แผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้เส้นใยธรรมชาติเพื่อการก่อสร้างจากไม้สวนป่าโตเร็ว

Insulating Natural Fiber Core Sandwiched Between Structural Insulated Panels (SIPs) of Fast Grown Timber from Plantation

วรวิทย์ พลทัสสะ (WORAWITH PHONTASSA)[1]

วรธรรม อุ่นจิตติชัย (WORATHAM OONJITTICHAI)[2]

ประเสริฐ วาณิชย์เจริญ (PRASERT WANICHJAREN)[3]

วริญญา โลมรัตน์ (WARINYA ROMRAT)[4]

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวิจัยการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้เส้นใยธรรมชาติ โดยนำเส้นใยมะพร้าวมาขึ้นรูปไส้ฉนวนความร้อนแล้วปิดผิวทั้งสองด้านด้วยแผ่นไม้อัดและแผ่นไม้อัดสารแร่ เส้นใยมะพร้าวมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ย 5.39 และการผ่อนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่า 90.00 และการวิเคราะห์ขนาดของเส้นใยมะพร้าวมีขนาดเมซ –20+40 มากที่สุดถึง 24.45 % คุณสมบัติทางเชิงกลของแผ่นไส้ฉนวนความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5905:2003 Fiberboards (Type : Insulation Board) มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 84.92 MPa ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 398.90 kg/m^3 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานฯ แต่ค่าความชื้นเท่ากับ 6.35% ค่าการพองตัวหลังแช่น้ำเท่ากับ 79.40% ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 277.39% ค่าการต้านทานแรงดัดเท่ากับ 0.206 MPa ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานฯ

ในการทดสอบแผ่นไส้ฉนวนความร้อนตามมาตรฐาน DIN 52612 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.0795 W/mK แผ่นไม้อัด 5 mm มีคุณสมบัติในความเป็นฉนวนความร้อนเพียงชนิดเดียว เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.0791 W/mK และค่าการนำความร้อนของแผ่น

---

[1] นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

[2] ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน วิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

[3] นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้

[4] ผู้ช่วยนักวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

ฉนวนความร้อนสอดไส้ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 5 มม ให้ค่าความเป็นฉนวนความร้อนดีที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.0799 W/mK

ในส่วนการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง พบว่าแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ที่ปิดผิวด้วยไม้อัดหนา 5 มม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังได้น้อยที่สุดเท่ากับ 40.693 W/m^2 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานกระทรวงพลังงานที่กำหนดไว้ว่า ค่า OTTV ต้องน้อยกว่า 45 W/m^2

คำหลัก : ฉนวนกันความร้อน เส้นใยไม้

Abstract

This project is a research study on the production of thermal insulation sheets filled with natural fibers. Coconut fiber is made into heat-insulating fabric and then closed on both sides with plywood and wood-cement board. Coconut fiber has pH 5.39 and a Acid-Alkaline buffering capacity 90.00. The analysis of coconut fiber has the highest Mz-20 + 40, reaching 24.45%

Mechanical properties of thermal insulation sheets compare to JIS A 5905: 2003. Fiberboards (Type: Insulation Board) had an modulus of elastic 84.92 MPa, density was 398.90 kg/m^3. The moisture content was 6.35%, the thickness swelling was 79.40%, the water absorption was 277.39%. The bending resistance was 0.206 MPa. Not pass standard

thermal insulation test in accordance with DIN 52612, the thermal conductivity coefficient is 0.0795 W/mK. The 5 mm plywood has the same thermal insulation properties as the average thermal conductivity of 0.0791 W / mK and thermal conductivity of 5 mm thick plywood sheeting provide the optimum thermal insulation. The average heat transfer coefficient is 0.0799 W / mK.

Overall thermal transfer value. It was found that the 5 mm thick plywood insulated panel has the lowest wall heat transfer coefficient of 40.693 W/m^2 which meets the Ministry of Energy standard that the OTTV value must be less than 45 W/m^2

Keyword : Thermal insulation boards, Wood fiber

คำนำ

ฉนวน (Insulation) หมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นไม่ให้เกิดการส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปสู่ด้านหนึ่งได้ง่ายโดยฉนวนในปัจจุบันสามารถแบ่งออกตามหน้าที่ ได้แก่ ฉนวนไฟฟ้า ฉนวนกันเสียง ฉนวนอาคาร และฉนวนความร้อน

การเลือกใช้ฉนวนความร้อนจะต้องพิจารณาคุณสมบัติเบื้องต้น คือ มีความสามารถในการป้องกันความร้อน ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน การเปลี่ยนรูปร่างเมื่อได้รับความร้อน การกันน้ำและความชื้น การทนต่อแมลงและเชื้อรา ความแข็งแรงทนทาน ความปลอดภัยต่อสุขภาพ การเสื่อมสภาพ และความต้องการการบำรุงรักษา เป็นต้น

ทั้งนี้ ในการเลือกใช้ควรเลือกวัสดุฉนวนกันความร้อนหรือฉนวนความร้อนที่เหมาะและสามารถช่วยประหยัดพลังงานภายในที่อยู่อาศัยได้ ซึ่งนอกจากจะประหยัดเงินค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเดือน แต่ละปีแล้ว ยังได้เป็นส่วนหนึ่งในการช่วยประเทศชาติประหยัดพลังงานโดยรวม ฉนวนความร้อนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน และฉนวนโฟม มักจะมีส่วนประกอบของสารเคมีที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยผลกระทบดังกล่าวนั้นเกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการผลิตตลอดจนถึงสิ้นสุดอายุการใช้งาน อีกทั้งฉนวนเหล่านี้ยังไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และมีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากวัตถุดิบบางส่วนต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ปัจจุบันการเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารจะไม่เพียงพิจารณาถึงคุณสมบัติทางกายภาพเพียงอย่างเดียวแต่ยังจำเป็นต้องพิจารณารวมไปถึงผลกระทบที่มีต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพผู้ใช้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะพัฒนาวัสดุฉนวนทางเลือกใหม่ที่สามารถตอบสนองความต้องการและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

แผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้เส้นใยธรรมชาติ ผลิตจากเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไม้ที่มาจากไม้สวนป่า และเศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้ง ช่วยลดการสิ้นเปลืองวัตถุดิบในกระบวนการผลิตส่งผลให้มีการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ทั้งยังเป็นแนวทางการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด แผ่นฉนวนกันความร้อนสอดไส้เส้นใยธรรมชาติที่ผลิตขึ้นมาเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ไม่ใช้สารเคมีไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้งาน ประหยัดเนื่องจากผลิตมาจากวัสดุเหลือทิ้ง สามารถนำไปใช้ประโยชน์พัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ห้องอบไม้ หรือนำไปผลิตเป็นฝ้า ผนังสำหรับกั้นห้องได้

วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้เส้นใยธรรมชาติเพื่อการก่อสร้างจากไม้สวนป่าโตเร็ว ในครั้งนี้ได้ผลิตเป็นแผ่นไส้ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยมะพร้าว และนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายสมบัติและคุณสมบัติทางกลสมบัติเปรียบเทียบตามมาตรฐาน JIS A 5905:2003 Fiberboards (Type : Insulation Board) และทดสอบการนำความร้อนของแผ่นไส้ฉนวน และแผ่นฉนวนกันความร้อนสอดไส้เส้นใยธรรมชาติตามมาตรฐาน DIN 52612 และคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (OTTV) โดยมีอุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

อุปกรณ์

1. เครื่องสับหยาบ (Hammer mill)
2. เครื่องร่อนคัดขนาด (Screening)
3. เครื่องอัดร้อน (Hot press)
4. เครื่องทดสอบกำลังวัสดุ (Universal testing machine)
5. เครื่องวัดค่าความเป็นฉนวนความร้อน (Thermal conductivity & resistant testing machine)
6. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)
7. สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด Type-J (Thermocouple Type-J)
8. เครื่องวัดความหนา (Micrometer)
9. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Digital balance)
10. ตู้อบร้อน (Drying oven)
11. เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (Vernier caliper)

เครื่องสับหยาบ

เครื่องร่อนคัดขนาด

เครื่องอัดร้อน

เครื่องทดสอบกำลังวัสดุ

เครื่องวัดค่าความเป็นฉนวนความร้อน

เครื่องบันทึกข้อมูล

สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด Type-J

เครื่องวัดความหนา

เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง

ตู้อบร้อน

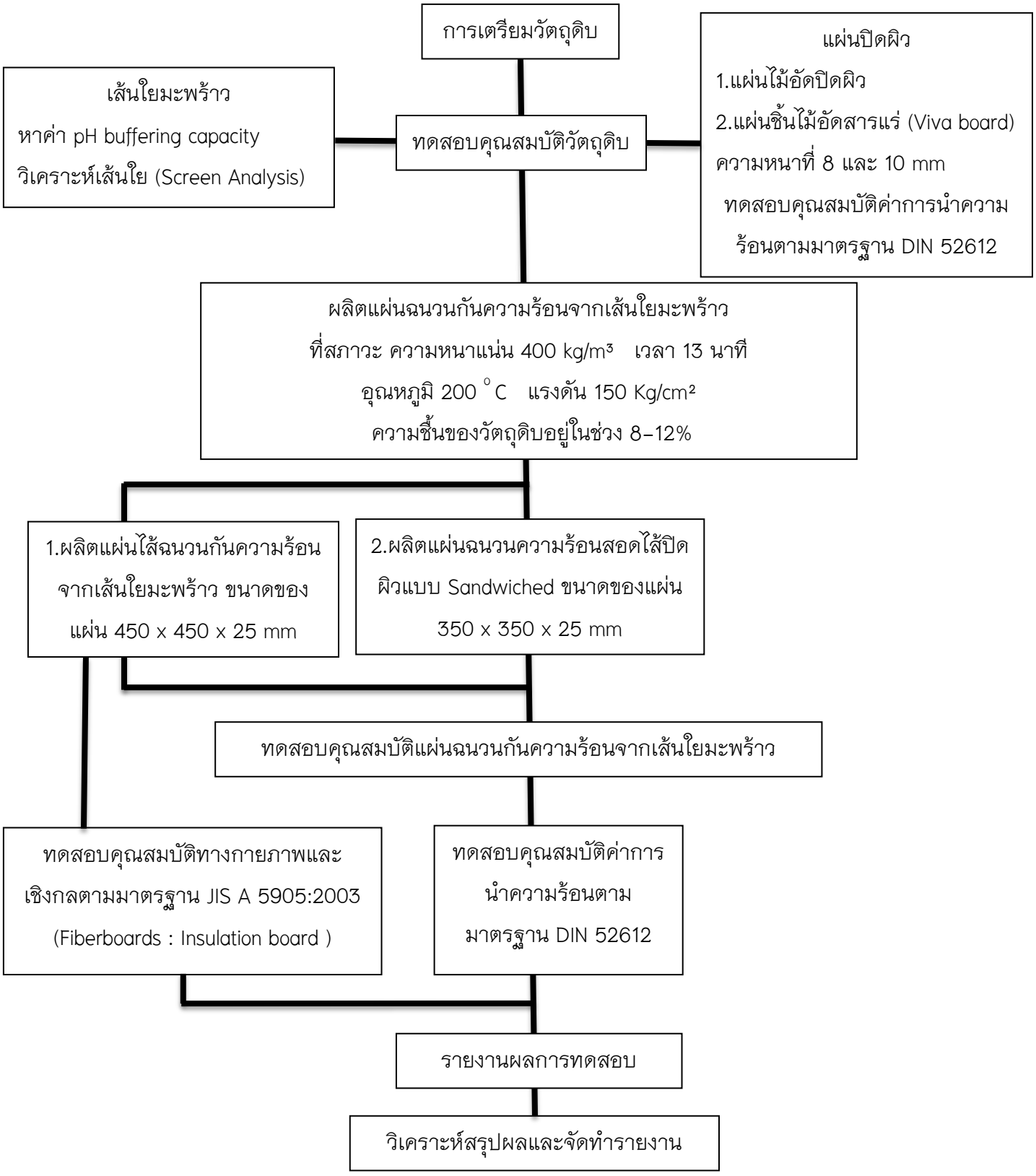
เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์

ภาพที่ 1. อุปกรณ์ในการศึกษาและทดลอง.

.

ขั้นตอนการศึกษา

1. แผนการดำเนินงาน



2. การเตรียมวัตถุดิบ

2.1 บดเส้นใยมะพร้าวด้วยเครื่องสับหยาบ

2.2 ร่อนคัดแยกขนาดเส้นใยมะพร้าว

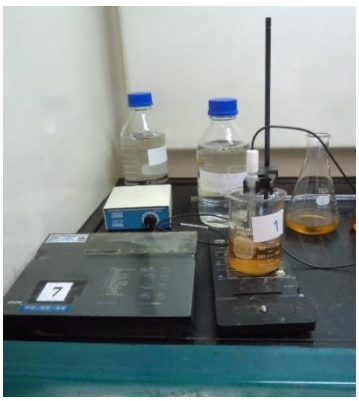
2.3 วัดความชื้นของเส้นใยมะพร้าว

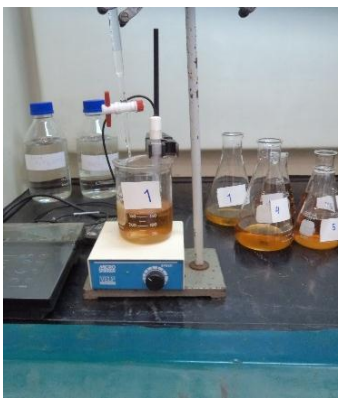
3. การทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยมะพร้าว

3.1 ความเป็นกรดด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH, Acid–Alkaline buffering capacity)

การหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และความสามารถในการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (Acid–Alkaline buffering capacity) โดยนำเส้นใยมะพร้าวขนาด 40 เมซ ที่ได้แช่และกวนในน้ำกลั่น และกรองเอาแต่สารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปหาค่า pH ค่าการผ่อนความเป็นกรด (Acid buffering capacity) ค่าการผ่อนความเป็นด่าง (Alkaline buffering capacity) และค่าการผ่อนความเป็นกรดเป็นด่าง (Acid–Alkaline buffering capacity) โดยการผ่อนความเป็นกรดให้ pH ของสารละลายที่ 3.50 ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริคความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล และการผ่อนความเป็นด่างให้ pH ของสารละลายที่ 7.00 ด้วยสารละลายที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล

กรองของเหลวออกจากเส้นใยมะพร้าว





ภาพที่ 2. การทดสอบค่าความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

3.2 การวิเคราะห์ลักษณะเส้นใยมะพร้าว (Screen Analysis)

โดยการนำตัวอย่างเส้นใยมะพร้าวมาชั่งน้ำหนักแล้วแบ่งเส้นใยมะพร้าวออกเป็น 3 กลุ่ม นำแต่ละกลุ่มไปร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 5 12 40 60 80 100 และน้อยกว่า 120 เมซ นำเส้นใยมะพร้าวที่ร่อนได้ในแต่ละเมซไปชั่งน้ำหนัก ทำเสร็จ 3 กลุ่ม แล้วหาค่าเฉลี่ยในแต่ละเมซ จากนั้นสุ่มตัวอย่างเส้นใยมะพร้าวในแต่ละเมซมาวัดขนาดด้วยเวอร์เนีย เมซละ 100 ตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{สัดส่วนความเพรียว} = \frac{\text{ความยาวของชิ้นตัวอย่าง (มม.)}}{\text{ความหนา (มม.)}}$$

$$\text{ปริมาณโดยน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแต่ละเมซ} \times 100}{\text{น้ำหนักทั้งหมด}}$$

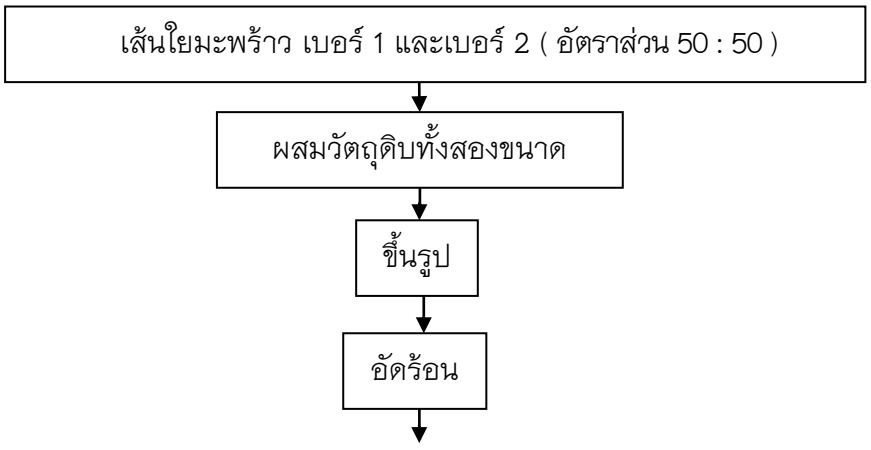
4. การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนสอดไส้เส้นใยธรรมชาติ

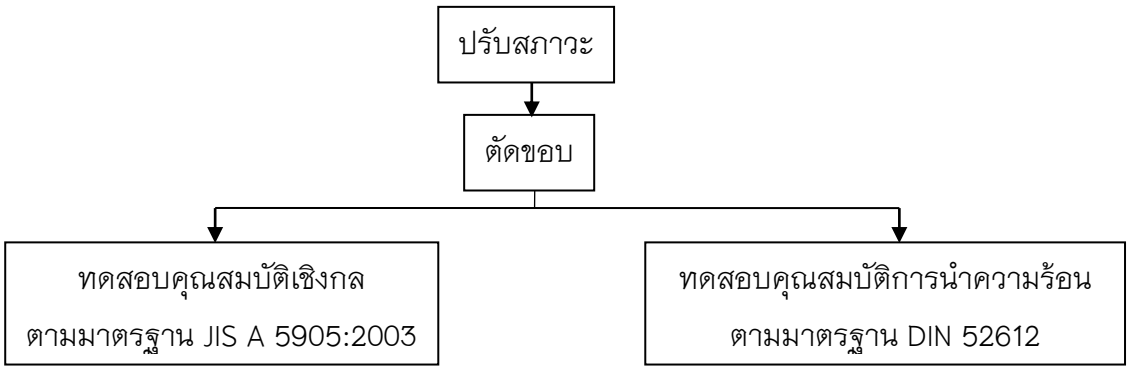
4.1 การผลิตแผ่นไส้ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยมะพร้าว

4.1.1 สภาวะการขึ้นรูปแผ่นไส้ฉนวนกันความร้อน

- ความหนาแน่น 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- อุณหภูมิในการอัดร้อน 200 องศาเซลเซียส
- เวลาในการอัดร้อน 13 นาที
- แรงดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- เส้นใยมะพร้าว เบอร์ 1 และ 2 ในอัตราส่วน 50 : 50
- ขนาดแผ่น 25 x 400 x 400 มิลลิเมตร

4.1.2 ขั้นตอนการผลิตแผ่นไส้ฉนวนกันความร้อน





เส้นใยมะพร้าว

ชั่งเส้นใยมะพร้าว

ขึ้นรูปแผ่นฉนวนก่อนการอัดร้อน

อัดร้อน

แผ่นไส้ฉนวนกันความร้อน

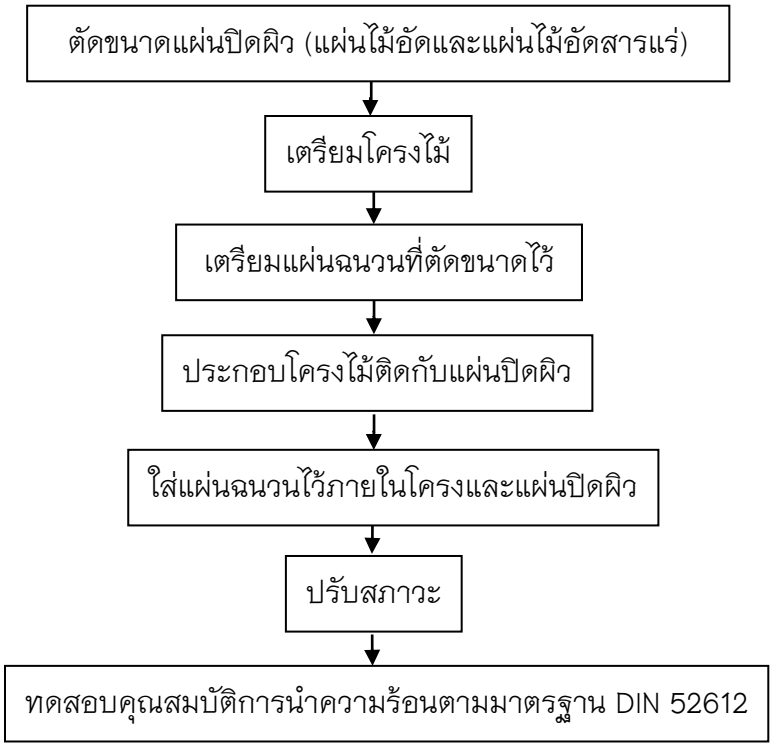
ภาพที่ 3. กระบวนการผลิตแผ่นไส้ฉนวนกันความร้อน.

4.2 การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ปิดผิวแบบ Sandwiched

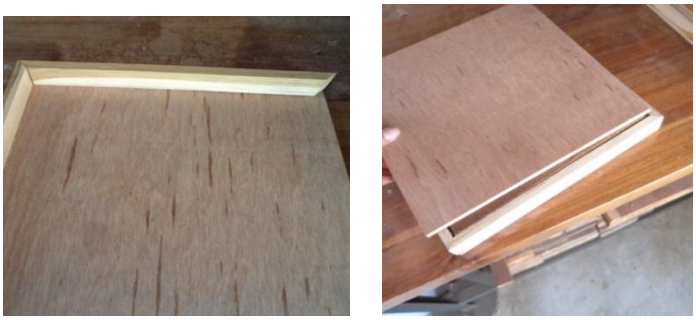
4.2.1 ปัจจัย/สภาวะแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้

- แผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ แบบมีไส้ฉนวนและไม่มีไส้ฉนวน
- ผิวแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ ไม้อัดหรือไม้อัดสารแร่
- ความหนาของแผ่นปิดผิว แผ่นไม้อัดความหนา 5, 8 มม.
  แผ่นไม้อัดสารแร่ 8, 10 มม.
- ขนาดแผ่นฉนวนความร้อน 300 x 300 มม.

4.2.2 ขั้นตอนการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ปิดผิวแบบ Sandwiched



ตัดโครงไม้และแผ่นปิดผิว



ประกอบแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ปิดผิวแบบ Sandwiched

ภาพที่ 4. กระบวนการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ปิดผิวแบบ Sandwiched.

5. การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อน

5.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน JIS A 5905:2003 (Fiberboards : Insulation board)

ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลนั้น จะเป็นเพียงการทดสอบเพียงแผ่นไส้ฉนวนจากเส้นใยมะพร้าว ตามมาตรฐาน JIS A 5905:2003 (Fiberboards : Insulation board) โดยมีคุณสมบัติที่ทดสอบ ดังนี้

5.1.1 ทดสอบค่าการพองตัวตามความหนาหลังแช่น้ำ (Thickness swelling; TS)

5.1.2 ทดสอบค่าการดูดซึมหลังแช่น้ำ (Waterabsorption; WA)

5.1.3 ทดสอบค่าความต้านทานแรงดัด (Modulus of rupture; MOR)

5.1.4 ทดสอบค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity; MOE)

5.1.5 ทดสอบค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bonding; IB)

5.1.6 ทดสอบค่าความหนาแน่น (Board density; Density)

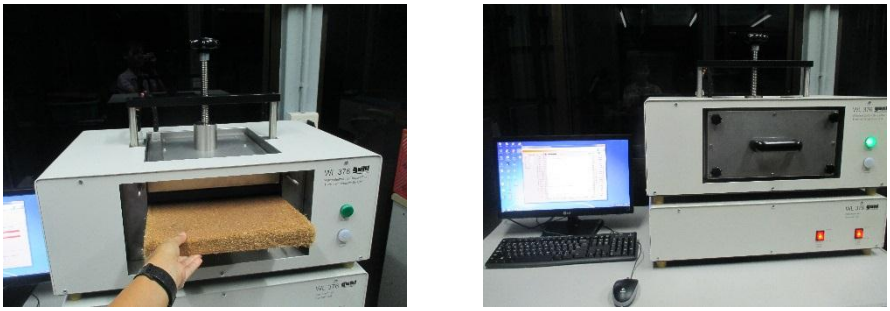
5.1.7 ทดสอบค่าความชื้น (Moisture content; MC)

ภาพที่ 5. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลไส้แผนฉนวนตามมาตรฐาน JIS A 5905:2003

5.2 การทดสอบสมบัติค่าการนำความร้อน ตามมาตรฐาน DIN52612

ลักษณะของการทดสอบค่าการนำความร้อนเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนของการวัดค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน โดยทำการทดสอบค่าการนำความร้อนด้วยเครื่อง GUNT WL 36 ชุดศึกษาการนำความร้อนพื้นฐานและค่าพารามิเตอร์สำหรับการนำความร้อนในสภาพของแข็ง สามารถหาได้โดยการทดสอบชิ้นงานที่ต้องการทดสอบมีขนาดความกว้าง 300 มม. ยาว 300 มม. โดยมีแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ทดสอบ ดังนี้

- แผ่นไส้ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยมะพร้าว
- แผ่นปิดผิวไส้ฉนวนกันความร้อน
- แผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้เส้นใยมะพร้าว



ภาพที่ 6. การทดสอบค่าการนำความร้อน

6. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนอาคารผนังทึบ (OTTV : Overall thermal transfer value)

การหาค่าการถ่ายเทความร้อนผนังทึบที่มีไส้ฉนวนจะใช้การคำนวณตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้ใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร พ.ศ.2552 โดยวิธีการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง เกณฑ์ที่กำหนดให้ค่าของอาคารที่ผ่านการประเมินจะต้องมีค่าไม่เกิน 45 วัตต์/ม.^{2} ค่านี้ใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคารที่มีการปรับอากาศเท่านั้น

ขั้นตอนการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV)

การคำนวณหาค่า OTTV ของอาคารผนังทึบ โดยจะคำนวณค่า OTTV ทั้ง 4 ทิศ ค่า OTTV ของอาคารผนังทึบ สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$OTTV_i = \frac{(Uw_i)(Area_i)(TDeq_i)}{Area_{all}}$$

เมื่อ $OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อ(ตารางเมตร–องศาเซลเซียส) ($W/m^2.^\circ C$)

$Area_i$ คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

นำค่าความหนาและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากการทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนสอดไส้ มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U_w) ของกล่องทดลองแต่ละขนิด ค่า U_w สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$U_w = \frac{1}{R_T}$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็นตารางเมตร–องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($m^2.^\circ C/W$)

– ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร (R_T)

เป็นผลรวมของชั้นวัสดุ สำหรับผนังอาคารที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารจะเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารจะถูกส่งผ่านมายังผนังอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกของผนังอาคาร เช่นเดียวกับที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังอาคารจะถูกส่งผ่านจากพื้นที่ผิวด้านในของผนังอาคารไปยังสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ดังนั้นฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของผนังอาคารจึงถือว่ามีความต้านทานความร้อน

กรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า R_T ของส่วนใดๆ ของผนังอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \ldots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i$$

เมื่อ R_T คือ ความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร–องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($m^2.^\circ C/W$)

R_o คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร–องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($m^2.^\circ C/W$)

R_i คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร มีหน่วยเป็นตารางเมตร–องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ($m^2.^\circ C/W$)

$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, ..., \Delta x_n$ คือ ความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$k_1, k_2, k_3, ..., k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบกันเป็นผนังอาคาร

– ค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุใดๆ

$$R = \frac{\Delta x}{k}$$

เมื่อ Δx คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อ(เมตร–องศาเซลเซียส) ($W/m.^\circ C$)

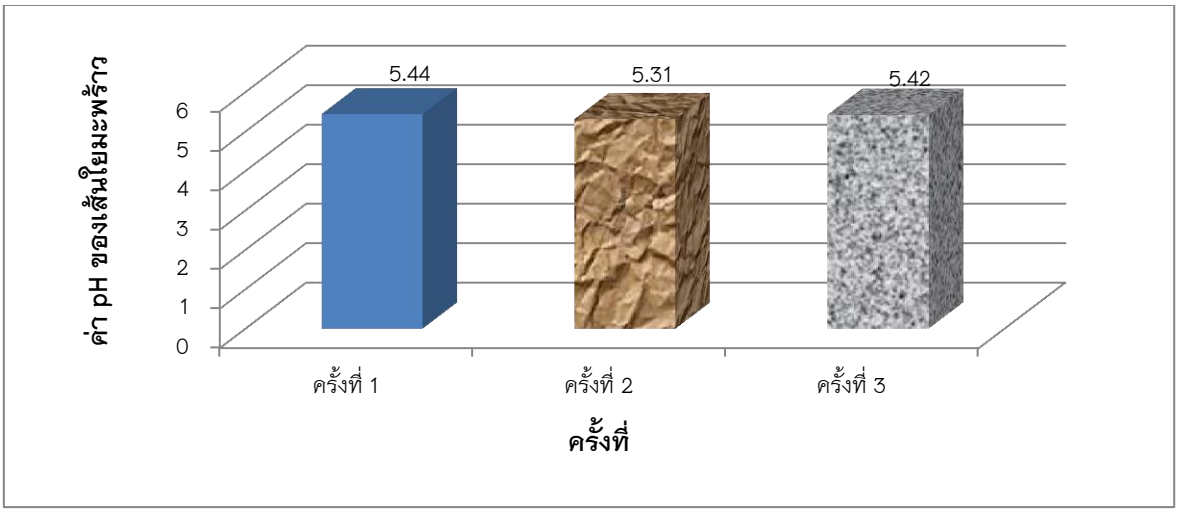
ผลการทดสอบ

1. คุณสมบัติของเส้นใยมะพร้าว

1.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเส้นใยมะพร้าว

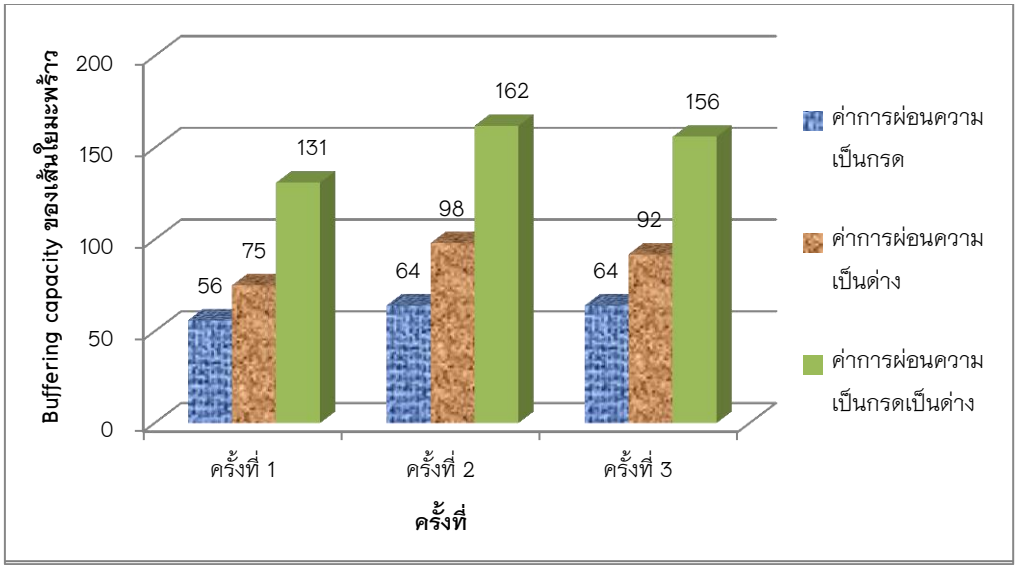
ตารางที่ 1. ผลการทดสอบความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดของเส้นใยมะพร้าว

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่างของเส้นใยมะพร้าว (pH Average)	การผ่อนความเป็นกรดของเส้นใยมะพร้าว (Acid buffering capacity) Milliequivalent (x 10^{-2})	การผ่อนความเป็นด่างของ เส้นใยมะพร้าว (Alkaline buffering capacity) Milliequivalent (x 10^{-2})	การผ่อนความเป็นกรดเป็นด่างของเส้นมะพร้าว (Acid–Alkaline buffering capacity) Milliequivalent (x 10^{-2})
เส้นใยมะพร้าว	5.44	56	75	131
	5.31	64	98	162
	5.42	64	92	156
ค่าเฉลี่ย	**5.39**	**61.33**	**88.33**	**149.67**



ภาพที่ 7. กราฟแสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเส้นใยมะพร้าว

จากผลการทดสอบ พบว่าเส้นใยมะพร้าวจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.39



ภาพที่ 8. กราฟแสดงค่าผ่อนความเป็นกรดเป็นด่างของเส้นใยมะพร้าว

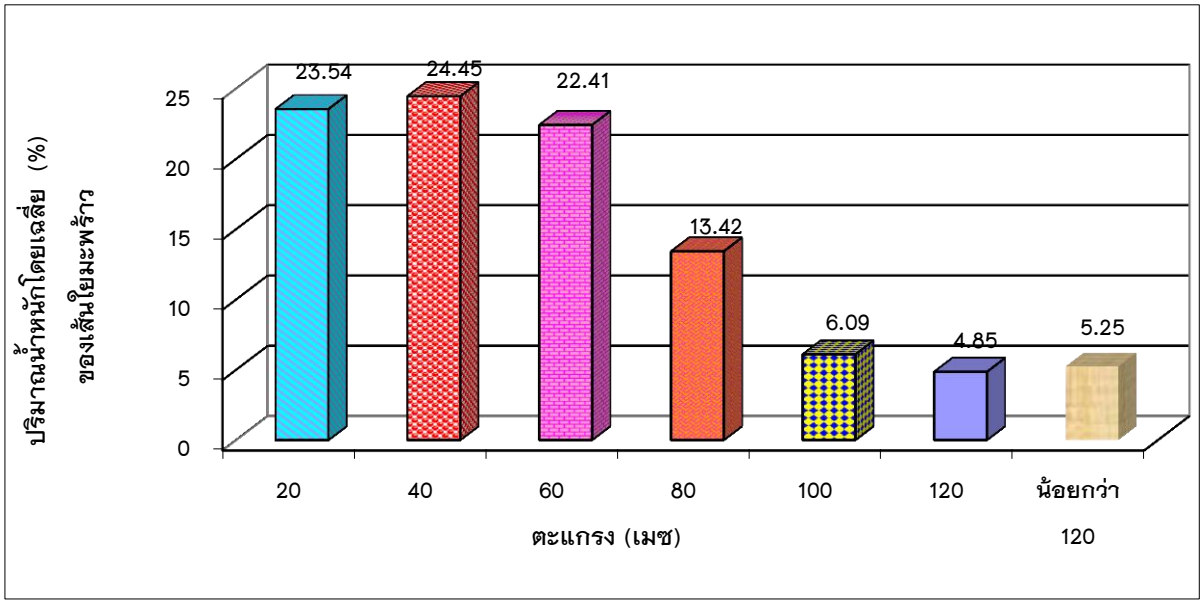
จากผลการทดสอบพบว่าเส้นใยมะพร้าว มีค่าการผ่อนความเป็นกรดเฉลี่ยเท่ากับ 61.33 มีค่าการผ่อนความเป็นด่างเฉลี่ยเท่ากับ 88.33 และ มีค่าการผ่อนความเป็นกรดเป็นด่าเฉลี่ยเท่ากับ 149.67

1.2 การวิเคราะห์ขนาดเส้นใยมะพร้าว (Screen Analysis)

ตารางที่ 2. การวิเคราะห์ขนาดเส้นใยมะพร้าว (ที่ผ่านการคัดขนาดจากตะแกรง ขนาด 1 มม.)

ตัวอย่าง	ตะแกรง* (เมซ)	ขนาดรูตะแกรงเฉลี่ย (มม.)	ขนาด			สัดส่วนความเพรียว	ปริมาณโดยน้ำหนัก (%) เฉลี่ย
			กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	หนา (มม.)		
เส้นใยมะพร้าว	–12+20	1.275	1.45	19.31	0.86	22.44	23.54
	–20 +40	0.638	0.53	16.44	0.32	51.24	24.45
	– 40+60	0.337	0.43	11.75	0.35	33.15	22.41
	– 60+80	0.215	0.20	11.04	0.16	67.45	13.42
	–80 +100	0.165	0.15	9.00	0.12	77.49	6.09
	–100+120	0.135	0.17	10.60	0.19	56.07	4.85
	– 120	0.120	0.15	8.41	0.12	68.96	5.25

* การวัดเส้นใยมะพร้าวแต่ละตะแกรง เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดขนาดชิ้น จำนวน 100 ชิ้น



ภาพที่ 9. กราฟเปรียบเทียบปริมาณโดยน้ำหนักเฉลี่ย (%) ของเส้นใยมะพร้าว

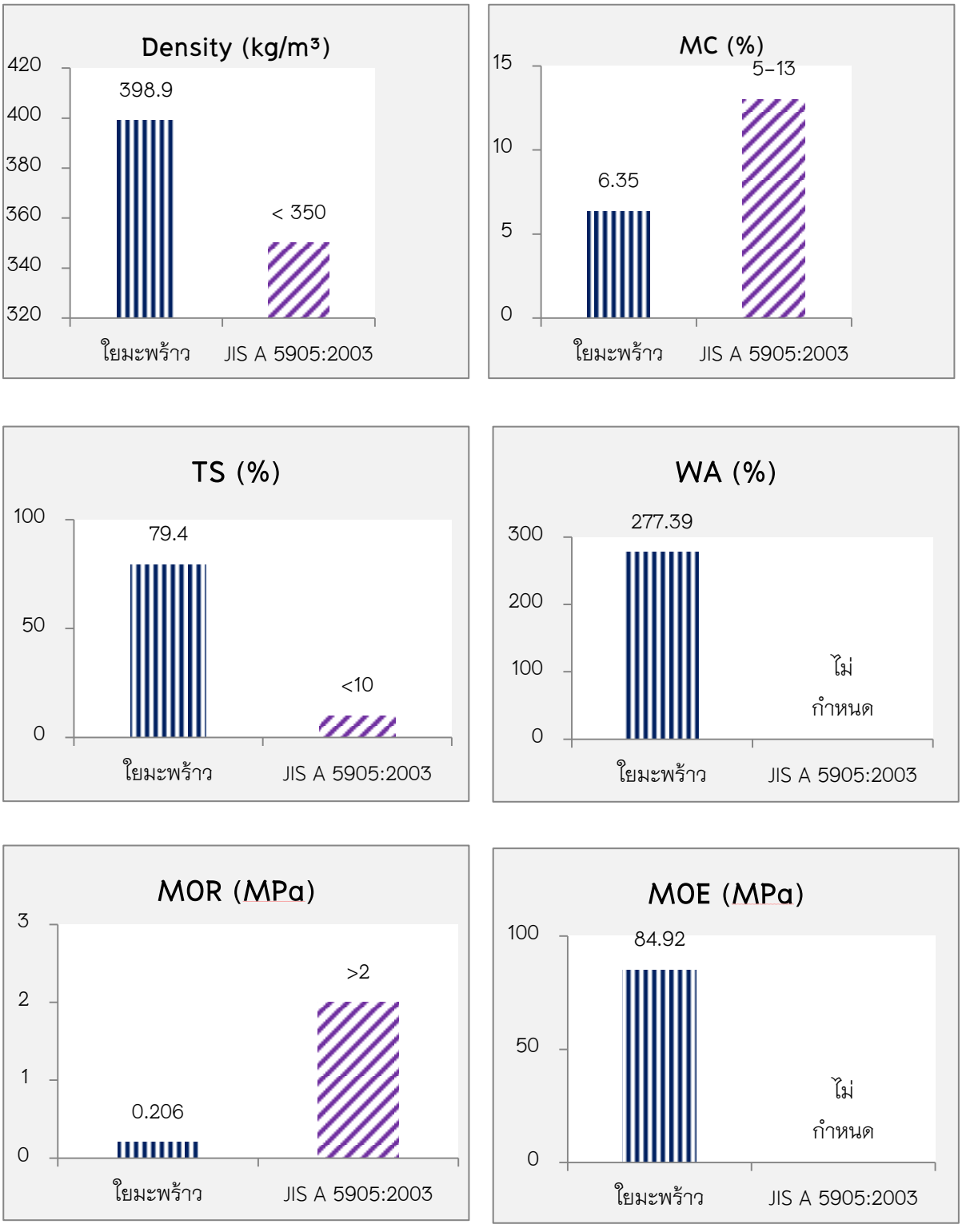
จากตารางที่ 2 พบว่าเส้นใยมะพร้าวที่ค้างอยู่บนตะแกรง 40 เมซ มีปริมาณโดยน้ำหนักมากที่สุด มีค่า 24.45 % รองลงมาคือตะแกรง 20 เมซ มีค่าน้ำหนัก 23.54 % และตะแกรง 120 เมซ มีปริมาณน้ำหนักน้อยที่สุดมีค่า 4.85 %

2. คุณสมบัติเชิงกลของไส้แผ่นฉนวนความร้อน

ตารางที่ 3. ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไส้ฉนวนเส้นใยมะพร้าวตามมาตรฐาน JIS A 5905:2003

Thermal insulation from coconut fiber Sample	Property					
	TS (%)	WA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Density (kg/m^3)	MC (%)
1	74.27	255.71	0.103	42.55	388.92	6.44
2	87.21	230.64	0.155	14.93	355.77	6.42
3	78.64	294.99	0.349	253.82	369.63	7.48
4	81.16	286.66	0.058	25.73	453.41	5.88
5	75.70	318.93	0.367	87.58	426.78	5.54
ค่าเฉลี่ย	79.40	277.39	0.206	84.92	398.90	6.35
เกณฑ์มาตรฐานกำหนด	< 10 %	-	> 2	-	< 350 kg/m^3	5-13%

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเชิงกลของแผ่นไส้ฉนวนเส้นใยมะพร้าว พบว่ามีค่าการพองตัวหลังแช่น้ำเท่ากับ 79.40% ค่าการดูดซึมหลังแช่น้ำเท่ากับ 277.39% ค่าการต้านทานแรงดัดเท่ากับ 0.206 เมกกะปาสคาล ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 84.92 เมกกะปาสคาล ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 398.90 กก./ม.^{3} และค่าความชื้นเท่ากับ 6.35% ซึ่งมีเพียงค่าความชื้นที่ผ่านมาตรฐาน JIS A 5905:2003



ภาพที่ 10. กราฟแสดงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไส้ฉนวนเส้นใยมะพร้าวตามมาตรฐาน JIS A 5905:2003

3. ค่าการนำความร้อน

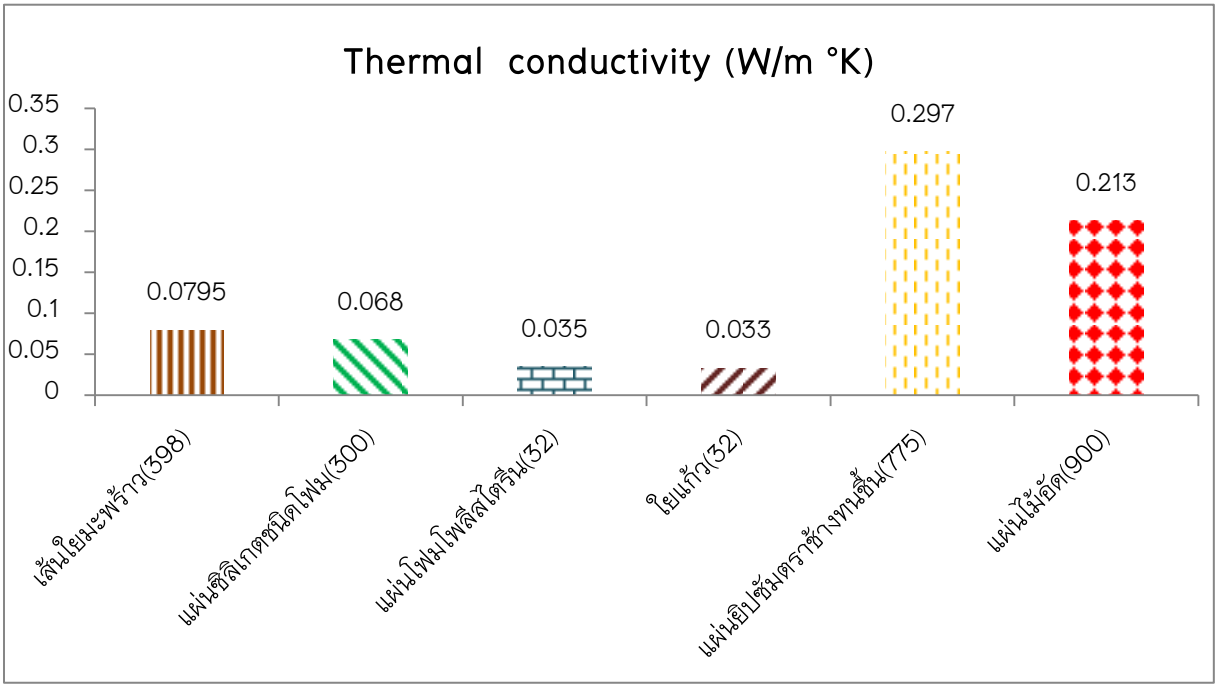
3.1 แผ่นไส้ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยมะพร้าว

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนแผ่นไส้ฉนวนเส้นใยมะพร้าวตามมาตรฐาน DIN 52612

Thermal insulation from coconut fiber Sample	Thermal conductivity (W/mK)	lambda Theoretisch (W/mK)	Thermal Resistance (K/W)	Heat Flow Density Q (W/m^2)
1	0.0826	0.07–0.09	3.3634	241.6
2	0.0808	0.07–0.09	3.4358	235.8
3	0.0766	0.07–0.09	3.6263	224.4
4	0.0822	0.07–0.09	3.3775	238.5
5	0.0754	0.07–0.09	3.6844	219.6
ค่าเฉลี่ย	0.0795		3.4975	231.98
แผ่นซิลิเกตชนิดโฟม (300)*	0.0680			
แผ่นโฟมโพลีสไตรีน (32)*	0.0350			
ใยแก้ว (32)*	0.0330			
แผ่นยิปซัมตราช้างทนชื้น (775)*	0.2970			

หมายเหตุ : * คู่มือการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2558, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จากผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นไส้ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยมะพร้าว พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.0795 วัตต์/เมตรเคลวิน ค่าความต้านทานความร้อน 3.4975 เคลวิน/วัตต์ และมีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 231.98 วัตต์/ม.^{2}



ภาพที่ 11. ค่าการนำความร้อนของแผ่นเส้นใยมะพร้าวเปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนเชิงพาณิชย์

3.2 แผ่นปิดผิวไส้ฉนวนกันความร้อน

ตารางที่ 5. ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนแผ่นปิดผิวตามมาตรฐาน DIN 52612

Sample	Density (kg/m^3)	Thermal conductivity (W/mK)	lambda Theoretisch (W/mK)	Thermal Resistance (K/W)	Heat Flow Density Q (W/m^2)
แผ่นไม้อัด 5 มม.	457.04	0.0791	0.06–0.11	0.6716	988.13
แผ่นไม้อัด 8 มม.	645.75	0.0960	0.06–0.12	0.9365	756.48
แผ่นไม้อัดสารแร่ 8 มม.	1,353.38	0.1548	0.06–0.14	0.5600	1,133.25
แผ่นไม้อัดสารแร่ 10 มม.	1,385.71	0.1490	0.08–0.16	0.7716	887.87

จากการทดสอบค่าการนำความร้อนแผ่นปิดผิว พบว่าแผ่นไม้อัด 5 มม. ความหนาแน่น 457.04 กก./ม.^{3} ให้ค่าความเป็นฉนวนความร้อนดีที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.0791 วัตต์/เมตรเคลวิน มีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 0.6716 เคลวิน/วัตต์ มีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 988.13 วัตต์/ม.^{2} และรองลงมาคือแผ่นไม้อัด 8 มม. ความหนาแน่น 645.75 กก./ม.^{3} มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.9365 วัตต์/เมตรเคลวิน มีค่าความต้านทานความร้อน

เท่ากับ 0.9365 เคลวิน/วัตต์ มีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 756.48 วัตต์/ม.^{2} แผ่นไม้อัดสารแร่ 8 มม. ความหนาแน่น 1,353.38 กก./ม.^{3} มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.1548 วัตต์/เมตรเคลวิน มีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 0.5600 เคลวิน/วัตต์ มีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1,133.25 วัตต์/ม.^{2} แผ่นไม้อัดสารแร่ 10 มม. ความหนาแน่น 1,385.71 กก./ม.^{3} มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.1490 วัตต์/เมตรเคลวิน มีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 0.7716 เคลวิน/วัตต์ มีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 887.87 วัตต์/ม.^{2}

3.3 แผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้เส้นใยมะพร้าว

ตารางที่ 6. ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนแผ่นฉนวนสอดไส้เส้นใยมะพร้าว ตามมาตรฐาน DIN 52612

Sample	Thermal conductivity (W/mK)	lambda Theoretisch (W/mK)	Thermal Resistance (K/W)	Heat Flow Density Q (W/m^2)
CP5	0.1145	0.05–0.17	3.3373	238.08
CP8	0.1342	0.10–0.17	3.4446	234.52
CV8	0.1984	0.10–0.25	2.2630	339.71
CV10	0.2225	0.15–0.23	2.3172	348.51
SP5	0.0799	0.06–0.11	4.9555	176.31
SP8	0.1065	0.06–0.12	4.2992	193.61
SV8	0.1296	0.06–0.14	3.5310	229.38
SV10	0.1497	0.08–0.16	3.4428	235.59

หมายเหตุ คำอธิบายชิ้นตัวอย่าง

CP5 คือ แผ่นฉนวนความร้อนแบบไม่มีไส้ฉนวน ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 5 มม.

CP8 คือ แผ่นฉนวนความร้อนแบบไม่มีไส้ฉนวน ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 8 มม.

CV8 คือ แผ่นฉนวนความร้อนแบบไม่มีไส้ฉนวน ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดสารแร่หนา 8 มม.

CV10 คือ แผ่นฉนวนความร้อนแบบไม่มีไส้ฉนวน ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดสารแร่หนา 10 มม.

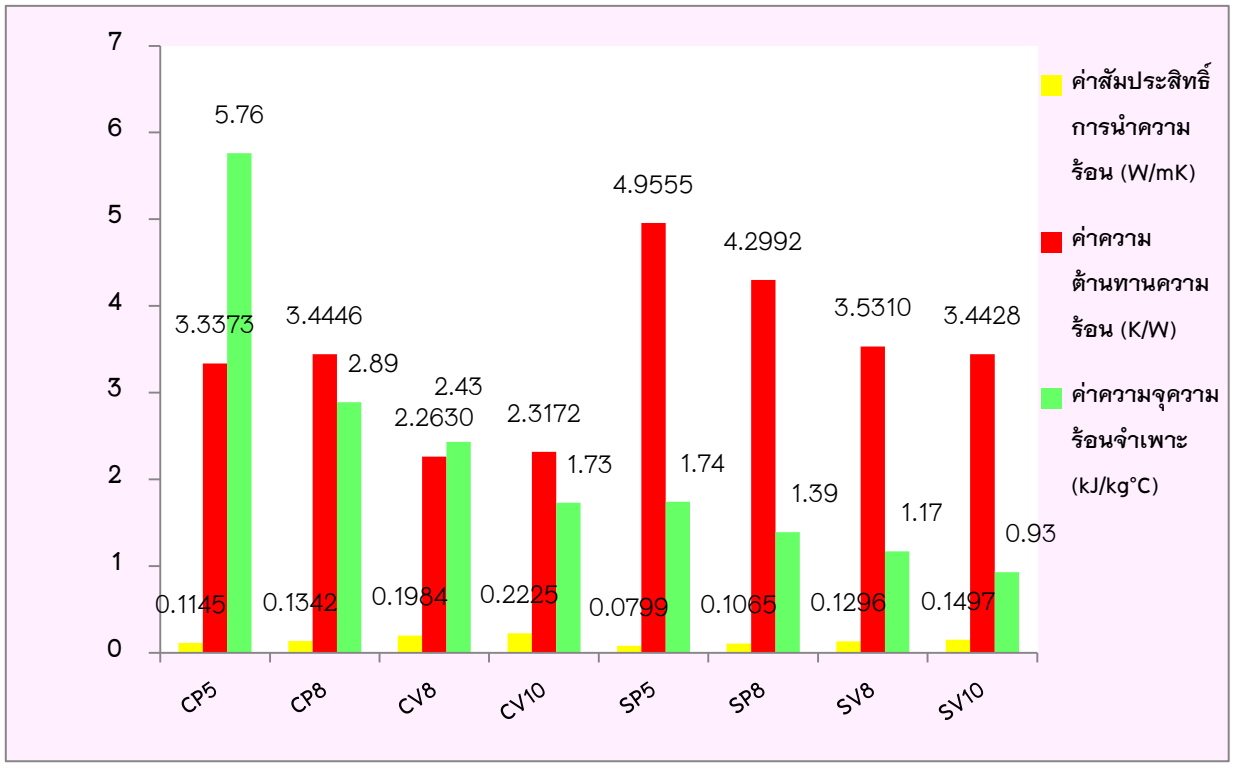
SP5 คือ แผ่นฉนวนความร้อนแบบสอดไส้เส้นใยมะพร้าว ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 5 มม.

SP8 คือ แผ่นฉนวนความร้อนแบบสอดไส้เส้นใยมะพร้าว ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 8 มม.

SV8 คือ แผ่นฉนวนความร้อนแบบสอดไส้เส้นใยมะพร้าว ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดสารแร่ หนา 8 มม.

SV10 คือ แผ่นฉนวนความร้อนแบบสอดไส้เส้นใยมะพร้าว ที่ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดสารแร่ หนา 10 มม.

จากการทดสอบค่าการนำความร้อนแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้เส้นใยมะพร้าว พบว่าแผ่นฉนวนความร้อนแบบสอดไส้เส้นใยมะพร้าว ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 5 มม. (SP5) ให้ค่าความเป็นฉนวนความร้อนดีที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.0799 วัตต์/เมตรเคลวิน ค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 4.9555 เคลวิน/วัตต์ ค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 176.31 วัตต์/ม.^{2} รองลงมาคือแผ่นฉนวนความร้อนแบบสอดไส้เส้นใยมะพร้าว ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 8 มม. (SP8) มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.1065 วัตต์/เมตรเคลวิน ค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 4.2992 เคลวิน/วัตต์ ค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 193.61 วัตต์/ม.^{2} และแผ่นฉนวนความร้อนแบบไม่มีไส้ฉนวน ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 5 มม. (CP5) มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.1145 วัตต์/เมตรเคลวิน ค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 3.3373 เคลวิน/วัตต์ ค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 238.08 วัตต์/ม.^{2}



ภาพที่ 12. กราฟแสดงค่าการนำความร้อนแผ่นฉนวนสอดไส้เส้นใยธรรมชาติ

3.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง

ผลจากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม หรือ ค่า OTTV คำนวณโดยใช้ค่าประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) จากการทดสอบข้างต้น มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U_w) ของอาคารสำนักงานผนังแต่ละชนิด ทุกด้าน

ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหันหน้าออกแดดทุกทิศทาง กว้าง 0.5 m สูง 0.5 m ที่ไม่มีประตูและหน้าต่าง ผนังทั้ง 4 ด้าน เป็นผนังไม้อัดหนา 0.035 m สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 8. ผลการทดสอบค่า U_w ค่า TD_{eq} และค่า OTTV ของแผ่นฉนวนความร้อน

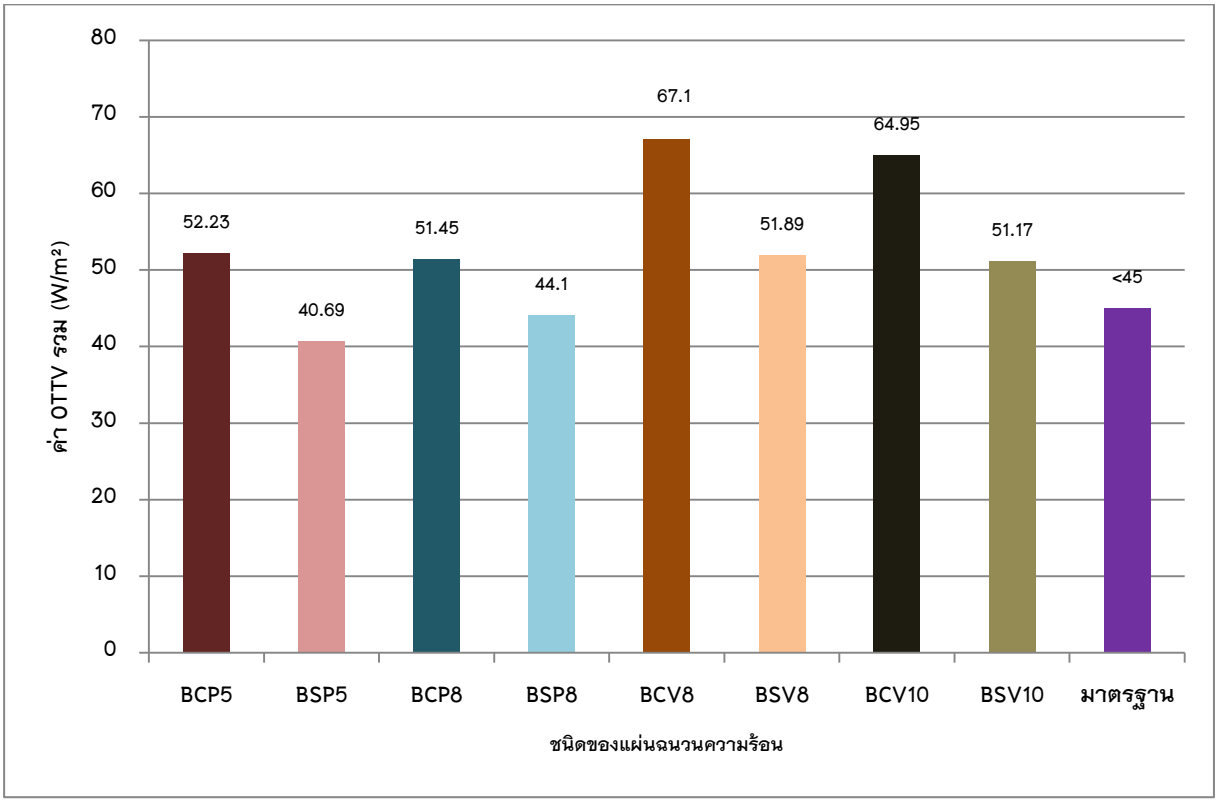
ชนิดของแผ่นฉนวนความร้อน	**ค่า U_w ($W/m^2°C$)**	**ทิศ**	**ค่า TD_{eq} (°C)**	**ค่า OTTV ในแต่ละทิศ (W/m^2)**	**ค่า OTTV รวม (W/m^2)**	**เกณฑ์มาตรฐานค่า OTTV รวม (W/m^2)**
แผ่นฉนวนความร้อนผิวไม้อัดหนา 5 มม. ไม่มีฉนวน	2.132	เหนือ	20.1	10.713	52.233	ไม่ผ่าน
		ใต้	27.1	14.444		
		ตะวันออก	26.1	13.911		
		ตะวันตก	24.7	13.165		
แผ่นฉนวนความร้อนผิวไม้อัดหนา 5 มม. มีฉนวน	1.661	เหนือ	20.1	8.346	40.693	ผ่าน
		ใต้	27.1	11.253		
		ตะวันออก	26.1	10.838		
		ตะวันตก	24.7	10.256		
แผ่นฉนวนความร้อนผิวไม้อัดหนา 8 มม. ไม่มีฉนวน	2.164	เหนือ	19.5	10.549	51.447	ไม่ผ่าน
		ใต้	26.3	14.228		
		ตะวันออก	25.6	13.849		
		ตะวันตก	23.7	12.821		
แผ่นฉนวนความร้อนผิวไม้อัดหนา 8 มม. มีฉนวน	1.855	เหนือ	19.5	9.043	44.101	ผ่าน
		ใต้	26.3	12.196		
		ตะวันออก	25.6	11.872		
		ตะวันตก	23.7	10.990		

ตารางที่ 8. (ต่อ)

ชนิดของแผ่นฉนวนความร้อน	ค่า U_w ($W/m^2°C$)	ทิศ	ค่า TD_{eq} (°C)	ค่า OTTV ในแต่ละทิศ (W/m^2)	ค่า OTTV รวม (W/m^2)	เกณฑ์มาตรฐานค่า OTTV รวม (W/m^2)
แผ่นฉนวนความร้อนผิววีว่าบอร์ดหนา 8 มม. ไม่มีฉนวน	2.739	เหนือ	20.1	13.763	67.103	ไม่ผ่าน
		ใต้	27.1	18.556		
		ตะวันออก	26.1	17.871		
		ตะวันตก	24.7	16.913		
แผ่นฉนวนความร้อนผิววีว่าบอร์ดหนา 8 มม. มีฉนวน	2.118	เหนือ	20.1	10.642	51.888	ไม่ผ่าน
		ใต้	27.1	14.349		
		ตะวันออก	26.1	13.819		
		ตะวันตก	24.7	13.078		
แผ่นฉนวนความร้อนผิววีว่าบอร์ดหนา 10 มม. ไม่มีฉนวน	2.732	เหนือ	19.5	13.318	64.951	ไม่ผ่าน
		ใต้	26.3	17.962		
		ตะวันออก	25.6	17.484		
		ตะวันตก	23.7	16.187		
แผ่นฉนวนความร้อนผิววีว่าบอร์ดหนา 10 มม. มีฉนวน	2.155	เหนือ	19.5	10.505	51.174	ไม่ผ่าน
		ใต้	26.3	14.169		
		ตะวันออก	25.6	13.792		
		ตะวันตก	23.7	12.768		

หมายเหตุ ค่า OTTV ตามมาตรฐานกระทรวงพลังงานกำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 45 W/m^2

จากผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง พบว่าแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ไม้อัดหนา 5 มม. มีฉนวน มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังได้น้อยที่สุดเท่ากับ 40.693 W/m^2 รองลงมาคือแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ไม้อัดหนา 8 มม. มีฉนวน มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเท่ากับ 44.101 W/m^2 มีเพียงแผ่นฉนวนความร้อน 2 ชนิดนี้เท่านั้น ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกระทรวงพลังงานที่กำหนดค่า OTTV ต้องน้อยกว่า 45 W/m^2



ภาพที่ 13. กราฟแสดงค่า OTTV ของแผ่นฉนวนความร้อน

สรุปผล

จากการศึกษาผลแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยมะพร้าว โดยมีการผลิตแผ่นไส้ฉนวนกันความร้อน แผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ปิดผิวแบบ Sandwiched เปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยมะพร้าวชุดควบคุม มีผลการศึกษาดังนี้

พบว่าเส้นใยมะพร้าวจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.39 และการผ่อนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเส้นใยมะพร้าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 90.00 การวิเคราะห์ขนาดเส้นใยมะพร้าว (Screen Analysis) พบว่าเส้นใยมะพร้าวที่ค้างอยู่บนตะแกรงเมช 40 มีปริมาณโดยน้ำหนักมากที่สุดมีค่า 24.45 %

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเชิงกลของแผ่นไส้ฉนวนความร้อนพบว่า ค่าการพองตัวหลังแช่น้ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 277.39% ค่าการต้านทานแรงดัดมีค่าเฉลี่ย 0.206 MPa ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 84.92 MPa ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 398.90 kg/m^3 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และค่าความชื้นเฉลี่ยที่ทดสอบได้อยู่ที่ 6.35%

จากผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นไส้ฉนวนความร้อน พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.0795 W/mK จัดได้ว่ามีคุณสมบัติในความเป็นฉนวนความร้อน ค่าการนำความร้อนแผ่นปิดผิว แผ่นไม้อัด 5 mm มีคุณสมบัติในความเป็นฉนวนความร้อนเพียงชนิดเดียว เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.0791 W/mK ค่าการนำความร้อนแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ปิดผิวแบบ Sandwiched แผ่นฉนวนสอดไส้แผ่นทดสอบปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดหนา 5 มม ให้ค่าความเป็นฉนวนความร้อนดีที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.0799 W/mK และแผ่นฉนวนสอดไส้แผ่นแบบไม่มีไส้ปิดผิวด้วยแผ่นไม้อัดสารแร่ หนา 10 มม. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.2225 W/mK

จากผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง พบว่าแผ่นฉนวนความร้อนสอดไส้ไม้อัดหนา 5 มม. มีฉนวน มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังได้น้อยที่สุดเท่ากับ 40.693 W/m^2 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานกระทรวงพลังงานที่กำหนดไว้ว่า ค่า OTTV ต้องน้อยกว่า 45 W/m^2

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ ส่วนพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาป่าไม้ กรมป่าไม้ ทุกท่านที่ช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2552. คู่มือการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ตามกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารและมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552. กรุงเทพ: ศูนย์ประสานงานออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 246 หน้า.

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ. 2548. การพัฒนาฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. ปริญญานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 154 หน้า.

พันธุดา พุฒิไพโรจน์ สัทธา ปัญญาแก้ว และวรธรรม อุ่นจิตติชัย. 2552. การพัฒนาแผ่นฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น. กรุงเทพมหานคร. 164 หน้า.

สมพร ปัญญาไว เดชา ไชยเคน และอธิพงศ์ บุญส่ง. 2550. ฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางธรรมชาติ. ปริญญานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร. 156 หน้า.

สุตินัย ยามศรีสุข. 2554. การศึกษาประสิทธิผลในการใช้หญ้าสลาบหลวงเป็นฉนวนกันความร้อนเข้าสู่อาคาร. ปริญญานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพมหานคร. 174 หน้า.

ISO 3130:1975 Wood determination of moisture content for physical and mechanical tests.

ISO 3131:1975 Wood determination of density for physical and mechanical tests.

ISO 3133:1975 Wood determination of ultimate strength in static bending.