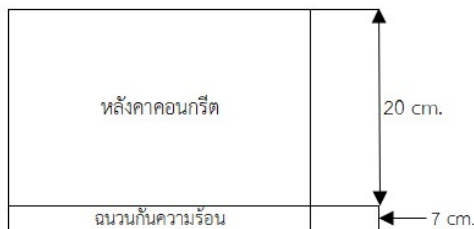
โดยทำการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดการจำลองรูปแบบการติดตั้งคือ

1) หลังคาคอนกรีตความหนา 20 cm. ดังรูปที่ 3

2) หลังคาคอนกรีตความหนา 20 cm. ปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อนบริเวณใต้หลังคายึดฉนวนกันความร้อนด้วย Spindle Pin ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 หลังคาคอนกรีตความหนา 20 cm.



รูปที่ 4 หลังคาคอนกรีตความหนา 20 cm. ปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อนยึดฉนวนกันความร้อนด้วย Spindle Pin

#### 4. ผลการทดลอง

การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามรูปแบบที่กำหนดดังรูปที่ 3-4 ได้ผลการคำนวณความแตกต่างของค่าการนำความร้อนรวม ค่าความต้านทานความร้อนรวม และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ได้โดยใช้สมการการหาค่าการนำค่าความต้านทานความร้อนรวมคือ

$$R_T = R_o + (\Delta X_1 / k_1) + R_a + \dots + (\Delta X_n / k_n) + R_i \quad (3)$$

และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมคือ

$$U = (1 / R_T) \text{ หน่วย } W/(m^2.K) \quad (4)$$

โดยที่ค่าการนำความร้อนที่กำหนดจะเป็นค่าที่ได้จากค่าการนำความร้อนของหลังคาคอนกรีต [7] และค่าการนำความร้อนของฉนวนยางพองน้ำชนิดเซลล์ปิดจากยางแท่งชนิด STR 20 ที่ความหนา 7 cm. [3]

#### 4.1 หลังคาคอนกรีต ไม่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน

ได้ผลความแตกต่างของค่าการนำความร้อนรวม ค่าความต้านทานความร้อนรวม และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ดังนี้

4.1.1 ค่าการนำความร้อนรวม

$$k\text{-Value} = 2.0 \text{ W/m.K}$$

4.1.2 ค่าความต้านทานความร้อนรวม

$$R_T = 0.317 \text{ m}^2.K/W$$

4.1.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$$U = 3.15 \text{ W/m}^2.K$$

#### 4.2 หลังคาคอนกรีต ติดตั้งฉนวนกันความร้อน

ได้ผลความแตกต่างของค่าการนำความร้อนรวม ค่าความต้านทานความร้อนรวม และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ดังนี้

4.2.1 ค่าการนำความร้อนรวม

$$k\text{-Value} (k_1) = 2.0 \text{ W/m.K}$$

$$k\text{-Value} (k_2) = 0.064760 \text{ W/m.K}$$

โดยที่  $k_1$  คือค่าการนำความร้อนของหลังคาคอนกรีต

$k_2$  คือการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อน

4.2.2 ค่าความต้านทานความร้อนรวม

$$R_T = 1.40 \text{ m}^2.K/W$$

4.2.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$$U = 0.71 \text{ W/m}^2.K$$

## 5. สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าค่าความต้านทานความร้อนรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม พบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาคอนกรีต สามารถเพิ่มค่าความต้านทานความร้อนรวม และยังสามารถลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณ

Comparison		
Roof	$R_T$ ( $m^2 \cdot ^\circ K/W$ )	$U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ )
No Insulation	0.317	3.15
Install Insulation	1.40	0.71
Difference	(+) 0.108 or (+) 30.34%	(-) 0.654 or (-) 23.28%

ซึ่งการประยุกต์ใช้ยางพองน้ำเซลล์ปิดจากยางธรรมชาติชนิด STR 20 เพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาคอนกรีต สามารถประยุกต์ใช้สำหรับการประหยัดพลังงานภายในอาคารได้ และยังสามารถนำข้อมูลการประหยัดพลังงานของหลังคาที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากยางพองน้ำเซลล์ปิดจากยางธรรมชาติชนิด STR 20 ไปคำนวณค่า RTTV ก็จะทำให้อาคารมีผลการประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงานที่ดีขึ้น

และด้วยลักษณะทางกายภาพของฉนวนกันความร้อนชนิดที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ จึงสามารถนำไปติดตั้งได้หลากหลายรูปแบบ จึงมีโอกาที่จะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในอุตสาหกรรมยางพาราของประเทศ ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจส่วนหนึ่งของประเทศและยังเป็นการนำวัสดุธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ลดการใช้ผลิตภัณฑ์จากกลุ่มพลาสติก

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการวิจัยนี้ยังสร้างแนวคิดที่น่าจะมีความเป็นไปได้ในการนำฉนวนกันความร้อนชนิดนี้ไปติดตั้งกับแผ่นสะท้อนความร้อน (Reflective Foil) ซึ่งน่าจะส่งผลให้การต้านทานความร้อนรวมสูงขึ้น และสัมประสิทธิ์การ

ถ่ายเทความร้อนรวมต่ำลง ส่งผลให้ความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารต่ำลง การประหยัดพลังงานก็จะมากขึ้นตาม

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] การยางแห่งประเทศไทย, “ความเคลื่อนไหวราคายางปี 2562”, [Online]. (2020). [Cited June 7, 2020]. Available: [http://www.rubber.co.th/rubber2012/rubberprice\\_yr.php](http://www.rubber.co.th/rubber2012/rubberprice_yr.php)
- [2] กลุ่มงานติดตามประเมินสถานการณ์ กองติดตามประเมินผลสิ่งแวดล้อม สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, “อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของประเทศไทย พ.ศ. 2551-2560”, [Online]. (2019). [Cited July 29, 2019]. Available: [http://www.onep.go.th/env\\_data/2016/01\\_70/](http://www.onep.go.th/env_data/2016/01_70/)
- [3] Teeratat Sopakitiboon, Apaipan Rattanapan and Surakit Tuampoemsab, “Thermal Insulator Made from Solid Natural Rubber: Part 1 - Formulation of Rubber Compounding, Appropriate Forming Condition and Basic Properties,” Key Engineering Materials, vol. 737, pp. 567-571, 2017.
- [4] ข้อกำหนดฉนวนยางเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ฉนวนกันความร้อน: ฉนวนยาง (Rubber Insulations), TGL-14-2-R1-11, 2011
- [5] กรองทิพย์ เต็มเกาะ, “การทดสอบสภาพนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนคอมโพสิต,” วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ปีที่ 60, ฉบับที่ 190, หน้า 9-11, 2555.
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), “บทที่ 3 กรอบอาคาร,” คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร), ตอนที่ 3, หน้า 3-32 – 3-35, กระทรวงพลังงาน, 2553.
- [7] ราชกิจจานุเบกษา ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552, เล่ม 126 ตอนพิเศษ 122 ง หน้า 45-49, 2552.

- [8] สถาบันสถาปนิกสยาม, “คู่มือโปรแกรม OTTV 52”, สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558.
- [9] Simo ILOMETS et al., “Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings” , Journal of Civil Engineering and Management, pp. 1-9, 2016.
- [10] ชีระทัศน์ โสภากิติบุรณ, “การเตรียมยางพองน้ำชนิด เซลล์ปิดจากยางแท่งชนิด STR 20 เพื่อประยุกต์ใช้เป็น ฉนวนกันความร้อน”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 2560.