



การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลในครัวเรือนโดยใช้ฉนวนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
THERMAL EFFICIENCY ENHANCEMENT OF HOUSEHOLD BIOMASS STOVE
USING AGRICULTURAL WASTE INSULATION

รณชัย เพ็ชรแก้ว

RONNACHAI PHETKAEW

วชิรญาณ ธนบัตร

WACHIRAYA THANABAT

สิชล ศรีทอง

SICHON SRITHONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลในครัวเรือนโดยใช้ฉนวนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
THERMAL EFFICIENCY ENHANCEMENT OF HOUSEHOLD BIOMASS STOVE
USING AGRICULTURAL WASTE INSULATION



รณชัย เพ็ชรแก้ว
RONNACHAI PHETKAEW
วชิรญาณ ธนบัตร
WACHIRAYA THANABAT
สิชล ศรีทอง
SICHON SRITHONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL EFFICIENCY ENHANCEMENT OF HOUSEHOLD BIOMASS STOVE
USING AGRICULTURAL WASTE INSULATION



RONNACHAI PHETKAEW
WACHIRAYA THANABAT
SICHON SRITHONG

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลในครัวเรือนโดยใช้
ฉนวนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Project Title THERMAL EFFICIENCY ENHANCEMENT OF HOUSEHOLD
BIOMASS STOVE USING AGRICULTURAL WASTE INSULATION

ชื่อนักศึกษา นายรณชัย เพ็ชรแก้ว รหัสประจำตัว 61514010
นางสาวชिरินาญ ธนบัตร รหัสประจำตัว 61514011
นางสาวสิชล ศรีทอง รหัสประจำตัว 61514022

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วรรษชล วัฒนนะ
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	กรรมการสอบ	
ผศ.วชร	กาลาสี	กรรมการสอบ	
ดร.อดิเรก	สุริยะวงศ์	กรรมการสอบ	
ดร.ศักกรินทร์	ชินกุลพิทักษ์	กรรมการสอบ	
ผศ.วรรษชล	วัฒนนะ	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 เวลา 09.00-17.00 น.

สถานที่สอบ ตึก C ห้อง112 ห้องประชุมวิทยาศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลในครัวเรือนโดยใช้ฉนวนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	
ชื่อนักศึกษา	นายธณชัย เพ็ชรแก้ว	รหัสประจำตัว 61514010
	นางสาวชिरุญาณ์ ธนบัตร	รหัสประจำตัว 61514011
	นางสาวสิชล ศรีทอง	รหัสประจำตัว 61514022
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมพลังงาน	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ววรรษชล วัฒนนะ	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากหมากและผักตบชวาที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนโดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสานเพื่อทดแทนฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากใยสังเคราะห์ โดยเริ่มต้นการทดลองจากการนำผักตบชวาและกากหมากมาบดละเอียด จากนั้นอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 120 °C ทุกๆ 2 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ นำมาร้อนตะแกรงขนาด <math><250 \mu\text{m}</math> และ ขนาด$250\text{--}500 \mu\text{m}$ นำเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกากหมากผสมกับน้ำยางพารา ในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) ทำการอัดรูปร้อนด้วยบล็อกสี่เหลี่ยม ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 30 นาที เมื่อได้ชิ้นงานตัวอย่างแล้วจึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติปริมาณความชื้น, คุณสมบัติค่าความหนาแน่น, คุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล โดยการทดสอบด้วยกระบวนการ Water Boiling Test (WBT) ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เป็นการทดลองแบบ hot start จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของเส้นใยกากหมาก ลดลงตามอัตราส่วนของเส้นใยที่น้อยลงและขนาดของเส้นใยที่เล็กลง ความชื้นของเส้นใยผักตบชวาลดลงตามอัตราส่วนของเส้นใยที่น้อยลง และขนาดของเส้นใยที่ใหญ่ขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกากหมาก เพิ่มขึ้นตามขนาดของเส้นใยที่ใหญ่ขึ้นและอัตราส่วนของเส้นใยที่น้อยลง เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกับน้ำยางพาราที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนระหว่างกากหมากกับน้ำยางพาราที่ขนาด <math><250 \mu\text{m}</math> ในอัตราส่วน 22:78 (wt.%) ซึ่งมีค่าปริมาณความชื้น 3.58 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหนาแน่น 534.15 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ค่าประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล 6.6036 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ฉนวนกันความร้อน, เตาชีวมวล

Project Title	THERMAL EFFICIENCY ENHANCEMENT OF HOUSEHOLD BIOMASS STOVE USING AGRICULTURAL WASTE INSULATION	
Student	Mr.Ronnachai Phetkaew	Student ID 61514010
	Miss Wachiraya Thanabat	Student ID 61514011
	Miss Sichon Srithong	Student ID 61514022
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Energy Engineering	
Project Advisor	Asst.Prof.Wassachol Wattana	

ABSTRACT

The objective of this study is to study the feasibility of using betel nut leaf sheet and water hyacinth, a waste material from agriculture as used para latex as a binder, to produce insulation sheets to replace the insulation made from synthetic fibers. Start from using water hyacinth and betel nut leaf sheet to grind finely. Then dehumidify at 120 °C every 2 hours until the weight is stable. The sieves of sizes < 250 μm and sizes 250–500 μm were sifted. Water hyacinth fibers and betel nut leaf sheet fibers were mixed with para latex at the ratios of 22:78, 25:75 and 30:70 (wt.%) for hot extrusion in rectangular block and heated at 180 °C for 30 min. The specimen was obtained and analyzed for moisture content properties, density properties, thermal conductivity coefficient properties. The efficiency of biomass stove was calculated by testing with the Water Boiling Test (WBT) process according to the specified conditions, it is a hot start experiment. The experimental results showed that, moisture content of betel nut leaf sheet fibers reduced with less fiber ratio and smaller fiber size, the moisture content of water hyacinth fiber decreases with less fiber ratio and larger fiber sizes. At the same time, the density of water hyacinth and betel nut leaf sheet fibers increased with larger twine size and smaller fiber ratio. Considering all the experimental results, it was found that the optimal ratio between fiber and latex was the ratio between betel nut leaf sheet and para latex at the size of 250-500 μm at the ratio of 25:75 (wt.%), which was 5.75 % moisture content and density of 672.23 kg/m³. The thermal conductivity of 19.6559 w/ m² °c and efficiency of biomass stove was 6.58 %.

Keywords: thermal insulation, biomass stove

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความช่วยเหลือ จากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้เสร็จ ลงได้ คือ ผศ.วรัชชล วัฒนะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมาซึ่ง ต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้เอื้อเฟื้อ อนุเคราะห์ข้อมูล และความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆร่วมงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้า และเพื่อนๆในกลุ่ม ทุกๆ ด้าน ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่ เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาครั้งนี้ยิ่งเต็มที่ และ ยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบไม่ได้ ข้าพเจ้าขอระลึกถึงในพระคุณอัน สูงสุดและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

รณชัย เพ็ชรแก้ว
วชิรญาณ ธนบัตร
สิชล ศรีทอง
กรกฎาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษาโครงการ	3
1.6 สถานที่ทำการวิจัย	4
1.7 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนที่ดี	7
2.3 ประโยชน์ของฉนวนกันความร้อน	8
2.4 กลไกการถ่ายโอนความร้อน	8
2.5 เตาแก๊สชีวมวล	15
2.6 เส้นใยธรรมชาติ	16
2.7 กาบหมาก	20
2.8 ผักตบชวา	21
2.9 น้ำยางธรรมชาติ	21
2.10 ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง	22
2.11 การทดสอบคุณสมบัติแผ่นฉนวนกันความร้อน	22
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 อุปกรณ์ขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อน	31
3.2 อุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล	38
3.3 กระบวนการ และวิธีการดำเนินงาน	41
3.4 กระบวนการ/วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน	47
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากและเส้นใย ผักตบชวาโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน	58
4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากและเส้นใย ผักตบชวาโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน	66
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	80
ภาคผนวก ข แบบและขนาดของเตาชีวมวล	96
ประวัติผู้เขียน	100

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การดำเนินงานของการศึกษา	4
2.1	ประเภทของฉนวนกันความร้อน	5
2.2	เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ	6
2.3	ค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุบางชนิดที่อุณหภูมิห้อง	10
2.4	ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย	12
2.5	ค่าสภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวของวัสดุบางชนิดที่อุณหภูมิ 300 K	14
3.1	คุณสมบัติทดสอบและวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน	47
3.2	อัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อน	47
4.1	แสดงลักษณะกายภาพภายนอกของชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อน	56
4.2	ค่าคุณสมบัติเส้นใยผักตบชวา เส้นใยกาบหมาก และวัสดุชีวมวล	67
4.3	ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมากเปรียบเทียบกับเตาชีวมวลเปล่า	73
ก.1	ค่าความชื้นของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ขนาด 250-500 μm	81
ก.2	ค่าความชื้นของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ขนาด < 250 μm	81
ก.3	ค่าความหนาแน่นของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ขนาด 250-500 μm	82
ก.4	ค่าความหนาแน่นของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ขนาด < 250 μm	82
ก.5	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ไม่ติดฉนวนกันความร้อนระหว่างการดำเนินการ	83
ก.6	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	83
ก.7	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	84
ก.8	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	84
ก.9	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	85
ก.10	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	85

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.11	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	86
ก.12	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	86
ก.13	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	87
ก.14	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	87
ก.15	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	88
ก.16	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	88
ก.17	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	89
ก.18	ลักษณะอนุภาคภายในเตาชีวมวลภายนอกเตาชีวมวลและอนุภาคของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ไม่ติดฉนวน ระหว่างการดำเนินการ	89
ก.19	ลักษณะอนุภาคภายในเตาชีวมวลภายนอกเตาชีวมวล และอนุภาคของน้ำของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	90
ก.20	ลักษณะอนุภาคภายในเตาชีวมวลภายนอกเตาชีวมวลและอนุภาคของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	90
ก.21	ลักษณะอนุภาคภายในเตาชีวมวลภายนอกเตาชีวมวลและอนุภาคของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	91

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.22	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	91
ก.23	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	92
ก.24	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	92
ก.25	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	93
ก.26	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	93
ก.27	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ	94
ก.28	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	94
ก.29	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	95
ก.30	ลักษณะอนุหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอนุหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ	95

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานของการศึกษา	3
2.1	การนำความร้อนจากอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังเครื่องต้มระบองที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าผ่านผนังของกระป๋อง	9
2.2	การถ่ายโอนความร้อนจากผิววัตถุร้อนสู่อากาศโดยการพาความร้อน	11
2.3	การพาความร้อน (ก) แบบบังคับ (ข) แบบอิสระ	11
2.4	การแผ่รังสีสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างผิวของสองวัตถุที่ถูกกั้นด้วยบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าวัตถุทั้งสอง	13
2.5	การแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ	15
2.6	เตาแก๊สชีวมวล 4 ชนิด	15
2.7	ใยฝ้าย	17
2.8	ใยุ่น	17
2.9	ใยลินิน	17
2.10	ใยปอ	18
2.11	ใยสับปะรด	18
2.12	ใยปานศรนารายณ์	19
2.13	เส้นใยมะพร้าว	19
2.14	ขนสัตว์	19
2.15	ไหม	20
2.16	แร่ใยหิน	20
2.17	กาบหมาก	21
2.18	ผักตบชวา	21
2.19	น้ำยางธรรมชาติ	22
2.20	ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง	22
3.1	เครื่องอัดไฮดรอลิก ขนาด 60 ตัน	31
3.2	เกจวัดความดันจากเครื่องอัดไฮดรอลิก	31
3.3	ฮีตเตอร์แบบรัดบล็อกขนาด 220V 12000W	32
3.4	ฮีตเตอร์แบบแผ่นขนาด 220V 12000W	32
3.5	เครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น MC-2438	32
3.6	เทอร์โมคัปเปิล Type K (TKS-S1-1.6X25-1M)	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.7	บล็อกอัดขึ้นรูปนวนวกันความร้อน	33
3.8	แผ่นเหล็กกล้า ประกอบด้านบน และด้านล่างของบล็อกอัดขึ้นรูปนวนวกันความร้อน	33
3.9	แผ่นเหล็กกล้ารองฐานบล็อกอัด	34
3.10	อุปกรณ์ผสมวัสดุดิบ	34
3.11	ตู้อบลมร้อน	35
3.12	เครื่องบดละเอียด	35
3.13	เครื่องบดละเอียดมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า	35
3.14	เครื่องแยกขนาด รุ่น AS200 Retsch	36
3.15	เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ชนิด 3 ตำแหน่ง	36
3.16	เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ชนิด 2 ตำแหน่ง	37
3.17	โถดูดความชื้น	37
3.18	ถ้วยเซรามิกขนาด 50 มิลลิลิตร	37
3.19	เวอร์เนียคาลิเปอร์ ขนาด 6 นิ้ว	38
3.20	เตาชีวมวลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตร	38
3.21	ชุดฐานตั้งเหล็กวิทยาศาสตร์ เสา 60 ซม.	38
3.22	ปิ๊กเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร	39
3.23	เทอร์โมมิเตอร์ เปียก-แห้ง	39
3.24	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล	40
3.25	หม้อต้มเคลือบ ขนาด 12 เซนติเมตร	40
3.26	เครื่องวัดอุณหภูมิ HT-9815 4 K – Type	40
3.27	(ก) ผักตบ (ข) กาบหมาก	41
3.28	ลักษณะของ (ก) เส้นใยผักตบ (ข) เส้นใยกาบหมาก ผ่านกระบวนการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียดมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า	41
3.29	ลักษณะของ (ก) เส้นใยผักตบ (ข) เส้นใยกาบหมาก ผ่านกระบวนการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียดมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า	42
3.30	เส้นใยผักตบและกาบหมาก มาอบด้วยตู้อบลมร้อน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	42
3.31	(ก) เส้นใยผักตบ (ข) เส้นใยกาบหมาก แต่ละขนาดตามลำดับ	43
3.32	น้ำยางพารา	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.33	เส้นใยผักตบและกาบหมาก ผสมน้ำยารพารา	44
3.34	ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน	44
3.35	ส่วนผสมใส่ลงในบล็อกเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปจนวนกันความร้อน	44
3.36	การอัดขึ้นรูปจนวนกันความร้อน	45
3.37	แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลอง	46
3.38	บรรจุชิ้นงานทดสอบในถ้วยทนไฟเซรามิก	48
3.39	ชั่งน้ำหนักตัวอย่างขึ้นทดสอบปริมาณ 5 กรัม	48
3.40	อบขึ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส	49
3.41	พักขึ้นทดสอบภายในโถดูดความชื้น	49
3.42	ขึ้นงานทดสอบจำนวน 24 ชิ้น เก็บที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 28 วัน	50
3.43	ชั่งน้ำหนักตัวอย่างขึ้นทดสอบหลังจากครบ 28 วัน	50
3.44	วัดระยะขนาด (ก) วัดขนาดความกว้าง และความยาว (ข) วัดขนาดความหนา	51
3.45	ตัวอย่างขึ้นทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดกว้าง 25 มิลลิเมตร	51
3.46	ขึ้นงาน Insulation ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 70 มิลลิเมตร	52
3.47	ตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ Heat Conduction	52
3.48	เครื่องทดสอบ Heat Conduction Laboratory	52
3.49	ชั่งมวลน้ำ 300 กรัม	53
3.50	ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง 500 กรัม	53
3.51	ติดตั้งฉนวนและเครื่องวัดอุณหภูมิ	54
3.52	วัดอุณหภูมิของน้ำในภาชนะก่อนต้มน้ำและบันทึกข้อมูล	54
3.53	ป้อนเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบและเริ่มจับเวลา	55
3.54	วัดอุณหภูมิของน้ำในภาชนะก่อนต้มน้ำและบันทึกข้อมูล	55
4.1	ลักษณะกายภาพภายนอกของขึ้นงานทดสอบจนวนกันความร้อนที่ขึ้นรูปไม่ได้	57
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมากที่ขนาด 250-500 μm	58
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมากที่ขนาด <250 μm	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยกาบหมากที่ขนาด <250 และ 250-500 μm	60
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm	61
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมาก ที่ขนาด <250 μm	62
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมาก ที่ขนาด 250-500 μm	63
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยกาบหมาก ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm	64
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm	65
4.10	ค่าประสิทธิภาพของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากและฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาที่ขนาด 250-500 μm และ <250 μm ในทุกอัตราส่วน	68
4.11	ความสัมพันธ์การสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอกระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากขนาด 250-500 μm ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยกาบหมากกับน้ำยางพารา	69
4.12	ความสัมพันธ์การสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอกระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากขนาด <250 μm ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยกาบหมากกับน้ำยางพารา	70
4.13	ความสัมพันธ์การสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอกระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาขนาด 250-500 μm ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยผักตบชวากับน้ำยางพารา	71
4.14	ความสัมพันธ์การสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอกระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาขนาด <250 μm ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยผักตบชวากับน้ำยางพารา	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นสำหรับมนุษย์อย่างมาก เมื่อจำนวนประชากรโลกเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการด้านพลังงานมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตาม และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในประเทศไทย การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตของเศรษฐกิจ โดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 49.5 ของการใช้พลังงานทั้งหมด รองลงมาประกอบด้วยไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม พลังงานหมุนเวียนถ่านหิน ลิกไนต์ และ ก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 18.2, 10.7, 7.9, 7.0 และ 6.9 ตามลำดับ [1] ในสภาวะที่ทั่วโลกกำลังขาดแคลนพลังงาน อีกทั้งวิกฤตการณ์ทางด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมไปทุกประเทศทั่วโลก และประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบนั้นด้วย โดยเฉพาะวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานที่ส่งผลโดยตรงต่อรายจ่ายในครัวเรือนโดย พบว่ารายจ่ายของครัวเรือนทางด้านพลังงานสูงขึ้น 30 - 40% ของรายได้ครอบครัว เนื่องมาจากราคาแก๊สหุงต้มและราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น ปัจจุบันแก๊สหุงต้มมีราคาประมาณ กิโลละ 18 ถึง 20 บาท และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ [2] อย่างไรก็ตามยังมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในชุมชนเช่น เศษไม้ ถ่านหินแครบ ซึ่งนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถทดแทนการใช้แก๊สหุง ต้มในครัวเรือนอุตสาหกรรมครัวเรือนได้

ประเทศไทยในแถบชนบทยังมีการใช้เตาถ่านเพื่อหุงต้มอาหารเป็นจำนวนมากเนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อเพลิงได้ง่าย ประหยัดพลังงาน แต่เตาถ่านที่ใช้อยู่ไม่มีมีการออกแบบเพื่อคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมทางหน่วยงานด้านพลังงานจึงได้มีการคิดค้นสร้างเตาแก๊สชีวมวล เพื่อใช้ในการหุงต้มให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม เตาแก๊สชีวมวลได้ถูกพัฒนามาจากเตาหุงต้มแบบทั่วไป นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับฉนวนในเตาแก๊สชีวมวล แต่ฉนวนที่ในปัจจุบัน คือ โยสังเคราะห์ชนิดต่างๆซึ่งมีราคาแพงและหาซื้อได้ยาก เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย ในการ ใช้ฉนวนในเตาชีวมวล จึงมีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นฉนวน

ดังนั้นในการศึกษารั้วนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การนำเส้นใยของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ กาบหมาก และ ผักตบชวา มาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้แนวทางพาราเป็นตัวประสานโดยอาศัยกันอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน เป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอันเป็นแนวทางที่เป็นมิตรกับโลก และสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ กาบหมาก และ ผักตบชวา โดยใช้โดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ กาบหมาก และ ผักตบชวา กับน้ำยางพารา ที่เหมาะสมนำมาทำฉนวนกันความร้อน

1.2.3 เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล เมื่อใช้ฉนวนกันความร้อน

1.3 ขอบเขตของปฏิญยานิพนธ์

1.3.1 เส้นใยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ กาบหมาก และ ผักตบชวา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง อยู่ในช่วง 250-500 และ < 250 ไมโครเมตร

1.3.2 อัตราส่วนผสมของเส้นใยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ กาบหมาก และ ผักตบชวา กับน้ำยางพารา คือ 22:78 25:75 และ 30:70

1.3.3 ขนาดชิ้นงานทดสอบ 15×15 เซนติเมตร

1.3.4 เตาเผาที่ใช้ในการทดลอง คือ เตาเผาชีวมวล

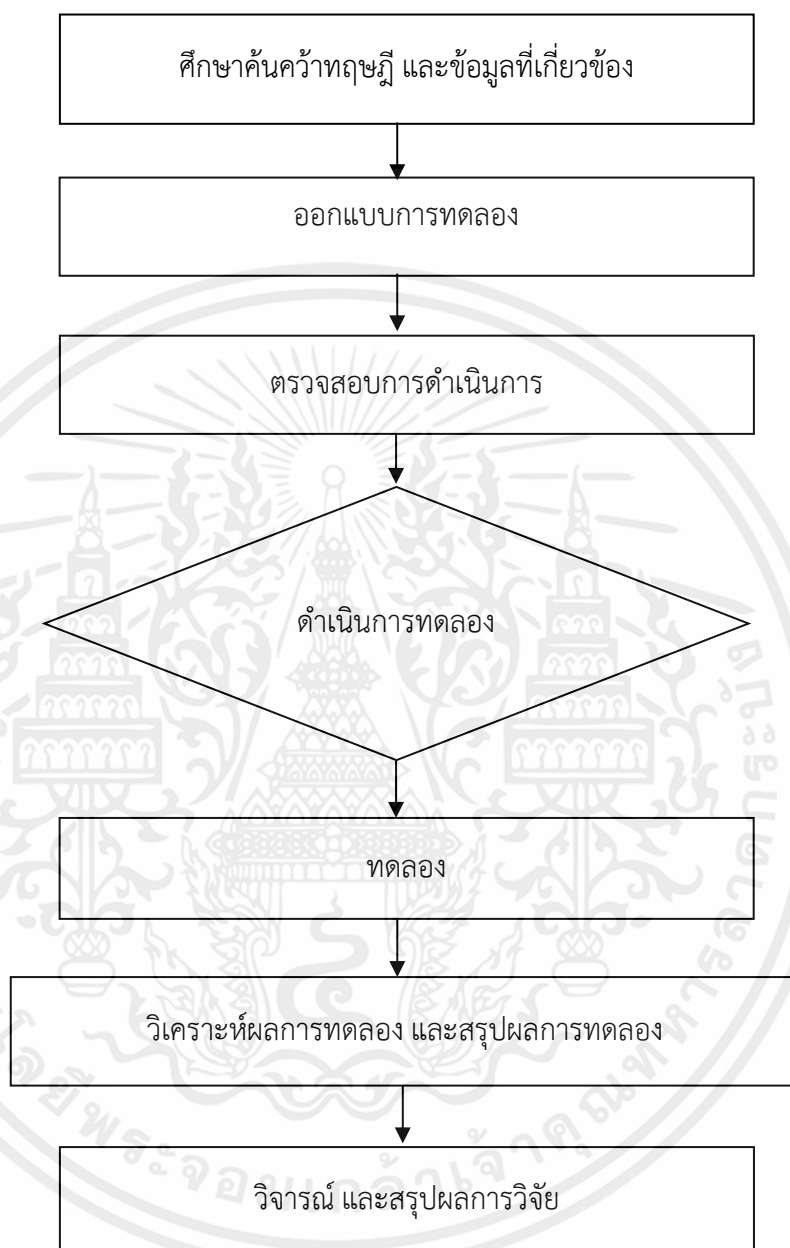
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.4.2 สามารถลดต้นทุนในการผลิตฉนวนกันความร้อน โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.4.3 สามารถผลิตฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ตามโครงการที่วางไว้

1.5 ขั้นตอนการศึกษาโครงการ



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานของการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับความเป็นมาและความสำคัญของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อนำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน ในเตาชีวมวลโดยวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อนหรือฉนวนความร้อน คือ วัตถุหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกัน สกัดกัน หรือชะลอความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้โดยง่าย เพื่อให้อุณหภูมิคงอยู่ในสภาพที่ต้องการ [3]

ตารางที่ 2.1 ประเภทของฉนวนกันความร้อน

ประเภทฉนวน	คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อเสีย
1) วัสดุฉนวนอลูมิเนียมฟอยล์	มีค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของผิวอลูมิเนียมต่ำ	มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนสูง ทนความร้อนได้ดี ไม่ติดไฟ และไม่ลามไฟไม่ฉีกขาดง่าย	ขาดคุณสมบัติในการป้องกันเสียง
2) วัสดุฉนวนแบบโฟม	เช่น โพลียูรีเทนโฟมเป็นฉนวนที่กันความร้อน	มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ รองรับน้ำหนักกด	เกิดก๊าซพิษเมื่อถูกไฟไหม้
3) วัสดุฉนวนใยแก้ว	ทำมาจากแก้วหรือเศษแก้วนำมาหลอม และเป็นเป็นเส้นใยละเอียดนำมาอัดรวมกัน	มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ มีคุณสมบัติด้านเสียงที่ดี	เส้นใยก่อให้เกิดการระคายเคือง ไม่เหมาะกับการใช้งานที่เปิดโล่งโดยไม่มีอะไรปกคลุม
4) วัสดุฉนวนใยหิน (Mineral Wool)	เป็นเส้นใยจากธรรมชาติ มีสารประกอบของแอสเบสตอส (Asbestos) ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ	มีคุณสมบัติในการกันความร้อน และดูดซับเสียงที่ดี ทนไฟ	ไม่ทนทานต่อความเปียกชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ประเภทของฉนวนกันความร้อน (ต่อ)

ประเภทฉนวน	คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อเสีย
5) เซลลูโลส (Cellulose)	เป็นวัสดุ Recycle ผสมเคมีเพื่อช่วยให้เกิดการยึดติด	มีค่าการกันความร้อน และเสียงที่ดี ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม	ไม่ทนต่อน้ำ และ ความชื้น สามารถหลุด ล่อนได้
6) แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate)	เป็นผงอัดเป็นแผ่น สำเร็จ	สามารถตัดต่อเหมือน แผ่นยิปซัม แต่มี คุณสมบัติในการ ต้านทานความร้อน ทาสีทับได้ ทนไฟ	มีน้ำหนักมาก ไม่ทนต่อ ความชื้น
7) เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite)	ทำจากแร่ไมก้า มี ลักษณะเป็นเกร็ด คล้ายกระจก เป็นผง นำไปผสมกับซีเมนต์ หรือทรายจะได้ คอนกรีตที่มีค่าการนำ ความร้อนต่ำ	สามารถหล่อเป็นรูป ต่างๆ ได้ ทนไฟ	มีน้ำหนักมาก
8) เซรามิกโค้ดติ้ง (Ceramic Coating)	ลักษณะของเหลวใช้ ทาหรือพ่น ช่วย สะท้อนความร้อนได้ดี	ติดตั้งง่าย มีคุณสมบัติ ช่วยป้องกันความร้อน ที่ผิวอาคารโดยตรง	อายุการใช้งานต่ำ เนื่องจากสภาวะอากาศ การติดตั้ง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	ค่าการนำความร้อน ($W \cdot m^{-1} K^{-1}$)
โฟมโพลียูรีเทน	0.023
โฟมแผ่น (โพลีสไตรีน)	0.031
ฉนวนใยแก้ว	0.035
ไม้อัด	0.123
แผ่นยิปซัม	0.191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนที่ดี

ฉนวนเป็นวัสดุหรือวัตถุที่ใช้เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียในระบบทำงาน และป้องกันการถ่ายเทความร้อนในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเลือกใช้ฉนวนความร้อนมีหลักควรพิจารณาดังนี้

1. ช่วงอุณหภูมิใช้งาน ที่ฉนวนใช้ได้โดยไม่เสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ
2. ค่าการนำความร้อน ค่าที่ต่ำกว่าจะลดการสูญเสียพลังงานได้ดีกว่า
3. กำลังการอัดบีบ ควรเลือกฉนวนที่ไม่เสียรูปทรงมาก โดยเปรียบเทียบจากปริมาณการเสียรูปทรงของฉนวนต่างๆที่ค่าเดียวกันว่ารับกำลังการอัดบีบได้เท่าไร
4. ความทนทานต่อการติดไฟ
5. โครงสร้างเซลล์ ซึ่งจะเป็นสิ่งกำหนดว่าฉนวนจะดูดซับความชื้นยากง่ายเพียงไร
6. รูปแบบของฉนวน ความหนา และรูปทรงของฉนวนจะเป็นตัวกำหนดได้ว่า ฉนวนนั้นมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานหรือไม่แล้วทำให้เป็นเส้นใย

ฉนวนกันความร้อนจะต้องเลือกใช้ให้เป็นที่ไปตามวัตถุประสงค์กับงาน และตามชนิดของฉนวน ซึ่งคุณสมบัติที่ดึนั้นควรมีน้ำหนักเบา และมีความหนาแน่นน้อยมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ กล่าวคือยอมให้ความร้อนผ่านตัวฉนวนได้น้อยมากในบางชนิดจะต้องมีความคงทนต่อแรงดึงแรงอัดได้ดี มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำมากหรือไม่มีเลยจะดีมาก สามารถต้านการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะทางเคมีมีความคงตัวสูง เปลี่ยนรูปได้ยากต้องทนต่อการติดไฟได้ดี ติดตั้งเพื่อใช้งานที่สะดวก และมีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย

ฉนวนความร้อนหรือฉนวนกันร้อน จะต้องเลือกให้ตรงกับวัตถุประสงค์ และตามชนิดการใช้งานของฉนวนความร้อน คุณสมบัติที่ดึนั้นพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักเบา และมีค่าความหนาแน่นน้อย
2. มีค่าการนำความร้อนต่ำ คือการให้ความร้อนไหลผ่านฉนวนได้ยาก
3. มีความคงทนต่อแรงอัดและแรงดึงได้เป็นอย่างดี
4. มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำหรือไม่มีเลยยังเป็นการดีมาก
5. มีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี
6. เปลี่ยนรูปได้ยาก และมีความคงตัวสูง
7. มีความทนต่อการติดไฟได้ดี (ไม่ติดไฟ)
8. สามารถใช้ได้กับอุณหภูมิที่กว้างหรือทุกระดับได้
9. ติดตั้งง่าย และสะดวก

2.3 ประโยชน์ของฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อน ผลิตจากการประสานแผ่น เมทัลไรส์ ฟอยล์บริสุทธิ์เข้ากับฉนวนโพลีเอทิลีน โฟม ทำให้มีประสิทธิภาพในการสะท้อนรังสีความร้อน และป้องกันการส่งผ่านความร้อน ฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุที่สร้างขึ้นมา เพื่อช่วยลดอุณหภูมิความร้อนในตัวอาคาร อีกทั้งยังเป็นการควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง หรือ ในบ้านให้อยู่คงที่ตามต้องการนั่นเอง ในปัจจุบันนี้บ้านเกือบทุกหลังรวมทั้งอาคารต่าง ๆ ต้องใช้ฉนวนกันความร้อน เพื่อการประหยัดพลังงาน ฉนวนกันความร้อนจึงเป็นเครื่องมือ สำหรับป้องกัน และรักษาอุณหภูมิเพื่อให้อากาศภายในห้องอยู่ในสภาวะปกติเหมาะสม ความร้อนจะถูกสกัด และป้องกันจากภายนอกไม่ให้เข้าไปภายในตัวอาคารเพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องไม่ร้อนอบอ้าว หรือร้อนจนอยู่ไม่ได้ อีกทั้งยังมีการเสริมเครื่องปรับอากาศ หรือ แอร์ เข้าไปด้วย เพื่อให้มีสภาพอากาศอยู่อย่างสบาย เพราะฉะนั้นเครื่องปรับอากาศจึงเป็นอุปกรณ์จำเป็นต้องใช้ในอาคารทุกแห่ง แต่การใช้เครื่องปรับอากาศจำเป็นต้องยอมรับกับค่าใช้จ่ายอย่างสูงเช่นกัน หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศคือ คอยดูดซับความร้อนออกจากห้อง ถ้าห้องที่มีอุณหภูมิสูงมาก เครื่องปรับอากาศก็ต้องทำงานหนักขึ้น และทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น [4]

2.3.1 ประโยชน์จากการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

1. ฉนวนกันความร้อน ช่วยลดความร้อน ป้องกันความร้อน ภายในอาคารได้อย่างดีเยี่ยม ช่วยลดความร้อนได้ดีกว่าการติดตั้งที่มีแค่ตัวหลังคา ช่วยลดความร้อนได้ถึง 97% มีค่าการนำความร้อนต่ำ คือการให้ความร้อนไหลผ่านฉนวนได้ยาก
2. ฉนวนกันความร้อน ลดเสียงดังช่วยกันเสียงที่ดังเข้ามาจากภายนอกได้เป็นอย่างดีมีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำหรือไม่มีเลยยิ่งเป็นการดีมาก
3. ฉนวนกันความร้อน ทนต่อไฟ และไม่ก่อให้เกิดการลุกลามของไฟเปลี่ยนรูปได้ยาก และมีความคงตัวสูง
4. ฉนวนกันความร้อน น้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรงสามารถใช้ได้กับอุณหภูมิที่กว้างหรือทุกระดับได้
5. ฉนวนกันความร้อนช่วยประหยัดพลังงาน เป็นการช่วยลดกระแสไฟฟ้าในแต่ละเดือนได้อย่างมากนั่นเอง

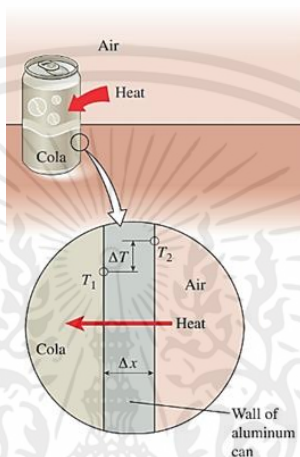
2.4 กลไกการถ่ายโอนความร้อน

กลไกการถ่ายโอนความร้อนมี 3 แบบ คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) โดยมีรายละเอียดดังนี้ [5]

2.4.1 การนำความร้อน (Heat Conduction)

การนำความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยอาศัยผลของการกระทำระหว่างอนุภาค การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยในแก๊ส และของเหลวการนำความร้อนเกิดจากการชนกันของโมเลกุลระหว่างการเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทางของโมเลกุลเหล่านั้น ส่วนในของแข็งเกิดจากการสั่นของโมเลกุล และการถ่ายโอนพลังงาน โดยอิเล็กตรอนอิสระ ตัวอย่างของการนำความร้อนเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อวางกระป๋องเครื่องดื่มที่มีอุณหภูมิต่ำไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะมีการนำความร้อนจากอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังเครื่องดื่มกระป๋องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าของกระป๋อง และทำให้อุณหภูมิของเครื่องดื่มสูงขึ้น



รูปที่ 2.1 การนำความร้อนจากอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังเครื่องดื่มกระป๋องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าผ่านผนังของกระป๋อง [6]

อัตราการนำความร้อน (rate of heat conduction, \dot{Q}_{cond}) ผ่านชั้นที่มีความหนา ΔX เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของอุณหภูมิแตกต่างระหว่างสองด้านของชั้นนั้นต่อความหนาของชั้น ($\Delta T / \Delta X$) และพื้นที่ถ่ายโอนความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการโอนความร้อน (A) โดยรูปของสมการเป็นดังนี้

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = k_t A \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (\text{w}) \quad (2.1)$$

โดย k_t เป็นค่าสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) ซึ่งบ่งชี้ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ (ตารางที่ 2.1) สำหรับชั้นที่บางมาก $\Delta X \rightarrow 0$ ความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.1 จะอยู่ในรูปอนุพันธ์ดังนี้

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = k_t A \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (\text{w}) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.2) เป็นที่รู้จักในชื่อของ กฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) เนื่องจากการถ่ายโอนมีทิศทางจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้ $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ มีเครื่องหมายเป็นลบ ดังนั้น เพื่อให้อัตราการนำความร้อนในทิศทาง X มีค่าเป็นบวกจึงมีการเติมเครื่องหมายลบไว้ด้านขวามือในสมการ (2.2)

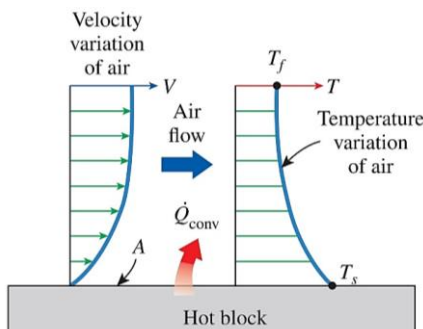
ตารางที่ 2.3 ค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุบางชนิดที่อุณหภูมิห้อง

วัสดุ	ค่าสภาพนำความร้อน (W/(m·K))
เพชร	2300
เงิน	429
ทองแดง	401
ทอง	317
อะลูมิเนียม	237
เหล็ก	80.2
ปรอท (ของเหลว)	8.54
แก้ว	1.4
อิฐ	0.72
น้ำ (ของเหลว)	0.613
ผิวหนังของคน	0.37
ไฟเบอร์กลาส	0.043
อากาศ (แก๊ส)	0.026

2.4.2 การพาความร้อน (Heat Convection)

การพาความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผิวของของแข็งกับของเหลวหรือแก๊ส (ของไหล) ที่มีการเคลื่อนที่ จึงอาจกล่าวได้ว่าการพาความร้อนเกิดขึ้นจากผลของการนำความร้อนรวมกับการไหลของของไหล โดยปริมาณการพาความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการไหลของของไหล

เมื่อพิจารณาการลดอุณหภูมิของวัตถุร้อนด้วยการเป่าอากาศเย็นลงบนวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 พลังงานจากวัตถุร้อนจะเกิดการถ่ายโอนเข้าสู่ชั้นของอากาศที่อยู่ติดกับผิวของวัตถุโดยการนำความร้อน และพลังงานนี้จะถูกถ่ายโอนออกจากบริเวณผิวโดยการพาความร้อน และแทนที่อากาศร้อนด้วยอากาศเย็น ในกรณีที่ไม่มี การเคลื่อนที่ของปริมาตรขนาดใหญ่ของของไหล (bulk fluid motion) จะถือว่าการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหลที่อยู่ติดกันนั้นเป็นการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว

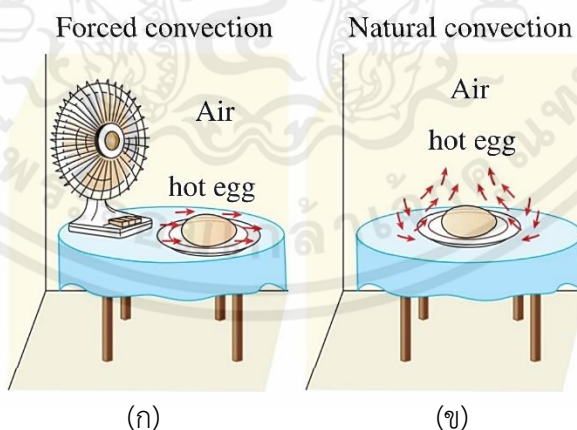


รูปที่ 2.2 การถ่ายโอนความร้อนจากผิววัตถุร้อนสู่อากาศโดยการพาความร้อน [6]

การพาความร้อนแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เช่น การใช้พัดลมเป่าอากาศให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านไข่ที่ร้อน (hot egg) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก)

2. การพาความร้อนแบบอิสระหรือธรรมชาติ (free or natural convection) เกิดขึ้นเมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงลอยตัว (buoyancy force) ของของไหลซึ่งแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล อันเป็นผลจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหล ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.3 (ข) โดยความร้อนจากไข่จะทำให้อากาศมีความหนาแน่นต่ำลง (เบา) จึงเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ขณะเดียวกันอากาศที่เย็นกว่า (มีความหนาแน่นสูงกว่าหรือหนักกว่า) จะเคลื่อนที่มาแทนที่



รูปที่ 2.3 การพาความร้อน (ก) แบบบังคับ (ข) แบบอิสระ [6]

การถ่ายโอนความร้อนในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสถานะของของไหล ถือว่าเป็นการพาความร้อนอย่างหนึ่ง เพราะมีการเคลื่อนที่ของของไหลในระหว่างกระบวนการ เช่น การเอกซเรย์เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอยของไอในระหว่างการเดือดหรือการหยดของของเหลวในระหว่างการควบแน่น สมการสำหรับหาอัตราการพาความร้อน อยู่ในรูปกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) ซึ่งสามารถพิจารณาประกอบกับข้อมูลในรูปที่ 2.2 ได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA(T_s - T_f) \quad (w) \quad (2.3)$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convection heat transfer coefficient)

A คือ พื้นที่ผิวที่เกิดการถ่ายโอนความร้อน (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิของผิววัตถุ (K หรือ $^{\circ}C$)

T_f คือ อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างจากผิวของวัตถุ (K หรือ $^{\circ}C$)

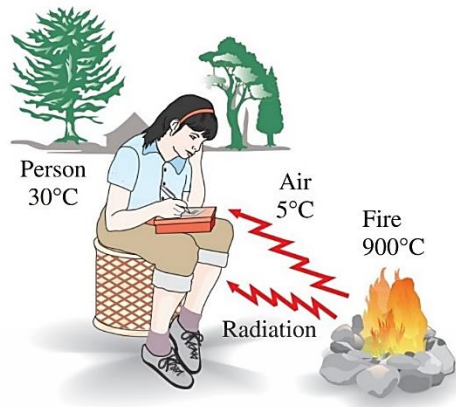
สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นสมบัติที่ได้จากการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ลักษณะการไหลของของไหล และสมบัติทางเคมีของของไหล เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย

ประเภทการพาความร้อน และชนิดของของไหล	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)
การพาความร้อนแบบอิสระ, แก๊ส	2-25
การพาความร้อนแบบอิสระ, ของเหลว	50-1000
การพาความร้อนแบบบังคับ, แก๊ส	25-250
การพาความร้อนแบบบังคับ, ของเหลว	50-20,000
การพาความร้อนระหว่างการระเหย และควบแน่น	2500-100,000

2.4.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยการเปล่งรังสีความร้อนจากผิวของวัตถุในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน (electromagnetic wave or photon) โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ดังนั้นการแผ่รังสีจึงสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างผิวของสองวัตถุที่ถูกกั้นด้วยบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าวัตถุทั้งสอง (รูปที่ 2.4) หรือในสุญญากาศ (ที่คุ้นเคยกันดีคือการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก)



รูปที่ 2.4 การแผ่รังสีสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างผิวของสองวัตถุที่ถูกกั้นด้วยบรรยากาศที่มี อุณหภูมิต่ำกว่าวัตถุทั้งสอง [6]

วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์สามารถแผ่รังสีได้ อัตราการแผ่รังสีความร้อนสูงสุดจากผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่ากับ T_s เป็นไปตามกฎของสตีฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-Boltzmann law) ดังนี้

$$\dot{Q}_{\text{emit,max}} = \sigma A T_s^4 \quad (\text{w}) \quad (2.4)$$

โดยที่ σ คือ ค่าคงที่สตีฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-Boltzmann constant)

มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

A คือ พื้นที่ผิวของวัตถุที่แผ่รังสีความร้อน (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุแผ่รังสีความร้อน (K)

พื้นผิวอุดมคติ (idealized surface) ของวัตถุที่สามารถแผ่รังสีได้สูงสุดซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.5) นั้นเรียกว่าวัตถุดำ (blackbody) สำหรับพื้นผิววัตถุจริงจะแผ่รังสีได้น้อยกว่าพื้นผิวอุดมคติ โดยมีอัตราการแผ่รังสีความร้อนเป็นไปตามสมการ ดังนี้

$$\dot{Q}_{\text{emit}} = \epsilon \sigma A T_s^4 \quad (\text{w}) \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ϵ คือ สภาพเปล่งรังสี (emissivity; ϵ) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $0 \leq \epsilon \leq 1$ โดยพื้นผิววัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงสุด (พื้นผิวอุดมคติ หรือวัตถุดำ) มีค่า $\epsilon = 1$ สำหรับตัวอย่างค่าสภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวของวัสดุบางชนิดเป็นดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 ค่าสภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวของวัสดุบางชนิดที่อุณหภูมิ 300 K

วัสดุ	ค่าสภาพเปล่งรังสี
ทองแดงขัดเงา	0.03
ทองขัดเงา	0.03
สแตนเลสตีลขัดเงา	0.17
สีดำ	0.98
สีขาว	0.90
กระดาษขาว	0.92-0.97
อิฐแดง	0.93-0.96
ผิวหนึ่งคน	0.95
ไม้	0.82-0.92
ดิน	0.93-0.96
น้ำ	0.96

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งเกี่ยวกับการแผ่รังสีความร้อนคือ สภาพดูดกลืน (absorptivity) ของพื้นผิวซึ่งเป็นส่วนของพลังงานที่ตกกระทบบนพื้นผิวแล้วถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวนั้น ค่าสภาพดูดกลืนนี้อยู่ในช่วง $0 \leq \alpha \leq 1$ สำหรับวัตถุดำมีค่า $\alpha = 1$ คือสามารถดูดกลืนพลังงานที่ตกกระทบได้ทั้งหมด

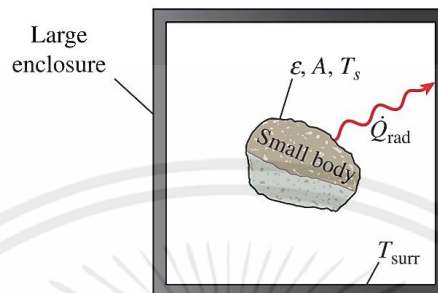
โดยทั่วไปทั้ง ϵ และ α ของพื้นผิวใดๆ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความยาวคลื่นของการแผ่รังสี แต่ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะไม่พิจารณาผลดังกล่าวแต่จะใช้เป็นค่าเฉลี่ยแทน สำหรับอัตราการดูดกลืนพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน (\dot{Q}_{abs}) เป็นผลคูณของสภาพดูดกลืนกับอัตราการตกกระทบของรังสีความร้อน ($\dot{Q}_{\text{incident}}$) ดังแสดงในสมการ 2.6

$$\dot{Q}_{\text{abs}} = \alpha \dot{Q}_{\text{incident}} \quad (w) \quad (2.6)$$

อัตราการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุที่มีขนาดพื้นผิว A อุณหภูมิ T_s และสภาพเปล่งรังสี ϵ กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบในลักษณะปริมาตรปิด (enclosure) ที่มีอุณหภูมิ T_{surr} (K) ในรูปที่ 2.5 เป็นดังนี้

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4) \quad (\text{w}) \quad (2.7)$$

ในสมการ (2.7) ถือว่าสภาพเปล่งรังสี และพื้นที่ผิวของสิ่งแวดล้อมไม่มีผลต่อการแผ่รังสี



รูปที่ 2.5 การแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ [6]

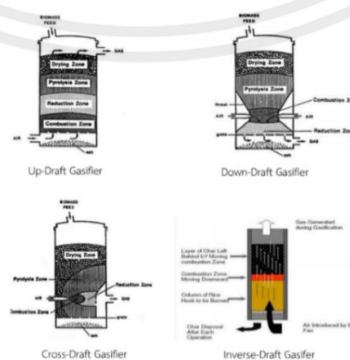
2.5 เตาแก๊สชีวมวล

เตาแก๊สชีวมวลถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการหุงต้มภายในครัวเรือน โดยนำเชื้อเพลิงมาเผาไหม้ เพื่อทำให้เกิดแก๊ส ความร้อนที่ได้ไปใช้ในการหุงต้ม และอื่นๆ

2.5.1 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

เตาแก๊สชีวมวลในทฤษฎีแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด

1. แบบอากาศไหลขึ้น Up-Draft Gasifier
2. แบบอากาศไหลลง Down-Draft Gasifier
3. แบบอากาศไหลตามขวาง Cross-Draft Gasifier
4. Inverse-Draft Gasifier



รูปที่ 2.6 เตาแก๊สชีวมวล 4 ชนิด [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงาน

1. อากาศภายนอกส่วนแรกไหลผ่านแผ่นปรับอากาศและตะแกรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ส่วนที่ 1 เกิดปฏิกิริยาได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ
2. แก๊สที่อุณหภูมิสูงจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ส่วนที่ 2 และเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอน ได้คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) และแก๊สมีเทน (CH₄)
3. อากาศส่วนที่ 2 ไหลเข้าผสมกับแก๊สที่เกิดขึ้นและลุกไหม้เป็นเปลวไฟให้ความร้อนออกมา[19]

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) เป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลที่สำคัญ โดยปฏิกิริยาทางเคมีในเครื่องผลิตก๊าซ แบ่งออกเป็น 4 โซนคือ

1. เขตอบแห้ง (Drying Zone) เขตนี้มีอุณหภูมิละหว่าง 150-400 องศาเซลเซียส ความชื้นของชีวมวลถูกระเหยเป็นส่วนใหญ่
2. เขตกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone) เขตนี้มีอุณหภูมิละหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส ได้เป็นของเหลว เช่น น้ำมันดิน มีก๊าซเชื้อเพลิงเล็กน้อย
3. เขตรีดักชัน (Reduction Zone) เขตนี้มีอุณหภูมิละหว่าง 600-950 องศาเซลเซียส เกิดก๊าซที่ติดไฟได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) และแก๊สมีเทน (CH₄)

เขตการเผาไหม้ (Combustion Zone) เป็นเขตที่ให้พลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์ จากปฏิกิริยาการเผาไหม้คาร์บอน และก๊าซออกซิเจน [7]

2.6 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)

เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มนุษย์รู้จักนำมาใช้ประโยชน์มาเป็นเวลานาน ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ ได้แก่ พืช สัตว์ และสินแร่ต่างๆ ปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากเส้นใยธรรมชาติได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น คือ น้ำหนักเบา เป็นฉนวนความร้อนที่ดี สวมใส่สบาย ปลอดภัยจากสารเคมี และมีความสวยงามเฉพาะตัว โดยเส้นใยธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด [8]

2.6.1 เส้นใยจากพืช หรือเส้นใยจากเซลลูโลส (Cellulose fibers)

เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น

2.6.1.1 เส้นใยที่หุ้มเมล็ด ได้แก่

1. ใยฝ้าย (Cotton) ฝ้ายที่ได้จากเส้นใยฝ้ายนั้นได้มาจากเมล็ดของฝ้าย โดยเมื่อแห้งจะแตกออกมาเป็นใยสีขาวมีความยาวที่แตกต่างกัน แล้วจึงนำมาทอเป็นผ้า ฝ้ายฝ้ายมีคุณสมบัติที่ดี และมีราคาถูกมีความทนทาน เรียบเป็นเงา ดูดซับน้ำได้ดี



รูปที่ 2.7 ใยฝ้าย (Cotton) [9]

2.ใยนุ่น (Kapok) ส่วนใหญ่มักนำเส้นใยนุ่นไปยัดเบาะ พูก หมอน ที่นอน ถูนอน ตุ๊กตา เนื่องจากมีคุณสมบัติดูดความชื้นต่ำ มีน้ำหนักเบา ทนต่อแมลงและเชื้อราได้ดี



รูปที่ 2.8 ใยนุ่น (Kapok) [10]

2.6.1.2 เส้นใยจากลำต้น ได้แก่

1. ใยลินิน (Linen) เป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนเปลือกของลำต้นแฟล็กซ์ (Flax) มีคุณสมบัติคือ ระบายอากาศได้ดีมาก ดูซับเหงื่อได้ดี แต่ย้ง่าย



รูปที่ 2.9 ใยลินิน (Linen) [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไยปอ (Jute) เส้นใยปอมีความสำคัญและถูกนำมาใช้ประโยชน์มากรองจากฝ้าย แม้เป็นเส้นใยที่ไม่เหมาะสำหรับใช้ทำเป็นเสื้อผ้า เพราะมีความหยาบกระด้าง และระคายผิว แต่เหมาะสำหรับใช้ทำเชือก กระสอบ ถุง ผ้าตาข่าย และใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมบางชนิด



รูปที่ 2.10 ไยปอ (Jute) [12]

2.6.1.3 เส้นใยจากใบ ได้แก่

1. ไยสับปะรด (Pineapple) เส้นใยสับปะรดสามารถนำมาใช้ทำเส้นใยสิ่งทอ มีคุณสมบัติเหนียว นุ่ม มักนำมาใช้ทำเชือก ด้ายเย็บ และผ้าเนื้อผ้า



รูปที่ 2.11 ไยสับปะรด (Pineapple) [13]

2. ไยปานครนารายณ์ (Sisal) มักนำมาใช้ประโยชน์สำหรับทำเชือกขนาดต่างๆ เพื่อใช้ในงานทางการเกษตร การเดินเรือ และเชือกห่อของ



รูปที่ 2.12 ไยป่านครนารายณ์ (Sisal) [14]

2.6.1.4 เส้นใยจากผล ได้แก่

1. เส้นใยมะพร้าว (Coir) เป็นเส้นใยที่ได้จากเปลือกของผลมะพร้าว ลักษณะเส้นใยแข็งกระด้าง ทนต่อความเปียกชื้น และการทำลายของจุลินทรีย์ได้ดี สามารถนำมาใช้ทำเบาะรถยนต์ ที่นอน เชือก เสื่อ แปรง และไม้กวาด



รูปที่ 2.13 เส้นใยมะพร้าว (Coir) [15]

2.6.2 เส้นใยจากสัตว์ หรือเส้นใยโปรตีน (Protein fibers)

2.5.2.1 เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยสารประเภทโปรตีน ได้แก่

1. ขนสัตว์ (Wool) ส่วนใหญ่ขนสัตว์ที่นำมาใช้ประโยชน์สำหรับทำเป็นเส้นใยมากที่สุดคือ ขนแกะ โดยเส้นใยขนแกะมีคุณสมบัติที่ดีเหมาะแก่การทำเสื้อผ้าที่ให้ความอบอุ่น และความสบายแก่ผู้สวมใส่ในฤดูหนาว เนื่องจากเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ดูดความชื้นได้ดี และไม่ยับ



รูปที่ 2.14 ขนสัตว์ (Wool) [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไหม (Silk) เป็นเส้นใยที่ได้จากหนอนไหม มีคุณสมบัติเหมาะแก่การทำเสื้อผ้า เนื่องจากผ้าไหมให้ความสบาย สวยงาม ทำให้มีราคาแพง



รูปที่ 2.15 ไหม (Silk) [17]

2.6.3 เส้นใยจากหินแร่ (Mineral fibers)

1. แร่ใยหิน (Asbestos) มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ทนความร้อนได้สูง มีความเหนียว และไม่นำไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 แร่ใยหิน (Asbestos) [18]

2.7 กาบหมาก (betel nut leaf sheet)

กาบหมาก หมายถึง ส่วนล่างของทางใบที่หุ้มลำต้นหมาก เมื่อแก่จัดแล้วหลุดออกมา มีลักษณะเป็นแผ่นแข็งเหนียว กาบสดจะเป็นสีเขียวอ่อน ในปัจจุบันมีการนำกากหมากมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร เช่น จานกาบ เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.17 กาบหมาก (betel nut leaf sheet) [19]

2.8 ผักตบชวา

ต้นผักตบชวา จัดเป็นพืชน้ำล้มลุกอยู่ได้หลายฤดู ลำต้นอวบน้ำ ลักษณะผิวเรียบแตกยอดเป็นกอ มีสีเขียวอ่อนและสีเขียวเข้มอยู่ในกอเดียวกัน ภายในลำต้นเป็นรูพรุน จึงทำให้ลอยน้ำได้ ผักตบชวาเป็นพืชที่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว พบได้บริเวณแม่น้ำลำคลอง



รูปที่ 2.18 ผักตบชวา (water hyacinth) [20]

2.9 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยาง (para rubber latex) เป็นการแผ่กระจายที่มันคงเสถียร(อิมัลชัน) ของไมโครพาทิเคิลพอลิเมอร์ในน้ำยางนั้นจะถูกพบได้ในธรรมชาติ แต่น้ำยางสังเคราะห์ก็ถูกพบได้ทั่วไปเช่นกัน

น้ำยางธรรมชาติ เป็นยางไม้ที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ ปัจจุบันมีการนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น อุตสาหกรรมการผลิตถุงมือยาง อุตสาหกรรมยางรถยนต์ เป็นต้น ทั้งในรูปแบบของน้ำยางสด หรือ การคงสภาพ และยางดิบประเภทต่างๆ



รูปที่ 2.19 น้ำยางธรรมชาติ (para rubber latex) [21]

2.10 ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง (charcoal coconut shell)

ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์จากส่วนของเปลือกมะพร้าวเก็บรักษาให้ดี ให้อายุการใช้งานความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีควันและไม่เกิดประกายไฟ ในขณะที่จุดติดหรือเผาไหม้



รูปที่ 2.20 ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง (Charcoal coconut shell) [22]

2.11 การทดสอบคุณสมบัติแผ่นฉนวนกันความร้อน

2.11.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 [23] โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง อุปกรณ์ คือ ตู้อบ (Drying oven), ถ้วยทนไฟ (Crucible), เครื่องชั่งดิจิตอล (Digital scales) โดยการหาปริมาณความชื้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2.8)

วิธีการหาปริมาณความชื้น

1. เตรียมตัวอย่างทดลองหรือวัตถุดิบให้มีปริมาณเล็กน้อยใส่ในถ้วยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำวัตถุบดใส่ลงในถ้วยชั่งโดยไม่ต้องปิดฝา ชั่งน้ำหนักวัตถุบด
3. อบตัวอย่างวัตถุบดที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
4. นำถ้วยชั่งที่ใส่ตัวอย่างวัตถุบดออกจากตู้อบเมื่อครบเวลาที่กำหนด และนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล

$$\text{Moisture}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (2.8)$$

โดยที่ Moisture คือ ปริมาณความชื้น หน่วย (เปอร์เซ็นต์)

W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างขึ้นทดสอบก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างขึ้นทดสอบหลังอบ (กรัม)

2.11.2 ความหนาแน่น (Density)

เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เนื่องจากนิยามของความหนาแน่น คือ มวลหารด้วยปริมาตร อ้างอิงตามมาตรฐาน European Standard 1602 [24] คำนวณได้จากสมการที่ (2.9)

$$\rho = \frac{m}{a \times b \times c} \quad (2.9)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น หน่วยเป็น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวล หน่วยเป็น (กิโลกรัม)

a คือ ความกว้างของตัวอย่างขึ้นทดสอบ หน่วยเป็น (เมตร)

b คือ ความยาวของตัวอย่างขึ้นทดสอบ หน่วยเป็น (เมตร)

c คือ ความหนาของตัวอย่างขึ้นทดสอบ หน่วยเป็น (เมตร)

2.11.3 Fourier's Law of Heat Conduction

การหาค่าการนำความร้อน โดยการนำค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2 จุด ในตำแหน่ง X_4 และตำแหน่ง X_5 วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C177 [25] โดยเครื่องทดสอบ Heat Conduction Laboratory นำค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามสมการที่ (2.11)

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.10)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ หน่วยเป็น (W)

k คือ ค่าการนำความร้อน, Thermal conductivity หน่วยเป็น ($W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อนของตัวอย่างชิ้นทดสอบ

หน่วยเป็น (m^2)

dt คือ ผลต่างอุณหภูมิ ($^\circ C$)

dx คือ ผลต่างระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

2.11.4 ประสิทธิภาพของเตา

นำเตาชีวมวลที่ใส่ถ่าน แต่ละชนิดทำการตรวจสอบหาประสิทธิภาพโดยการต้มน้ำตามสภาพแวดล้อมจริงและนำข้อมูลที่ได้มาหาประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล [26] ตามสมการที่ (2.12)

$$\eta = \frac{m_i c_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times c_f} \times 100 \quad (2.11)$$

โดยที่

η คือ ประสิทธิภาพ, %

m_i คือ มวลน้ำเริ่มต้น, kg

c_p คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ, $kg/^\circ C$

T_b คือ อุณหภูมิน้ำเดือด, $^\circ C$

T_i คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น, $^\circ C$

m_e คือ มวลที่น้ำระเหย, kg

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, kJ/kg

m_f คือ มวลเชื้อเพลิง, kg

c_f คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิง, kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.5 การหาความต้านทานฉนวน

หาค่าการต้านทานความร้อนรวมของผนังทั้งหมด [27]

$$R_{\text{รวม}} = R_{\text{ผนังด้านนอก}} + R_{\text{ผนังด้านใน}} + R_{\text{อากาศ}} + R_{\text{ฉนวน}} \quad (2.12)$$

หาความต้านทานได้จากสมการ (2.20)

$$R_i = \frac{d_i}{k_i}$$

โดยที่ R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อน, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$

d_i คือ ความหนาของวัสดุ, m

k_i คือ ค่าการนำความร้อน, $\text{w/m} \cdot ^\circ\text{C}$

2.11.6 ความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทจากผิวด้านในสู่ผิวด้านนอก

หาค่าความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวด้านในสู่ผิวด้านนอก [28]

$$Q = \left(\frac{T_1 - T_{n+1}}{R_C} \right) \quad (2.13)$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทจากผิวด้านในสู่ผิวด้านนอก

T_1 = อุณหภูมิภายใน, $^\circ\text{C}$

T_{n+1} = อุณหภูมิภายนอก, $^\circ\text{C}$

R_C = ความต้านทานการนำความร้อน, $^\circ\text{C} / \text{W}$

โดยที่ R_C หาจาก $\sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{1}{2\pi\lambda L} \right) \ln \left(\frac{r_{i+1}}{r_i} \right) \right\}$ (2.14)

λ = ประสิทธิภาพการนำความร้อน, $(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$

L = ความหนาของวัสดุ, (m)

r_i = รัศมีจุดต่างๆในเตาชีวมวล, (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Khuram Rashid และคณะ [29] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบเชิงทดสอบ และค่าการนำความร้อนของอิฐดินเผา เป็นอิฐมวลโดยใช้เส้นใยจากธรรมชาติเป็นส่วนผสม ได้แก่ ไม้ไผ่ ปอกระเจา มะพร้าว ป่านครนารายณ์ และเส้นใยโพลีเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเส้นใยที่มีพลังงานต่ำ ทำการทดสอบเส้นใย และทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ความหนาแน่น ค่าการนำความร้อนของก้อนอิฐ โดยการทำทดสอบการดูดซึมน้ำของเส้นใยและอิฐ จะมีการวัดความหนาแน่น และความพรุนรวมของอิฐและสร้างความสัมพันธ์การดูดซึมน้ำ จากผลจากการทดสอบ พบว่า การผสมเส้นใยในอิฐจะทำให้ความหนาแน่นลดลง ความพรุนของเส้นใยที่มากขึ้นจะเป็นการเพิ่มการดูดซึมน้ำ ชิ้นงานอิฐเสริมใยมะพร้าวมีการดูดซึมน้ำสูงสุด (17%) อิฐที่มีการเสริมเส้นใยทั้งหมด ลดค่าการนำความร้อนได้ 18% สำหรับตัวอย่างอิฐที่ผสมเส้นใยมะพร้าว ชิ้นงานอิฐเสริมแรงด้วยไม้ไผ่ ปอกระเจา โพลีเอสเตอร์และป่านครนารายณ์ มีค่าการนำความร้อนลดลง 11, 6, 16 และ 9% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐอ้างอิง การลดลงของค่าการนำไฟฟ้าสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของการดูดซึมน้ำ และสร้างความสัมพันธ์

Dang Mao Nguyen และคณะ [30] ได้ศึกษาอิทธิพลของสภาวะความร้อนกบถบนวัสดุฉนวนจากเส้นใยไม้ไผ่ และกาวยิปซัมยัดกระดุก การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความร้อนสำหรับแผ่นฉนวนกันความร้อนชีวภาพที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ จากเส้นใยไม้ไผ่ และโพรตีนจากกาวยิปซัม โครงสร้างทางจุลภาค, ฉนวนกันความร้อน, ความไวของน้ำ และคุณสมบัติเชิงกล จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากาวยิปซัมที่ทำจากโพรตีนทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานที่ดีสำหรับแผ่นใยไม้ไผ่ เมื่อเพิ่มปริมาณกาวยิปซัม 30% (W/W) และให้ความร้อนภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ($150 \text{ kg/cm}^2, 160^\circ \text{C}$) เป็นระยะเวลา 15 นาที วัสดุนี้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดและกันน้ำได้เนื่องจากการเกาะตัวของโพรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ ค่าการนำความร้อนของแผ่นใยไม้ไผ่อัดทั้งหมดอยู่ในช่วงต่ำระหว่าง 0.0582 ถึง $0.0812 \text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$ ที่ 57% RH และ 25°C และการเปลี่ยนแปลงตามความชื้นสัมพัทธ์และการแปรผันของความชื้น เส้นใยไม้ไผ่มีศักยภาพที่ดีสำหรับฉนวนกันความร้อนในอาคารที่มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า $0.082 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ แผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยไม้ไผ่ และกาวยิปซัมที่ผลิตจากกระดุกถูกผลิตขึ้นภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขซึ่งปรับให้เหมาะสม และนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์

Si Zou และคณะ [31] ได้ศึกษาการวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวกับวัสดุฉนวนชีวมวลจากขี้เลื่อยที่เป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับอาคาร เศษขี้เลื่อยซึ่งมีการผลิตสูงในประเทศจีนสามารถใช้เป็นวัตถุดิบของฉนวนเพื่อเพิ่มมูลค่าการใช้งาน และประหยัดทรัพยากรในขณะที่จีโอพอลิเมอร์จะเป็นกาวยิปซัมเนื่องจากมีลักษณะเฉพาะ และการปล่อย CO_2 ต่ำในระหว่างกระบวนการผลิต ดังนั้นวัสดุผสมที่ใช้ชีวมวลแบบใหม่ซึ่งสามารถใช้ในการสร้างฉนวนกันความร้อนได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยใช้จีโอพอลิเมอร์เป็นกาวยิปซัม และขี้เลื่อยเป็นมวลรวม นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักสามตัวเพื่อกำหนดสัดส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมของวัสดุโดยการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน และเชิงกล, การกันน้ำ และโครงสร้างจุลภาค ตัวแปรทั้งสามคืออัตราส่วนทำให้เปียกและมวลชีวมวล (อัตราส่วน Ww/B) อัตราส่วน H_2O_2 ต่อมวลของกาว (อัตราส่วน H/A) และอัตราส่วนมวลชีวมวลต่อกาว (อัตราส่วน B/A) ผลการวิจัยพบว่าวัสดุผสมที่มีอัตราส่วน Ww/B เท่ากับ 0.12 ของอัตราส่วน H/A ที่ 0.012-0.015 และอัตราส่วน B/A ที่ 0.12 เป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดโดยมีค่าการนำความร้อน 0.112-0.125 W/(m.K) และกำลังอัด 0.76-1.71 MPa วัสดุฉนวนจากชีวมวลชนิดใหม่ที่มีสมรรถนะทางกายภาพที่ดีสามารถนำไปสู่การอนุรักษ์พลังงานการผลิตที่สะอาดขึ้นและการพัฒนาที่ยั่งยืน

Aleksandar Savic และคณะ [32] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของคอมโพสิตเส้นใยชีวภาพเป็นวัสดุสำหรับการผลิตความร้อนแฝงฉนวนได้รับการประเมิน สารผสมที่สังเกตได้ประกอบด้วย *Miscanthus x giganteus* เส้นใยชีวภาพสารยึดเกาะแร่ (ปูนซีเมนต์หรือปูนขาว) วัสดุพอลิไซลานิก (ซีโพลิตและถ่านลอย) และน้ำ พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ดีของคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยชีวภาพ *Miscanthus x giganteus* ได้แล้วได้รับการยืนยันจากข้อมูลวรรณกรรมของวัสดุเส้นใยชีวภาพธรรมชาติที่คล้ายคลึงกันซึ่งเป็นการทดลองก่อนหน้านี้ของผู้เขียนผลลัพธ์ และการพิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบไดนามิกในผนังด้านนอกฉนวนที่สัมผัสกับตัวแปรสภาพแวดล้อมที่สามารถ การประเมินการทดลองมุ่งเน้นไปที่ความสามารถในการรับน้ำหนัก (เช่น การรับแรงอัด และแรงดัดงอ) การดูดซึมน้ำ และความทนทาน (เช่น ความต้านทานต่อการละลายน้ำ และคาร์บอนเนต) เนื่องจากมีข้อมูลวรรณกรรมที่หายากเกี่ยวกับคุณสมบัติเหล่านี้ซึ่งอยู่ภายใต้การยืนยัน และการจัดระบบมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ความร้อนจากชีวมวลในวงกว้างวัสดุฉนวน ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการประเมินโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เผยแพร่จากฉนวนกันความร้อนชีวภาพที่คล้ายกันเช่นเดียวกับจากวัสดุฉนวนกันความร้อนทั่วไปเช่นสไตรีน และขนสัตว์หีนหรือแก้ว

ศรัณยา รัตนากร [33] ได้ศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยลูกตาล โดยการนำเส้นใยลูกตาลที่สะอาด และแห้งสนิท มาทำการต้มเพื่อย่อยสลายแป้งในเส้นใยด้วยเอนไซม์อะไมเลส (Enzyme amylase) ความเข้มข้น 100% ที่อุณหภูมิ 90–100 องศาเซลเซียส มีการใช้เส้นใย ลูกตาล ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ 120, 160, 200, 240 และ 280 กรัม โดยใช้อัตราส่วนเส้นใยลูกตาล 1.3 ส่วน ต่อน้ำยางธรรมชาติ 1 ส่วน โดยน้ำหนักจากนั้นนำไปบรรจุในแม่แบบขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตรหนา 2 เซนติเมตร และทำการกดอัดโดยไม่ใช้ความร้อน จากการ ตรวจสอบวัดความหนาของแผ่นหลังจากการผลิตพบว่ามีความหนาอยู่ระหว่าง 2.04–3.22 เซนติเมตร และการคำนวณค่าความหนาแน่นได้เท่ากับ 146.24, 153.82, 177.22, 207.84 และ 217.85 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, ปริมาณความชื้น, อัตราการดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนาพบว่าค่าต่างๆมีความสัมพันธ์แปรผันโดยตรงกับความหนาแน่น ผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยลูกตาลที่มีการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นวัสดุประสานมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับใช้กับการ ก่อสร้างอาคารเพื่อความยั่งยืนในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐิติพร เจาะจง และ ชีญญานุช แรงเขตกรรม [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบฉนวนของเตาแก๊สชีวมวลที่หาง่ายในชุมชนโดยใช้แกลบดำ ดินร่วน และ ทราย ทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลโดยทดสอบแบบ Water Boiling Test โดยใช้เวลาในการทดสอบ 5 ชั่วโมง ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลพบว่า ในช่วง 5 นาทีแรกของการทดสอบ ยังไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง แต่หลัง 5 นาที ไปจนถึง 30 นาที น้ำเดือดสูงสุด 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดการถ่ายเทความร้อนในน้ำ หลังจาก 50 นาทีไปแล้ว อุณหภูมิของน้ำค่อยๆลดลงตามลำดับ การคำนวณหาประสิทธิภาพจากการต้มน้ำเดือดของเตาแก๊สชีวมวลที่มีแกลบดำ ดินร่วน และทราย เป็นฉนวน มีค่าเท่ากับ 14.13% 11.70% และ 10.59% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนเป็นแกลบดำมีประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องจากแกลบดำช่วยเก็บสะสมความร้อน ให้เตาแก๊สชีวมวล ทำให้ต่อแก๊สชีวมวลมีประสิทธิภาพมากกว่าเตาแก๊สชีวมวลจากฉนวนชนิดอื่นๆ

นิกร สุขสวัสดิ์ [34] ได้ศึกษาสมบัติของแผ่นฝ้าฉนวนกันความร้อนที่ทำด้วยกากใบชาเขียว และเส้นใยผักตบชวาในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ 100:0, 80:20, 50:50, 20:80 และ 0:100 โดยน้ำหนัก และในแต่ละอัตราส่วนมีค่าความหนาแน่น 2 ระดับ คือ 400 และ 800 kg/m³ และนำไปอัดเป็นแผ่นโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C ความดัน 120 kg/cm² เป็นเวลา 10 นาที ให้มีขนาดของแผ่นฉนวน กว้าง 300 มม. ยาว 300 มม. และหนา 10 มม. จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงความร้อน สมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน JIS A 5905-2003 และเปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนเชิงพาณิชย์ จากการทดลองสมบัติเชิงความร้อน พบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากกากใบชากับเส้นใยผักตบชวาที่มีความหนาแน่น 400 kg/m³ มีค่าการนำเชิงความร้อนอยู่ระหว่าง 0.052-0.058 W/m·K และแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่น 800 kg/m³ มีค่าการนำเชิงความร้อนอยู่ระหว่าง 0.072-0.093 W/m·K ซึ่งถือว่ามีสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี สำหรับผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล พบว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่น 800 kg/m³ มีค่าเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

ศราวุธ ทองเขียว [35] ได้ศึกษาการทำแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหญ้าคาเพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ คุณสมบัติเชิงความร้อนโดยกำหนดความหนาแน่น 200 kg/m³ ความหนา 2.5 cm การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ และการทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนจะใช้มาตรฐาน JIS A 5905 : 2003 (Insulation Board) เป็นมาตรฐานในการทดสอบ การศึกษาการทดสอบหาค่าสภาพนำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนกันความร้อน จะใช้เครื่อง HFM 436/3 Lambda ทดสอบ จากการทดลองพบว่า ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหญ้าคา มีค่าสภาพนำความร้อน 0.051 W/m·K และค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 0.494 m²·K/W มีสภาพนำความร้อนผ่านค่ามาตรฐาน JIS A 5905 : 2003 (Insulation Board) ที่กำหนดให้ฉนวนมีความหนาแน่นไม่เกิน 350 kg/m³ ค่าความต้านทานความร้อนมากกว่า 0.163 m²·K/W จากงานวิจัยนี้สามารถนำไป

ประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการผลิต และพัฒนาฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยแก้วหรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ๆ เน้นใช้วัสดุธรรมชาติจึงไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และผู้ใช้งาน

ผกามาศ ชูสิทธิ์ และ นิลमित นิลาศ [36] ได้ศึกษาการพัฒนาแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ที่มีความแข็งแรง และเป็นฉนวนป้องกันความร้อนสูงจากเส้นใยกากมะพร้าว และต้นข้าวโพด โดยการใช้ตัวอย่างธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทรายละเอียด : กากมะพร้าว : เส้นใยต้นข้าวโพด : น้ำ : สารเร่งการก่อตัว : สารลดแรงตึงผิว เท่ากับ 1 : 0.2 : 0.0125 : 0.0375 : 0.3 : 0.03 : 0.04 โดยน้ำหนักแล้วเติมน้ำยาธรรมชาติอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : น้ำยาธรรมชาติ ทั้งหมด 5 อัตราส่วน คือ 1 : 0.05, 1 : 0.10, 1 : 0.15, 1 : 0.20 และ 1 : 0.25 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ผลการทดสอบ พบว่า อัตราส่วน 1 : 0.05 เป็นอัตราส่วนแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด ปริมาณน้ำยาธรรมชาติดังกล่าวสามารถทำให้แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์รับแรงอัด และแรงดัดได้ดีที่สุด และมีคุณสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก.878-2537 แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถช่วยลดปริมาณน้ำยาธรรมชาติที่มีมากได้ และมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้เป็นอย่างดี

ฐิติพร เจาะจง และ พิสิษฎ์ มณีโชติ [37] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลขนาดเล็กแบบไหลขึ้น โดยเตาแก๊สชีวมวลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร สูง 16 เซนติเมตร และห้องเผาไหม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร ใช้ไม้ไผ่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ ผลการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำพบว่า ในช่วง 0-5 นาทีแรกของการทดสอบยังไม่มีเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงเนื่องจากเป็นช่วงที่เตาเริ่มกระบวนการเผาไหม้จึงทำให้อุณหภูมิ ของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากแต่หลังจาก 5 นาทีไปแล้วจนถึง 25 นาทีเป็นช่วงที่ เตาเผาไหม้ได้ ค่อนข้างสมบูรณ์และต่อเนื่อง น้ำมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ ประมาณ 28 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิของน้ำจะค่อยๆลดลงอย่างสม่ำเสมอจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิ เริ่มต้น จากการคำนวณหาประสิทธิภาพจากการต้มน้ำเดือดของเตาแก๊สชีวมวลขนาดเล็กพบว่ามี ประสิทธิภาพเท่ากับ 36.02% ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดี

อนุภา สกกุลพาณิชย์ [38] ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซังข้าวโพดผลิตเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อน เพื่อทดแทนฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากใยสังเคราะห์และใช้น้ำยาธรรมชาติเป็นตัวเชื่อมประสานภายในแผ่น แบ่งการทดลองเป็น 4 ขั้นตอน (1) การทดลองผลิตขึ้นรูปแผ่นฉนวน (2) การทดสอบหาค่าคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อนตามมาตรฐาน JIS A 5905 (3) ทดสอบความสามารถของฉนวนโดยเปรียบเทียบกับฉนวนตามท้องตลาด (4) ประเมินต้นทุนการผลิต ในการผลิตฉนวนใช้น้ำยาธรรมชาติผสมกับน้ำใน 1:0, 1:1, 2:1 และ 1:2 โดยแบ่งความหนาแน่นเป็น 2 แบบ คือ 200 Kg/m³ และ 300 Kg/m³ ขึ้นรูปโดยมาจุ่มในน้ำยาแล้วใส่ในแม่พิมพ์และอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาทีจากการวิจัยพบว่า (1) ฉนวนสกัดส่วนน้ำยาต่อหน้า 1:0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 2:1 ทั้งความหนาแน่น 200 Kg/m^3 และ 300 Kg/m^3 มีการจับยึดกันภายในแผ่นดีกว่าฉนวนแบบอื่นๆ แต่แผ่นฉนวนสัดส่วน 1:0 มีน้ำหนักมากกว่าสัดส่วน 2:1 (2) การทดสอบหาค่าคุณสมบัติของแผ่นฉนวนพบว่ามีความหนาแน่น, ค่าปริมาณความชื้น, ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ และค่าต้านทานความร้อนผ่านตามมาตรฐาน JIS A 5905 ยกเว้นค่ามอดูลัสแตกร้าวที่ไม่ผ่านมาตรฐาน และแผ่นฉนวนความหนาแน่น 300 Kg/m^3 สัดส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำ 1:0, 1:1 และ 2:1 มีค่าการนำความร้อน 0.068 W/mK , 0.067 W/mK และ 0.066 W/mK ตามลำดับ (3) ทดสอบการป้องกันความร้อนด้วยกล่อง ทดลองเปรียบเทียบฉนวนซึ่งข้าวโพดความหนาแน่น 300 Kg/m^3 สัดส่วน 2:1 หนา 1.5 เซนติเมตร กับฉนวนโฟม โพลีเอทิลีนหนา 1 เซนติเมตร พบว่าลดความร้อนได้ใกล้เคียงกัน (4) ฉนวนจากซึ่งข้าวโพดมีราคาต่ำกว่าฉนวน โฟมโพลีเอทิลีน 49.11% พิจารณาแล้วมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาฉนวนจากซึ่งข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ เพื่อทดแทนฉนวนที่ผลิตจากเส้นใยและกาวสังเคราะห์

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น จึงมีแนวคิดจะนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาสร้างคุณค่า โดยการนำเส้นใยจากบหมาก และเส้นใยผักตบชวา มาสร้างฉนวนกันความร้อน ซึ่งเปลี่ยนตัวประสานจากที่เคยใช้สารเคมี (กาว) เป็นตัวยึดเกาะเส้นใย มาใช้ตัววัสดุประสาน คือ น้ำยางพารา โดยฉนวนกันความร้อนจากเดิมที่เคยใช้โฟม และใยแก้ว มาใช้เส้นใยจากบหมาก และผักตบชวา ซึ่งเป็นเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติและหาได้ง่ายภายในพื้นที่ อีกทั้งยังช่วยลดมลพิษทางอากาศจากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนได้อีกด้วย

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อน

3.1.1 เครื่องอัดขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

1. แท่นอัดไฮดรอลิก แรงกดสูงสุดของเครื่องอัดไฮดรอลิก 60 ตัน ขนาดความกว้างของฐานแท่นอัดไฮดรอลิก 1,080 มิลลิเมตร ความสูงของแท่นอัดไฮดรอลิก 1,930 มิลลิเมตร สามารถรับน้ำหนักได้ 20 ตัน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องอัดไฮดรอลิก ขนาด 60 ตัน

2. เกจวัดความดันจากเครื่องอัดไฮดรอลิก อ่านค่าความดันสูงสุด 1500 Ld/in² และที่ความดันสูงสุด 100 kg/cm² ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เกจวัดความดันจากเครื่องอัดไฮดรอลิก

3. ฮีตเตอร์แบบปรับบล็อกขนาด 220V 12000W ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับบล็อกอัดขึ้นรูป โดยการรัดจากภายนอก วัสดุที่ใช้ทำจากสแตนเลส และซิงค์ ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



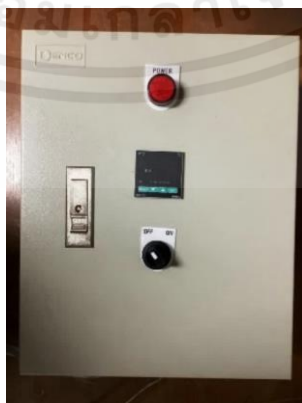
รูปที่ 3.3 ฮีตเตอร์แบบรัดบล็อกขนาด 220V 12000W

4. ฮีตเตอร์แบบแผ่นขนาด 220V 12000W ทำหน้าที่ให้ความร้อนส่วนบนของแผ่นประกบบล็อกอัดขึ้นรูปเพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วทั้งบล็อก ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ฮีตเตอร์แบบแผ่นขนาด 220V 12000W

5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น MC-2438 ใช้ควบคุมความร้อนให้อยู่ในช่วงการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด เครื่องควบคุมอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาด 0.3 เปอร์เซ็นต์ ใช้กระแสไฟฟ้า DC 20 mA แรงเคลื่อนไฟฟ้า DC 24V ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น MC-2438

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เทอร์โมคัปเปิล Type K (TKS-S1-1.6X25-1M) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ทำจากสแตนเลส ซีท SUS 316 ความยาว 250 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร สามารถตัดหรืองอได้ ใช้วัดอุณหภูมิได้ถึง 400 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เทอร์โมคัปเปิล Type K (TKS-S1-1.6X25-1M)

7. บล็อกเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปผนวกันความร้อน บล็อกอัดรูปทรงสี่เหลี่ยม มีขนาดด้านใน 15x15x5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 บล็อกอัดขึ้นรูปผนวกันความร้อน

8. แผ่นเหล็กกล้า ประกบด้านบน และด้านล่างของบล็อกอัดขึ้นรูป มีขนาด 15 × 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผ่นเหล็กกล้า ประกบด้านบน และด้านล่างของบล็อกอัดขึ้นรูปผนวกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. แผ่นเหล็กกล้ารองฐานบล็อกอัดขึ้นรูปฉนวนกันความร้อน ขนาด 20×20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผ่นเหล็กกล้ารองฐานบล็อกอัด

10. อุปกรณ์ผสมวัสดุดิบ ลักษณะโพลีพลาสติกทรงกระบอกมี 4 ใบมีด ใช้มือในการหมุนที่จับเพื่อไปหมุนใบมือผสม ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ผสมวัสดุดิบ

3.1.2 ตู้อบลมร้อน Hot air oven

ตู้อบที่ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากฮีตเตอร์ผ่านอากาศไปยังวัตถุเพื่อทำให้น้ำในวัตถุลดลง (ความชื้นลดลง) โดยใช้อากาศร้อนพัดผ่านวัตถุเพื่อดึงเอาความชื้นออกจากวัตถุ ใช้สำหรับหาความชื้นเริ่มต้นของชีวมวลและความชื้นหลังอบชีวมวล ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ตู้อบลมร้อน Hot air oven

3.1.3 เครื่องบดละเอียด Flour crush machine รุ่น 9FZ-23

มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า (2.2 กิโลวัตต์) 220 โวลต์ สามารถเปลี่ยนขนาดตะแกรงที่ใช้ศึกษาเพื่อนบดให้ได้ตามความละเอียดที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องบดละเอียด Flour crush machine รุ่น 9FZ-23

3.1.4 เครื่องบดละเอียด

มอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า (3.7 กิโลวัตต์) 3 เฟส 380/440 โวลต์ 4 โพล 3 สาย IP44 ความเร็วรอบ 1450 RPM ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่องบดละเอียดมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 เครื่องแยกขนาด รุ่น AS200 Retsch

เครื่องแยกขนาดวัสดุด้วยการเขย่า ผ่านตะแกรงตามขนาดในช่วงศึกษา ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องแยกขนาด รุ่น AS200 Retsch

3.1.6 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ SHIMADZU รุ่น TX323L

เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ทศนิยม 3 ตำแหน่ง ผลิตโดย SHIMADZU CORPORATION ดัง

รูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.1.7 เครื่องชั่งดิจิตอล Precision Balance รุ่น PA2102 ยี่ห้อ Ohaus

เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ผลิตภัณ์ท์จาก Ohaus ประเทศอเมริกา ดัง

รูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.1.8 โถดูดความชื้น (Desiccator)

ทำหน้าที่เก็บความชื้นขึ้นงานทดลอง ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.8 ครอบอลูมิเนียม (Moisture Can)

ครอบอลูมิเนียมใส่ตัวอย่าง พร้อมฝาปิด (Moisture can) ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ถ้วยเซรามิคขนาด 50 มิลลิลิตร

3.1.9 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)

เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ขนาด 6 นิ้ว ค่าความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร รุ่น 530-312 ผลิตโดย MITUTOYO ดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ขนาด 6 นิ้ว

3.2 อุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล

3.2.1 เตาชีวมวล (Biomass Stove)

เตาชีวมวล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตร ผลิตจากเหล็กหนา เตามีน้ำหนัก 3.5 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 เตาชีวมวลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตร

3.2.2 ชุดฐานตั้งเหล็กวิทยาศาสตร์ เสา 60 ซม. (Stand and Base)

ชุดฐานตั้งเหล็กวิทยาศาสตร์ เสา 60 ซม. ประกอบไปด้วย บอสเฮด ที่จับคอนเดนเซอร์ ฐานตั้งเหล็ก ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ชุดฐานตั้งเหล็กวิทยาศาสตร์ เสา 60 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ปีกเกอร์แก้วทดลองวิทยาศาสตร์ (Beakers)

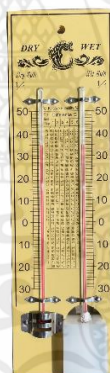
ปีกเกอร์แก้วทดลองวิทยาศาสตร์ SIMAX ขนาด 600 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ปีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร

3.2.4 เทอร์โมมิเตอร์ เปียก-แห้ง (Dry-Wet)

เทอร์โมมิเตอร์ เปียก-แห้ง เป็นแป้นไม้มีหลอดเทอร์โมมิเตอร์ 2 ข้าง ข้างซ้ายเป็นอย่างแห้ง ข้างขวามีกระเปาะใส่น้ำเป็นอย่างเปียก ขนาด 27x7.5x1 เซนติเมตร ผลิตในประเทศไต้หวัน ยี่ห้อ STK FUJI ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 เทอร์โมมิเตอร์ เปียก-แห้ง

3.2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Digital Thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลช่วงอุณหภูมิ: -50 - 300 องศาเซลเซียส (-58 - 572 ฟาเรนไฮต์) ความละเอียด 0.1 ความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

3.2.6 หม้อด้าม (Handy Cook)

หม้อด้ามเคลือบ Non-Stick และ Fluorine resin (สารเคลือบลิ้น) ขนาด 12 เซนติเมตร



รูปที่ 3.25 หม้อด้ามเคลือบ ขนาด 12 เซนติเมตร

3.2.7 เครื่องวัดอุณหภูมิ HT-9815 4 K – Type (Thermometer Thermometers)

เทอร์โมคัปเปิลดิจิตอล SENSOR ช่วงอุณหภูมิการวัด: - 200 ° C ~ 1372 ° C

ความถูกต้อง > - 100 ° C (- 148 ° F): ± 1 ° C (± 1 ° F) ขนาด: ประมาณ 200X85X39 มิลลิเมตร
 ดังรูป 3.25



รูปที่ 3.26 เครื่องวัดอุณหภูมิ HT-9815 4 K – Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กระบวนการและวิธีการดำเนินงาน

3.3.1 กระบวนการ การเตรียมเส้นใย

1. เตรียมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ดังรูปที่ 3.26



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.27 (ก) ผักตบ (ข) กาบหมาก

2. นำผักตบ กาบหมาก มาผ่านกระบวนการบดละเอียด ด้วยเครื่องบดละเอียดมอเตอร์ ขนาด 5 แรงม้า จะได้ลักษณะของเส้นใย ดังรูปที่ 3.27



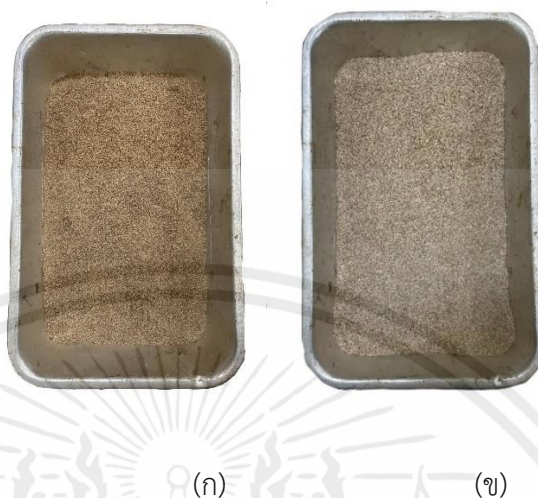
(ก)

(ข)

รูปที่ 3.28 ลักษณะของ (ก) เส้นใยผักตบ (ข) เส้นใยกาบหมาก ผ่านกระบวนการบดละเอียดด้วย เครื่องบดละเอียดมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเส้นใยผักตบและกาบหมาก มาผ่านกระบวนการบดละเอียด ด้วยเครื่องบดละเอียดมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.29 ลักษณะของ (ก) เส้นใยผักตบ (ข) เส้นใยกาบหมาก ผ่านกระบวนการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียดมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า

4. นำเส้นใยผักตบและกาบหมาก มาอบด้วยตู้อบลมร้อน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมงจนเหลือความชื้น 14.48 21.13 และ 9.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่คงเหลือภายในผักตบและกาบหมาก โดยไม่มีการเปลี่ยนของน้ำหนักของเส้นใย และง่ายต่อการเก็บรักษา ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.30 เส้นใยผักตบและกาบหมาก มาอบด้วยตู้อบลมร้อน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมง

5. เส้นใยผักตบ กาบหมาก มาทำการร่อนแยกขนาดในเครื่องแยกขนาด รุ่น AS200 Retsch เพื่อแยกขนาดให้ได้ขนาด <250 และ 250-500 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.31 (ก) เส้นใยผักตบ (ข) เส้นใยกาบหมาก แต่ละขนาดตามลำดับ

3.3.2 การเตรียมตัวประสาน

1. ใช้น้ำยางพารา (latex) เป็นตัว ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.32 น้ำยางพารา (latex)

3.3.3 การอัดขึ้นรูปจนวนกันความร้อน

1. นำเส้นใยผักตบและกาบหมาก ขนาด <250 และ 250-500 ไมโครเมตร ผสมกับน้ำยางพารา (latex) อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อเส้นใยผักตบและกาบหมาก อัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (กรัม:กรัม) ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.33 เส้นใยผักตบและกาบหมาก ผสมน้ำยารพารา

2. ผสมส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยอุปกรณ์ผสมวัสดุบด ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.34 ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

3. นำส่วนผสมที่เตรียม ใส่ลงในบล็อกเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปจนวนกันความร้อน ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.35 ส่วนผสมใส่ลงในบล็อกเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปจนวนกันความร้อน

4. นำบล็อกเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปจนวนกันความร้อนวางลงบนเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 60 ตัน ตั้งค่าให้อุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียส เพื่อให้ให้น้ำยารพารา และเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสานกัน และให้ความดันที่ 20 kg/cm^2 เพื่อให้ชิ้นวัสดุเกิดความหนาแน่นในการขึ้นรูป และระยะเวลาในการขึ้นรูป 30 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นวัสดุ เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นใย และตัวประสานเกิดการไหม้ ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.36 การอัดขึ้นรูปจนวนกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนผสมของการขึ้นรูปนวนกันความร้อน



รูปที่ 3.37 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 กระบวนการ/วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

กระบวนการทดสอบและการวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อน แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 คุณสมบัติ คือ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงความร้อน และทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลที่มีฉนวนต่างกัน โดยคุณสมบัติทดสอบ และวิธีการทดสอบตามคุณสมบัติตามมาตรฐานทดสอบใน ตารางที่ 3.1 เป็นค่าที่เป็นมาตรฐานสำหรับใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการศึกษา

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทดสอบและวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน

คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน	วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น (Moisture content)	วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173
ค่าความหนาแน่น (Density)	European Standard 1602
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity)	วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C177
ทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล	วิธี Boiling Test ตามมาตรฐาน DIN EN 203 – 2

3.4.1 อัตราส่วนผสมและลักษณะประเภทชิ้นงานในการทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบขนาด 15×15×0.5 เซนติเมตร ประเภทชิ้นทดสอบที่แตกต่างกัน 9 ชิ้น จำนวน 1 ชุด รวมทั้งหมด 9 ชิ้นทดสอบ ตารางที่ 3.2 เป็นอัตราส่วนผสม น้ำยา : เส้นใยกากกล้วย กาบหมาก และ ผักตบชวา คิดอัตราส่วนผสมรวมทั้งหมดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อน

อัตราส่วนน้ำยาพารา:กากกล้วย (wt.%)	อัตราส่วนน้ำยาพารา:กากหมาก (wt.%)	อัตราส่วนน้ำยาพารา:ผักตบชวา (wt.%)
22:78	22:78	22:78
25:75	25:75	25:75
30:70	30:70	30:70

3.4.2 การทดสอบปริมาณความชื้นในชิ้นงาน (Moisture content) วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173

การทดสอบปริมาณความชื้นในชิ้นงาน ใช้ตัวอย่างชิ้นทดสอบขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ทำให้ตัวอย่างชิ้นทดสอบมีขนาดเล็กสามารถใส่ในกระป๋องอลูมิเนียมได้ จำนวน ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนละ 2 กระป๋อง รวมทั้งหมด 18 กระป๋องทดสอบ

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมถ้วยทนไฟเซรามิกขนาด 50 มิลลิเมตรสำหรับใส่ตัวอย่างขึ้นทดสอบ
2. เตรียมตัวอย่างขึ้นทดสอบให้มีขนาดเล็กสามารถใส่ในถ้วยทนไฟได้
3. นำตัวอย่างขึ้นทดสอบใส่ลงไปในการป้องกันอลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 บรรจุชิ้นงานทดสอบในถ้วยทนไฟเซรามิก

4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างขึ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลปริมาณ 5 กรัม โดยไม่รวมน้ำหนักการป้องกันอลูมิเนียม และบันทึกค่าน้ำหนักตัวอย่างขึ้นทดสอบที่ได้ก่อนอบ ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างขึ้นทดสอบปริมาณ 5 กรัม

5. อบตัวอย่างขึ้นทดสอบในตู้อบลมร้อน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 อบขึ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

6. เมื่อครบระยะเวลา 24 ชั่วโมง นำกระป๋องอลูมิเนียมที่ใส่ตัวอย่างขึ้นทดสอบออกจากตู้อบลมร้อน Hot air oven โดยพักให้เย็นภายในโถดูดความชื้น (Desiccator) เป็นระยะเวลา 10 นาที ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 พักขึ้นทดสอบภายในโถดูดความชื้น (Desiccator)

7. นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล จากนั้นบันทึกค่าที่ได้

8. เมื่อได้ค่าตัวอย่างขึ้นทดสอบก่อนอบ และหลังอบ นำค่าที่ได้ไปคำนวณ

ในสมการ (2.8)

3.4.3 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน European Standard 1602

การทดสอบค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน ใช้ตัวอย่างขึ้นทดสอบขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนละ 2 ชิ้น รวมทั้งหมด 18 ชิ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างขึ้นทดสอบ โดยการนำตัวอย่างขึ้นทดสอบตั้งไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 28 วัน ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 ชิ้นงานทดสอบจำนวน 24 ชิ้น เก็บที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 28 วัน

2. หลังจากครบ 28 วัน นำตัวอย่างขึ้นทดสอบซึ่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล จากนั้นบันทึกค่าที่ได้ ดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างขึ้นทดสอบหลังจากครบ 28 วัน

3. วัดระยะขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของตัวอย่างขึ้นทดสอบ และจดบันทึกค่าที่ได้ ดังรูปที่ 3.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.44 วัดระยะขนาด (ก) วัดขนาดความกว้าง และความยาว (ข) วัดขนาดความหนา

4. นำค่าน้ำหนักของตัวอย่างขึ้นทดสอบที่ซึ่งได้ และขนาดของตัวอย่างขึ้นทดสอบที่วัดได้ คำนวณในสมการ (2.9)

3.4.4 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C177

การวัดค่าสภาพการนำความร้อนของชิ้นงาน ใช้ตัวอย่างขึ้นทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดกว้าง 25 มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนละ 2 ชิ้น รวมทั้งหมด 18 ชิ้นทดสอบ

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างขึ้นทดสอบ โดยการตัดตัวอย่างขึ้นทดสอบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดกว้าง 25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 ตัวอย่างขึ้นทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดกว้าง 25 มิลลิเมตร

2. เตรียมชิ้นงาน Insulation ดังรูปที่ 3.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.46 ชิ้นงาน Insulation ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 70 มิลลิเมตร

3. นำตัวอย่างชิ้นทดสอบใส่ในชิ้นงาน Insulation ดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ Heat Conduction

4. ใช้ silicone ทาบริเวณตัวอย่างชิ้นทดสอบให้ทั่ว เพื่อลดช่องว่างของอากาศ

5. นำตัวอย่างชิ้นทดสอบ ทดสอบ Heat Conduction Laboratory ดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 เครื่องทดสอบ Heat Conduction Laboratory

6. รวค่าอุณหภูมิทุกจุดคงที่ โดยค่าอุณหภูมิ T_1, T_2, T_3, T_6, T_7 และ T_8 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และจดบันทึกค่า นำค่าที่บันทึกคำนวณในสมการ (2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล (Efficacy) ด้วยวิธี Boiling Test ตามมาตรฐานDIN EN 203 – 2

การทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาแก๊สใช้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอัตราส่วนละ 6 ชิ้น รวมทั้งหมด 72 ชิ้นงานทดสอบ

วิธีการทดสอบ [37]

1. ชั่งมวลน้ำ 300 กรัม ดังรูป 3.49



รูปที่ 3.49 ชั่งมวลน้ำ 300 กรัม

2. ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง 500 กรัม ดังรูป 3.50



รูปที่ 3.50 ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง 500 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ติดตั้งฉนวนและเครื่องวัดอุณหภูมิ ประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัววัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ และส่งข้อมูลมายังเครื่องบันทึกข้อมูลโดยต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเตาซีมวอลและบันทึกข้อมูล ดังรูป 3.51



รูปที่ 3.51 ติดตั้งฉนวนและเครื่องวัดอุณหภูมิ

4. นำหม้อที่ใส่น้ำวัดอุณหภูมิของน้ำในภาชนะก่อนต้มน้ำด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล และบันทึกข้อมูล ดังรูป 3.52



รูปที่ 3.52 วัดอุณหภูมิของน้ำในภาชนะก่อนต้มน้ำและบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จุดเตาเมื่อไฟลุกติดเชื้อไฟแล้ว ทำการป้อนเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบและเริ่มจับเวลา ดังรูป 3.53



รูปที่ 3.53 ป้อนเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบและเริ่มจับเวลา

6. นำหม้อออกจากเตาชีวมวลและจากนั้นวัดอุณหภูมิของน้ำที่เหลือในภาชนะด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลและบันทึกข้อมูล ดังรูป 3.54



รูปที่ 3.54 วัดอุณหภูมิของน้ำในภาชนะก่อนต้มน้ำและบันทึกข้อมูล

7. หาประสิทธิภาพเตาชีวมวลดังสมการต่อไปนี้
นำเตาแก๊สชีวมวลที่ใส่ฉนวน แต่ละชนิดทำการตรวจสอบหาประสิทธิภาพโดยการต้มน้ำตามสภาพแวดล้อมจริงและนำข้อมูลที่ได้อมาหาประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล

$$\eta = \frac{m_i c_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times c_f} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวา และ กาบหมาก โดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสานขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างด้วยการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ด้วยเงื่อนไขดังนี้ อัตราส่วนระหว่างเส้นใยผักตบชวากับน้ำยางพารา 22:78 25:75 และ 30:70 (เส้นใยผักตบชวา:น้ำยางพารา,wt.%) ที่ขนาดของเส้นใยผักตบชวา ขนาด <250 และ 250-500 ไมโครเมตร และ อัตราส่วนระหว่างเส้นใยกากหมากกับน้ำยางพารา 22:78 25:75 และ 30:70 (เส้นใยกากหมาก:น้ำยางพารา,wt.%) ที่ขนาดของเส้นใยกากหมากขนาด <250 และ 250-500 ไมโครเมตร จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างจากเส้นใยผักตบชวา และ กาบหมาก โดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน ที่ได้มาศึกษาคูณสมบัติของฉนวนกันความร้อน โดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในด้าน ค่าปริมาณความชื้น ค่าความหนาแน่น ทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนในด้าน ค่าการนำความร้อน และประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล

ตารางที่ 4.1 ลักษณะกายภาพภายนอกของชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อน

ลักษณะกายภาพภายนอกของชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อน		
1	2	3
		
ขนาดเส้นใยผักตบชวา <250 μm อัตราส่วนผักตบชวา : น้ำยางพารา 22% : 78%	ขนาดเส้นใยผักตบชวา <250 μm อัตราส่วนผักตบชวา : น้ำยางพารา 25% : 75%	ขนาดเส้นใยผักตบชวา <250 μm อัตราส่วนผักตบชวา : น้ำยางพารา 30% : 70%
4	5	6
		
ขนาดเส้นใยผักตบชวา 250-500 μm อัตราส่วนผักตบชวา : น้ำยางพารา 22% : 78%	ขนาดเส้นใยผักตบชวา 250-500 μm อัตราส่วนผักตบชวา : น้ำยางพารา 25% : 75%	ขนาดเส้นใยผักตบชวา 250-500 μm อัตราส่วนผักตบชวา : น้ำยางพารา 30% : 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะกายภาพภายนอกของชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อน (ต่อ)

ลักษณะกายภาพภายนอกของชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อน		
7	8	9
		
ขนาดเส้นใยกาบหมาก <math><250\ \mu\text{m}</math> อัตราส่วนกาบหมาก : น้ำยางพารา 22% : 78%	ขนาดเส้นใยกาบหมาก <math><250\ \mu\text{m}</math> อัตราส่วนกาบหมาก : น้ำยางพารา 25% : 75%	ขนาดเส้นใยกาบหมาก <math><250\ \mu\text{m}</math> อัตราส่วนกาบหมาก : น้ำยางพารา 30% : 70%
10	11	12
		
ขนาดเส้นใยกาบหมาก 250-500 μm อัตราส่วนกาบหมาก : น้ำยางพารา 22% : 78%	ขนาดเส้นใยกาบหมาก 250-500 μm อัตราส่วนกาบหมาก : น้ำยางพารา 25% : 75%	ขนาดเส้นใยกาบหมาก 250-500 μm อัตราส่วนกาบหมาก : น้ำยางพารา 30% : 70%

ลักษณะกายภาพภายนอกของชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อนที่ขึ้นรูปไม่ได้

เมื่อทดลองผสมระหว่างเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกับน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 20:80 (wt.%) จะเห็นได้ว่า เนื่องจากเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรไม่เพียงพอต่อการขึ้นรูป และปริมาณน้ำยางมากเกินไป เมื่อขึ้นรูปแล้วพบว่าชิ้นงานทดสอบไม่สามารถขึ้นรูปได้ตามขนาดที่ต้องการ อัตราส่วนที่ 35:65 (wt.%) จะเห็นได้ว่าเนื่องจากเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีปริมาณมากเกินไป ทำให้น้ำยางไม่เพียงพอในการเกาะยึดเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้ง เมื่อขึ้นรูปแล้วพบว่าฉนวนกันความร้อนมีความเปราะและแตกหักได้ง่าย ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะกายภาพภายนอกของชิ้นงานทดสอบฉนวนกันความร้อนที่ขึ้นรูปไม่ได้

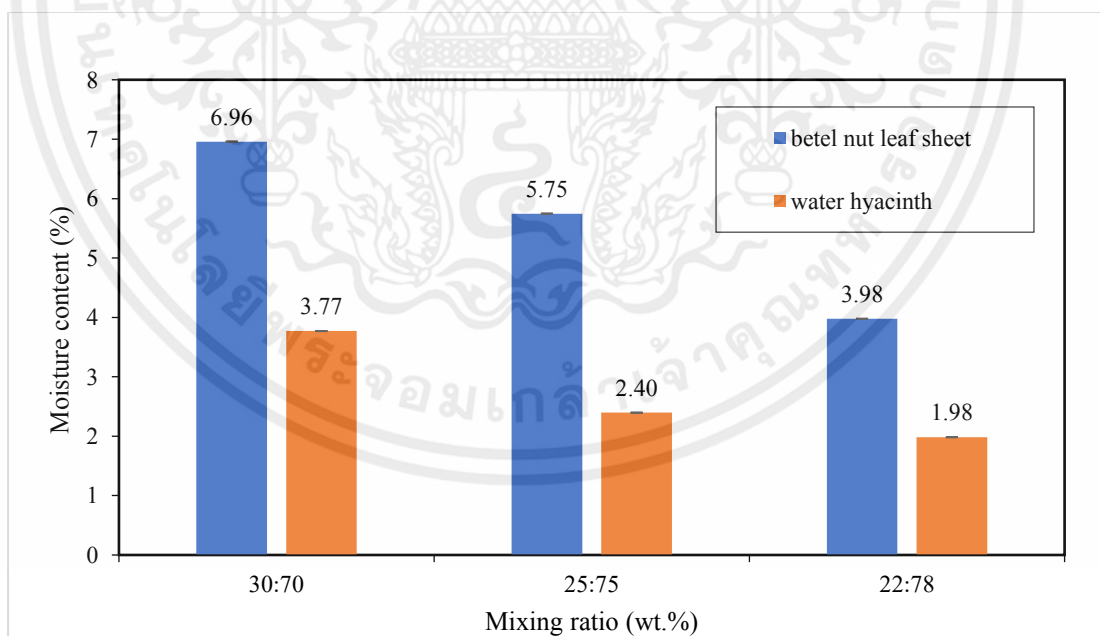
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมาก และเส้นใยผักตบชวา โดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากและเส้นใยผักตบชวา โดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน เป็นการเปรียบเทียบเพื่อดูค่าความชื้น และค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อน

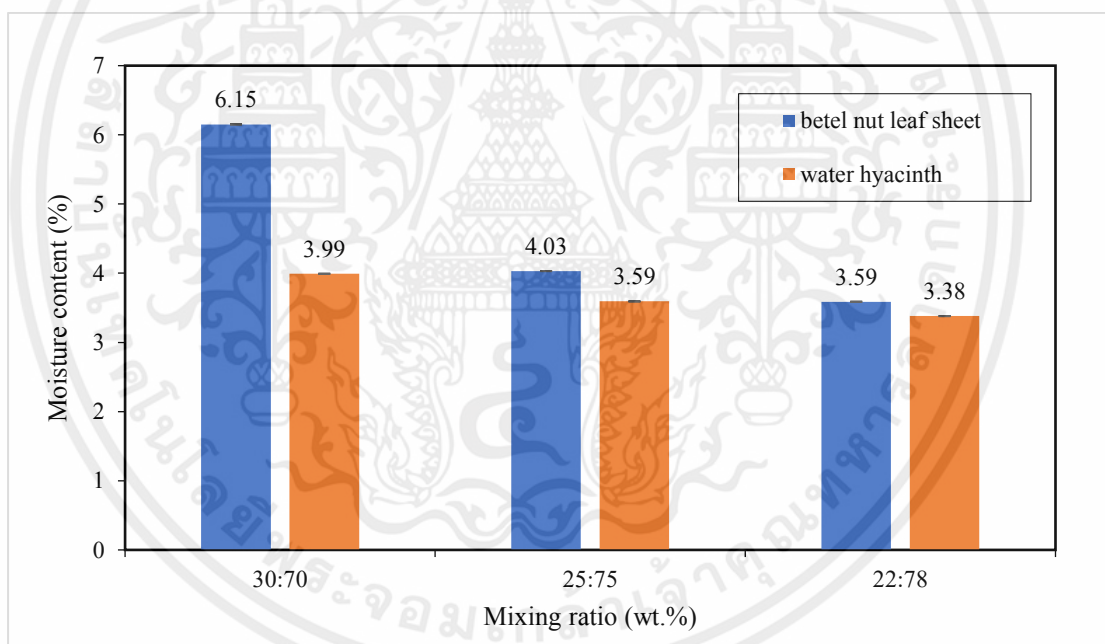
4.1.1 ผลการทดสอบค่าความชื้น (Moisture content)

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา และ กาบหมาก ที่ขนาด 250-500 μm ซึ่งเป็นชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพารา ในอัตราส่วน 22:78, 25:75 และ 30:70 (wt.%) ในการอัดขึ้นรูปเป็นชั้นทดสอบ พบว่าเมื่ออัตราของเส้นใยมากขึ้น จะส่งผลให้ชั้นทดสอบมีค่าความชื้นมากตามไปด้วย จากผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วน 30:70 (wt.%) มีค่าความชื้นมากกว่าอัตราส่วน 25:75 (wt.%) และ 22:78 (wt.%) ตามลำดับ และกาบหมากมีค่าความชื้นมากกว่าผักตบชวา โดยที่อัตราส่วน 30:70 กาบหมากมีค่าความชื้น 6.96 เปอร์เซ็นต์ ผักตบชวามีค่าความชื้น 3.77 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) กาบหมากมีค่าความชื้น 5.75 เปอร์เซ็นต์ ผักตบชวามีค่าความชื้น 2.40 เปอร์เซ็นต์ และ ที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) กาบหมากมีค่าความชื้น 3.98 เปอร์เซ็นต์ ผักตบชวามีค่าความชื้น 1.98 เปอร์เซ็นต์ สังเกตได้ว่าค่าความชื้นของชั้นทดสอบลดลงตามปริมาณของเส้นใย



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมากที่ขนาด 250-500 μm

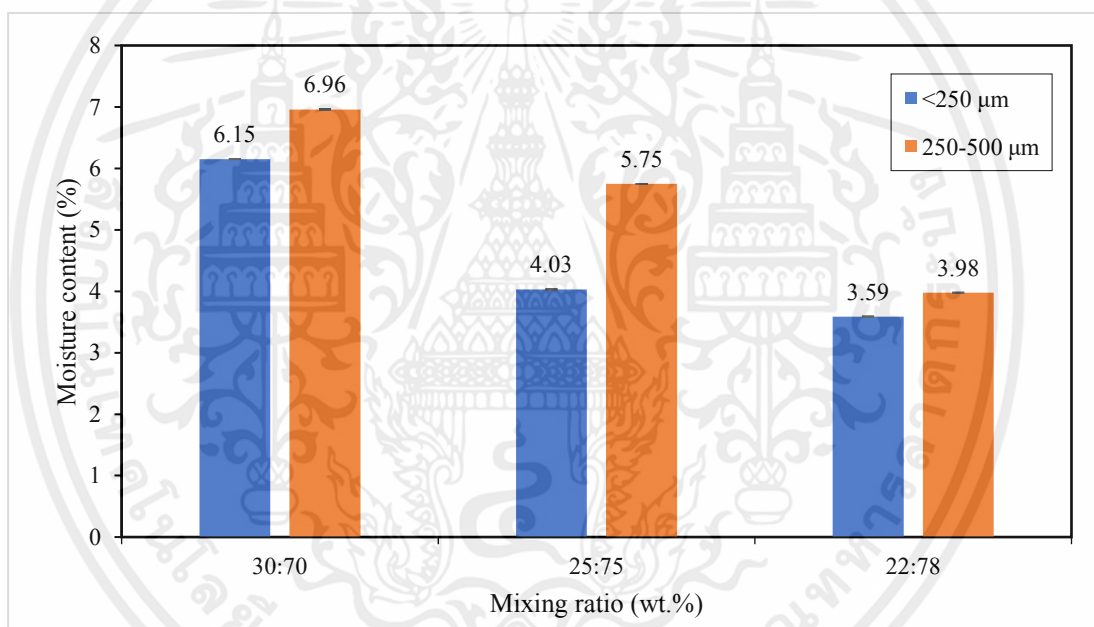
จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา และ กาบหมาก ที่ขนาด $<250 \mu\text{m}$ ซึ่งเป็นชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) ในการอัดขึ้นรูปเป็นชั้นทดสอบ พบว่าเมื่ออัตราของเส้นใยมากขึ้น จะส่งผลให้ชั้นทดสอบมีค่าความชื้นมากตามไปด้วย จากผลการทดสอบพบว่า ชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 30:70 (wt.%) มีค่าความชื้นมากกว่าอัตราส่วน 25:75 (wt.%) และ 22:78 (wt.%) ตามลำดับ และกาบหมากมีค่าความชื้นมากกว่าผักตบชวา โดยที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) กาบหมากมีค่าความชื้น 6.15 เปอร์เซ็นต์ ผักตบชวามีค่าความชื้น 3.99 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) กาบหมากมีค่าความชื้น 4.03 เปอร์เซ็นต์ ผักตบชวามีค่าความชื้น 3.59 เปอร์เซ็นต์ และ ที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) กาบหมากมีค่าความชื้น 3.59 เปอร์เซ็นต์ ผักตบชวามีค่าความชื้น 3.38 เปอร์เซ็นต์ สังเกตได้ว่าค่าความชื้นของชั้นทดสอบลดลงตามอัตราส่วนของเส้นใย



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมาก ที่ขนาด $<250 \mu\text{m}$

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใย กาบหมาก ที่ขนาด <250 และ $250-500 \mu\text{m}$ ซึ่งเป็นชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) ในการอัดขึ้นรูปเป็นชั้นทดสอบ พบว่าเมื่ออัตราของเส้น

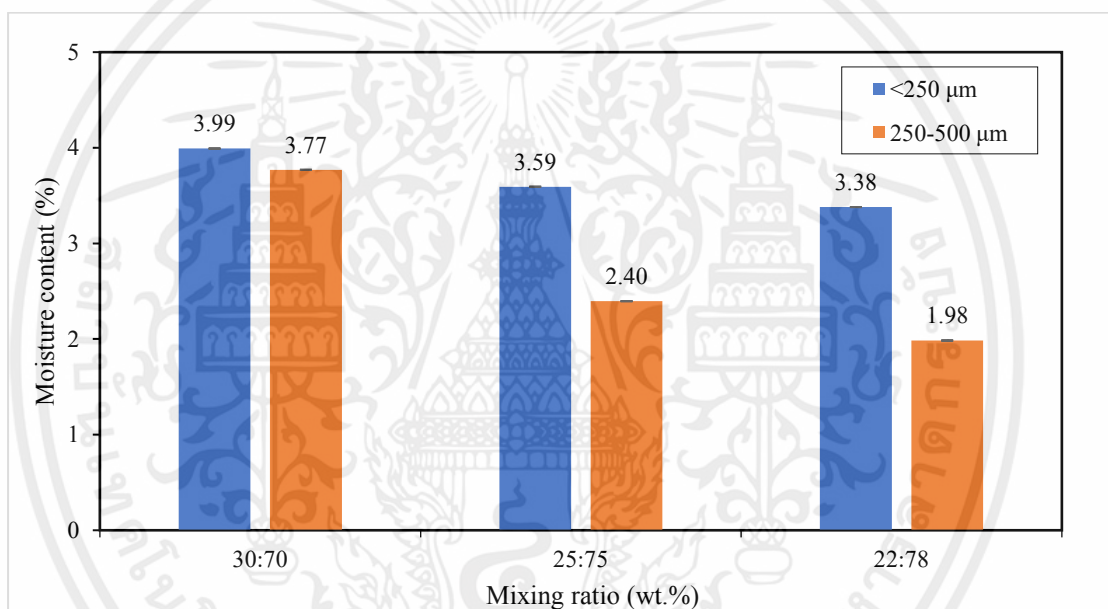
ใยมากขึ้น จะส่งผลให้ชั้นทดสอบมีค่าความชื้นมากตามไปด้วย จากผลการทดสอบพบว่า ชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 30:70 (wt.%) มีค่าความชื้นมากกว่าอัตราส่วน 25:75 (wt.%) และ 22:78 (wt.%) ตามลำดับ และกาบหมากขนาด 250-500 μm มีค่าความชื้นมากกว่ากาบหมากขนาด <250 μm โดยที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) กาบหมาก 250-500 μm มีค่าความชื้น 6.96 เปอร์เซ็นต์ กาบหมาก <250 μm มีค่าความชื้น 6.15 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) กาบหมาก 250-500 μm มีค่าความชื้น 5.75 เปอร์เซ็นต์ กาบหมาก <250 μm มีค่าความชื้น 4.03 เปอร์เซ็นต์ และ ที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) กาบหมาก 250-500 μm มีค่าความชื้น 3.98 เปอร์เซ็นต์ กาบหมาก <250 μm มีค่าความชื้น 3.59 เปอร์เซ็นต์ สังเกตได้ว่าค่าความชื้นของชั้นทดสอบลดลงตามอัตราส่วนและขนาดของเส้นใย



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยกาบหมากที่ขนาด <250 และ 250-500 μm

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm ซึ่งเป็นชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) ในการอัดขึ้นรูปเป็นชั้นทดสอบ พบว่าเมื่ออัตราของเส้นใยมากขึ้น จะส่งผลให้ชั้นทดสอบมีค่าความชื้นมากตามไปด้วย จากผลการทดสอบพบว่า ชั้นทดสอบที่

ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 30:70 (wt.%) มีค่าความชื้นมากกว่าอัตราส่วน 25:75 (wt.%) และ 22:78 (wt.%) ตามลำดับ และกาบหมากขนาด <250 μm มีค่าความชื้นมากกว่ากาบหมากขนาด 250-500 μm โดยที่อัตราส่วน 30:70 กาบหมาก <250 μm มีค่าความชื้น 3.99 เปอร์เซ็นต์ กาบหมาก 250-500 μm มีค่าความชื้น 3.77 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) กาบหมาก <250 μm มีค่าความชื้น 3.59 เปอร์เซ็นต์ กาบหมาก 250-500 μm มีค่าความชื้น 2.40 เปอร์เซ็นต์ และ ที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) กาบหมาก <250 μm มีค่าความชื้น 3.38 เปอร์เซ็นต์ กาบหมาก 250-500 μm มีค่าความชื้น 1.98 เปอร์เซ็นต์ สังเกตได้ว่าค่าความชื้นของชั้นทดสอบลดลงตามอัตราส่วนของเส้นใย



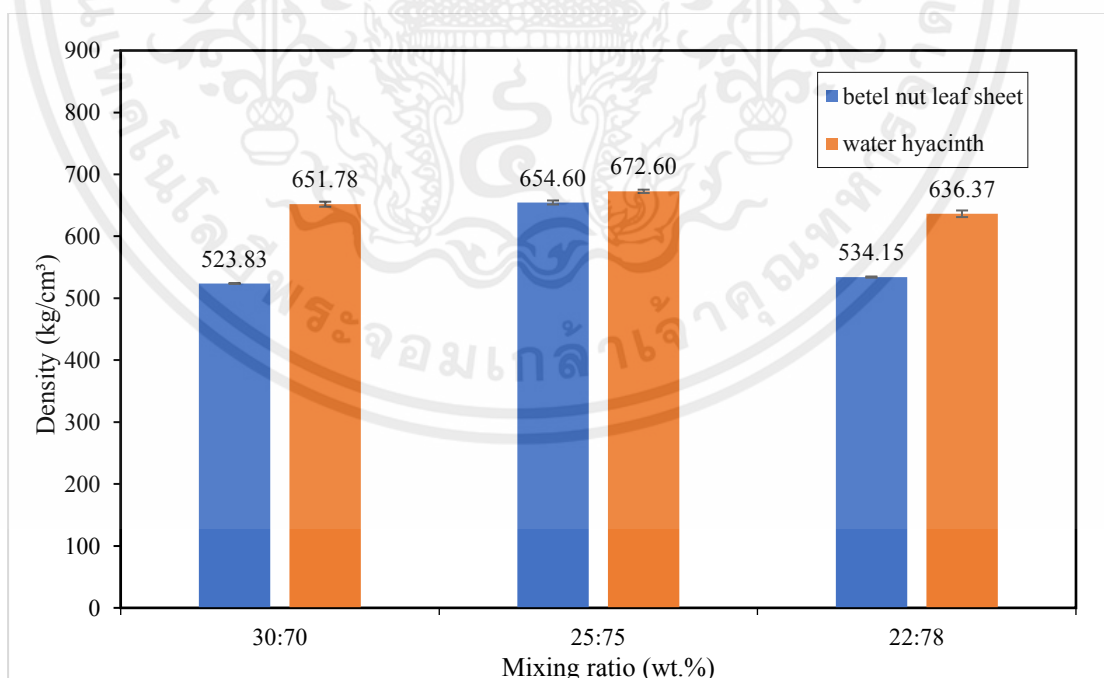
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm

จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่า เส้นใยทางผักตบชวา และกาบหมาก มีค่าความชื้นที่แตกต่างกันมาก ดังนั้นชนิดของเส้นใยจึงส่งผลต่อค่าความชื้น และค่าความชื้นจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนที่ลดลงและขนาดของเส้นใยที่เล็กลง เนื่องจาก เส้นใยขนาดเล็กมีอนุภาคเล็ก ชั้นทดสอบมีช่องว่างของอากาศที่น้อยทำให้ความชื้นแทรกตัวเข้าไปในชั้นทดสอบได้ยาก แต่จะแตกต่างกับเส้นใยขนาดใหญ่ที่มีอนุภาคใหญ่ ชั้นทดสอบจะมีช่องว่างของอากาศที่มากทำให้ความชื้นแทรกตัวเข้าไปในชั้นทดสอบได้

ง่าย แต่สำหรับผักตบชวา เมื่อขนาดของเส้นใยเล็กลงค่าความชื้นจะมากขึ้น เนื่องจากผักตบชวามีน้ำหนักเบาทำให้ช่องว่างของอากาศที่มากขึ้น ความชื้นจึงแทรกตัวเข้าไปในชั้นทดสอบได้ง่าย

4.1.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมาก ที่ขนาด $<250\mu\text{m}$ ซึ่งเป็นชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพารา ในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) ในการอัดขึ้นรูปเป็นชั้นทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่า กาบหมากและผักตบชวา ที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 523.83 และ 651.78 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ กาบหมากและผักตบชวา ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 654.60 และ 672.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และกาบหมากและผักตบชวา ที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 534.15 และ 636.37 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สังเกตได้ว่าผักตบชวามีค่าความหนาแน่นมากกว่ากาบหมาก เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง จะพบว่าเส้นใยกาบหมากที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 21.77% ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 2.71% และที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 17.47% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของเส้นใยผักตบชวา แสดงให้เห็นว่า มีเปอร์เซ็นต์ค่าความหนาแน่นลดลงมาก

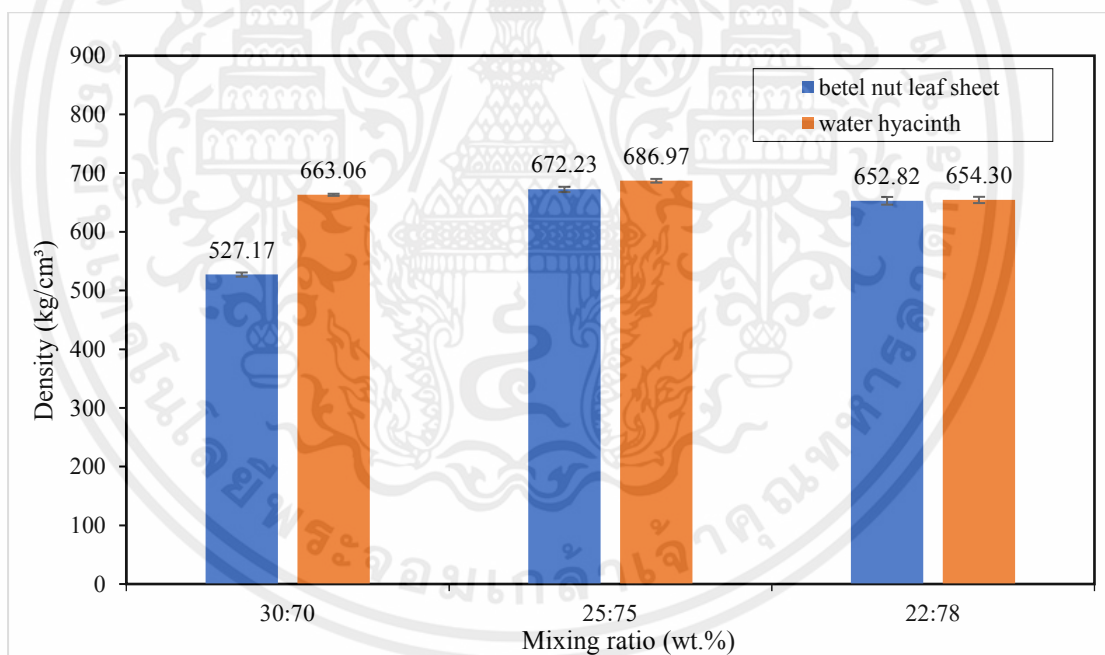


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมาก

ที่ขนาด $<250\mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

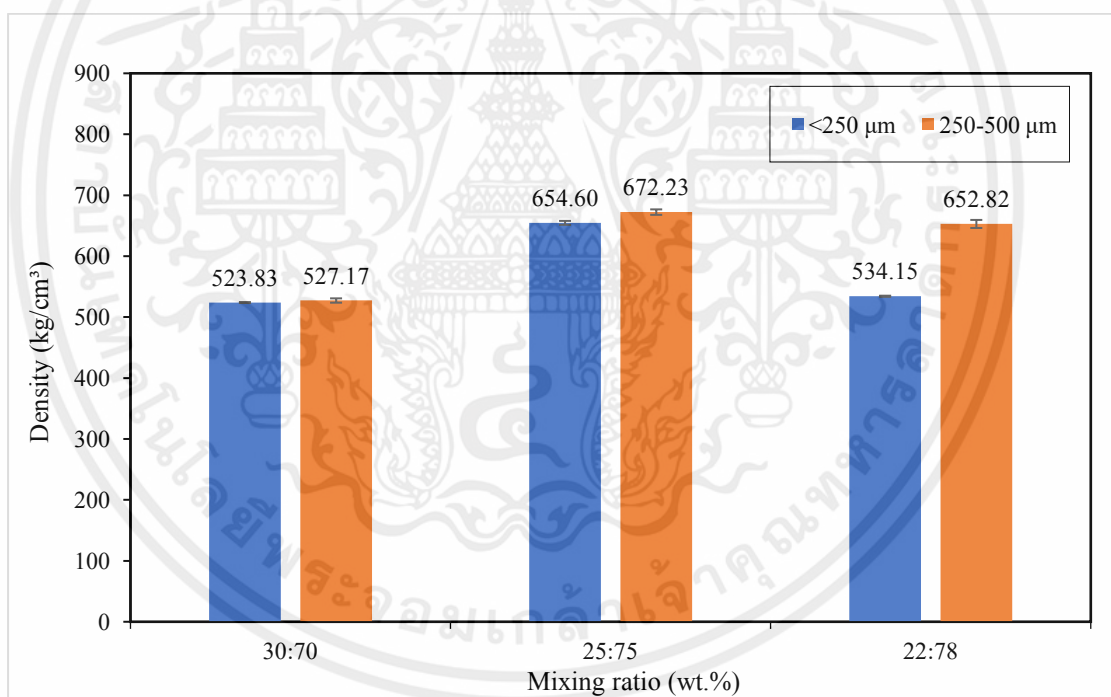
จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาและกาบหมาก ที่ขนาด 250-500 μm ซึ่งเป็นชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) ในการอัดขึ้นรูปเป็นชั้นทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่า กาบหมากและผักตบชวา ที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 527.17 และ 663.06 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ กาบหมากและผักตบชวา ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 672.23 และ 686.97 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และกาบหมากและผักตบชวา ที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 652.82 และ 654.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สังเกตได้ว่าผักตบชวามีค่าความหนาแน่นมากกว่ากาบหมากเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง จะพบว่าเส้นใยกาบหมากที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 22.83% ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 2.17% และที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 0.23% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของเส้นใยผักตบชวา แสดงให้เห็นว่า มีเปอร์เซ็นต์ค่าความหนาแน่นลดลงมาก



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา และ กาบหมาก ที่ขนาด 250-500 μm

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยกาบหมากที่ขนาด <250 และ 250-500 μm ซึ่งเป็นชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) ในการอัดขึ้นรูปเป็นชั้นทดสอบ จากผลการทดสอบ

พบว่า เส้นใยคาบหมากขนาด <250 และ 250-500 μm ที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 523.83 และ 527.17 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 654.60 และ 672.23 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และอัตราส่วน 22:78 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 534.15 และ 652.82 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สังเกตได้ว่าค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบเพิ่มขึ้นตามขนาดของเส้นใยที่ใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง จะพบว่าเส้นใยคาบหมากที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) ขนาด <250 μm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 0.64% ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) ขนาด <250 μm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 2.66% และที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) ขนาด <250 μm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 19.99% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของเส้นใยคาบหมากขนาด 250-500 μm แสดงให้เห็นว่า มีเปอร์เซ็นต์ค่าความหนาแน่นที่น้อยมาก ในกระบวนการเตรียมเส้นใยทางปาล์มจึงไม่จำเป็นต้องลดขนาดของเส้นใย เพื่อลดขั้นตอนการผลิตและประหยัดงบประมาณในการผลิต

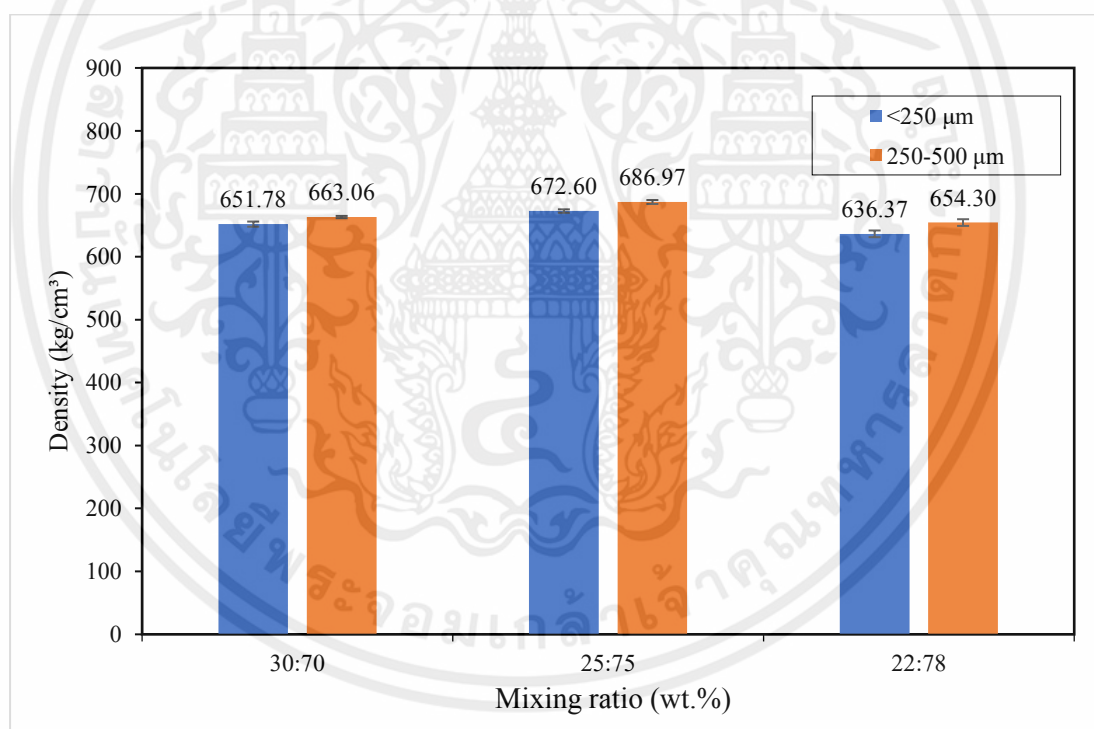


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยคาบหมาก ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm ซึ่งเป็นชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพารา ในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) ในการอัดขึ้นรูปเป็นชั้นทดสอบ จากผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า ผักตบชวาขนาด <250 และ 250-500 μm 250-500 μm ที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 651.78 และ 663.06 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 672.60 และ 686.97 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และอัตราส่วน 22:78 (wt.%) จะมีค่าความหนาแน่น 636.37 และ 654.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สังเกตได้ว่าค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบเพิ่มขึ้นตามขนาดของเส้นใยที่ใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง จะพบว่าเส้นใยผักตบชวาที่อัตราส่วน 30:70 (wt.%) ขนาด <250 μm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 1.72% ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) ขนาด <250 μm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 2.11% และที่อัตราส่วน 22:78 (wt.%) ขนาด <250 μm มีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นลดลง 2.31% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของเส้นใยผักตบชวาขนาด 250-500 μm แสดงให้เห็นว่า มีเปอร์เซ็นต์ค่าความหนาแน่นที่น้อยมาก ในกระบวนการเตรียมเส้นใยทางปาล์มจึงไม่จำเป็นต้องลดขนาดของเส้นใย เพื่อลดขั้นตอนการผลิตและประหยัดงบประมาณในการผลิต



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm

จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่า เส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก มีค่าความหนาแน่นแตกต่างกัน แสดงว่าชนิดของเส้นใยมีผลต่อค่าความหนาแน่น และค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นตามขนาดของเส้นใยที่ใหญ่ขึ้นและอัตราส่วนของเส้นใยที่น้อยลง

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยหมากโดยใช้น้ำยาพาราเป็นตัวประสาน

การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยหมากโดยใช้น้ำยาพาราเป็นตัวประสาน เป็นการเปรียบเทียบเพื่อดูค่าการนำความร้อน ประสิทธิภาพของเตา และ อัตราการสูญเสียความร้อน

4.2.1 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

จากผลการทดสอบพบว่า เส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) ขนาด <math><250\text{ }\mu\text{m}</math> จะมีค่าการนำความร้อน $21.7477\text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$ และ $20.4030\text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$ ตามลำดับ เส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ที่อัตราส่วน 25:75 (wt.%) ขนาด 250-500 (μm) จะมีค่าการนำความร้อน $20.3323\text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$ และ $19.6559\text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1})$ ตามลำดับ สังเกตได้ว่าค่าการนำความร้อนของชิ้นทดสอบลดลงเมื่อขนาดของเส้นใยใหญ่ขึ้น ดังนั้นจากผลทดสอบค่าการนำความร้อนของชิ้นทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยธรรมชาติทำให้ทราบว่า เส้นใยขนาด 250-500 μm จะมีแนวโน้มการป้องกันความร้อนได้ดีกว่าเส้นใยขนาด <math><250\text{ }\mu\text{m}</math> เนื่องจาก เส้นใยขนาดใหญ่มีอนุภาคใหญ่ทำให้ชิ้นทดสอบ มีค่าความหนาแน่นสูง ส่งผลให้การไหลผ่านของความร้อนทำได้ยาก แต่เส้นใยขนาดเล็กมีอนุภาคเล็ก ทำให้มีความหนาแน่นน้อย ส่งผลให้การไหลผ่านของความร้อนทำได้ง่ายขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.2 ค่าคุณสมบัติเส้นใยผักตบชวา เส้นใยกาบหมาก และวัสดุชีวมวลอื่น ๆ [32,34,35,36]

ชนิดของเส้นใย	ขนาดของเส้นใย(μm)	อัตราส่วน (wt.%)	ปริมาณความชื้น (%)	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าการนำความร้อน ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$)
เส้นใยผักตบชวา	<250	22:78	3.38	636.37	-
		25:75	3.59	672.59	21.7477
		30:70	3.99	651.78	-
	250-500	22:78	1.98	654.29	-
		25:75	2.39	686.97	20.3323
		30:70	3.77	663.06	-
เส้นใยกาบหมาก	<250	22:78	3.58	534.15	-
		25:75	4.03	654.59	20.4030
		30:70	6.15	523.83	-
	250-500	22:78	3.98	652.82	-
		25:75	5.75	672.23	19.6559
		30:70	6.96	527.17	-
เส้นใยลูกตาล	-	-	12.43	146.24	0.06143
เส้นใยหญ้าคา	-	-	9.53	180.68	0.051
กากใบชาเขียว	-	-	9	-	0.052
กากใบชาเขียวผสมเส้นใยผักตบชวา	-	-	12.5	402	0.056
เส้นใยกากมะพร้าวและต้นข้าวโพด	-	-	11.5	1275	0.1

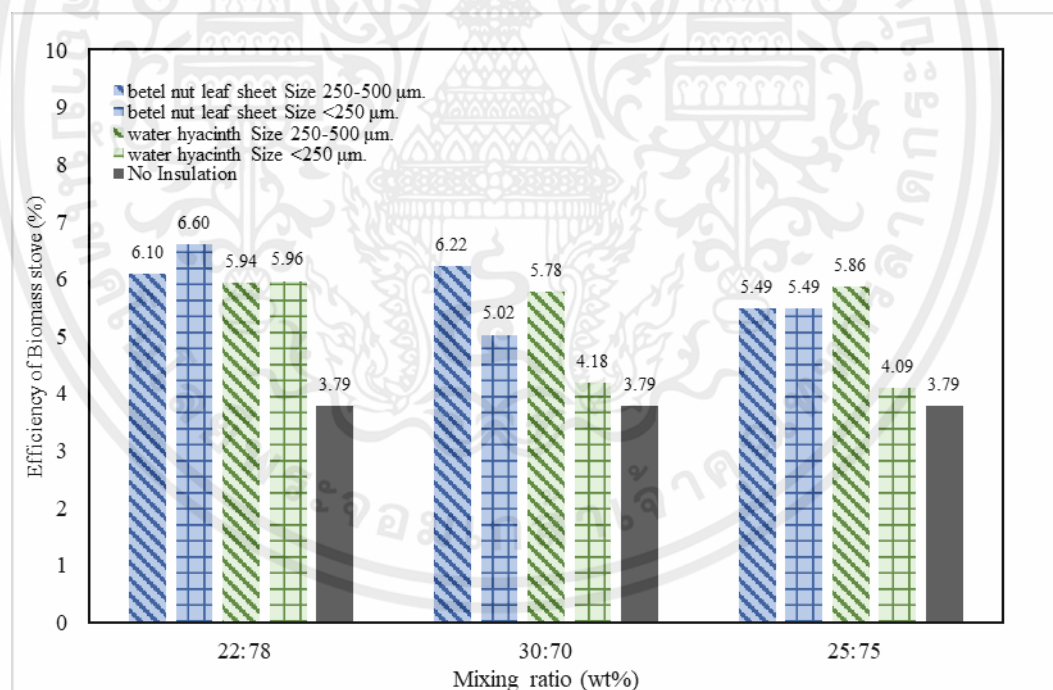
เมื่อนำผลการทดสอบฉนวนกันความร้อนเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก เปรียบเทียบกับฉนวนกันความร้อนเส้นใยชีวมวลชนิดอื่น ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าเส้นใยชีวมวลชนิดอื่น กล่าวคือ ฉนวนกันความร้อนเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมากมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นที่น้อย และมีค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าฉนวนกันความร้อนเส้นใยชีวมวลชนิดอื่น ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีของฉนวนกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเชิงความร้อน จากผลทดสอบค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมากเปรียบเทียบกับฉนวนกันความร้อนเส้นใยชีวมวลชนิดอื่น พบว่าฉนวนกันความร้อนเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมากมีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าฉนวนกันความร้อนเส้นใยชีวมวลชนิดอื่น ดังนั้น ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมากจึงมีความสามารถต้านทานความร้อนได้น้อยกว่าฉนวนกันความร้อนเส้นใยชีวมวลชนิดอื่น ๆ

4.2.2 ประสิทธิภาพของเตา (Efficiency)

ประสิทธิภาพของเตาชีวมวลซึ่งคำนวณจากผลการทดสอบด้วยวิธี Water Boiling Test (WBT) ของทุกเงื่อนไขในกรณีศึกษาี้แสดงในรูปที่ 4.10 แสดงถึงค่าประสิทธิภาพของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากและฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาที่ขนาด 250-500 μm และ <250 μm ในทุกอัตราส่วน พบว่า ค่าประสิทธิภาพของเตาชีวมวลที่ดีที่สุดคือฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากขนาด <250 μm ในอัตราส่วน 22:78 (wt.%) มีค่าประสิทธิภาพของเตาชีวมวลอยู่ที่ 6.60%

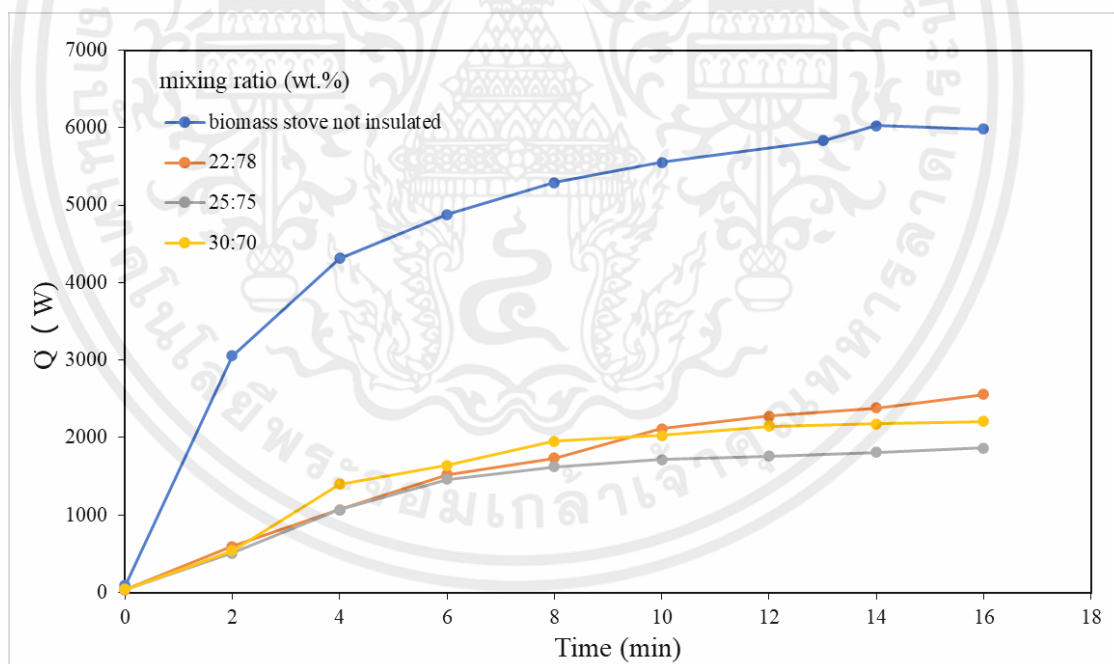


รูปที่ 4.10 ค่าประสิทธิภาพของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากและฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาที่ขนาด 250-500 μm และ <250 μm ในทุกอัตราส่วน

4.2.3 อัตราการสูญเสียความร้อน (Heat Loss)

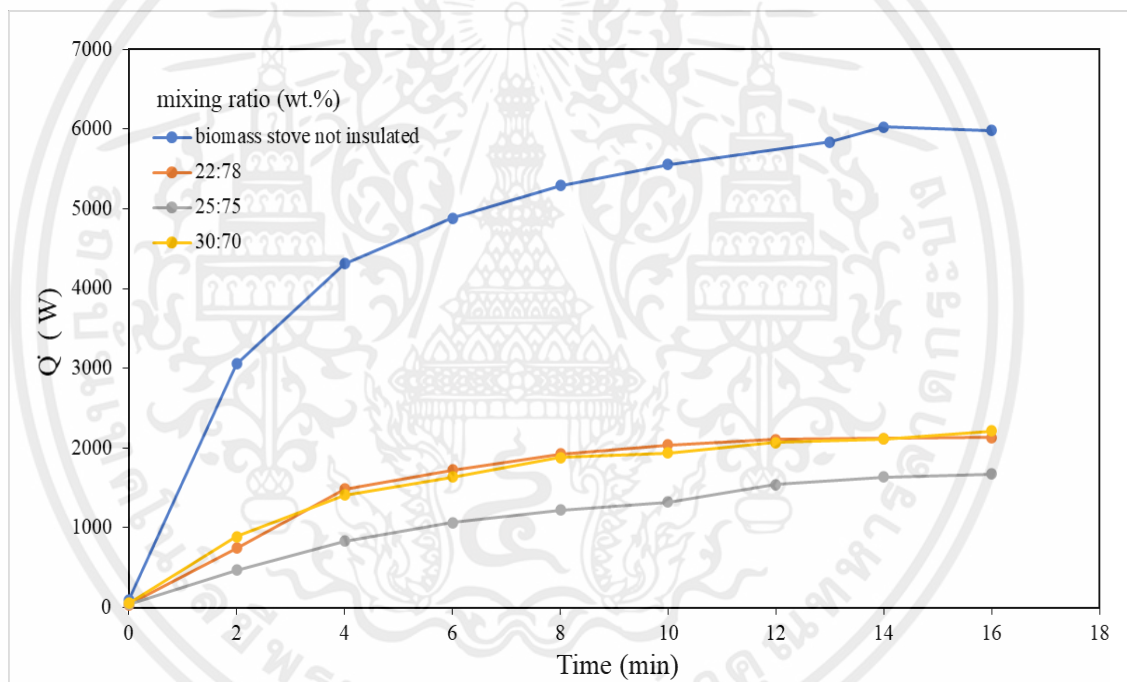
เพื่อตรวจสอบความสามารถในการเป็นฉนวนกันความร้อนจึงอาศัยหลักการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทออกสู่สภาพแวดล้อมในเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อน ในการศึกษาไม่พิจารณาอิทธิพลการพาความร้อนภายนอกและภายในเตาชีวมวลเนื่องจากในระหว่างการทดลองอากาศภายในและนอกเตาชีวมวลมีการเคลื่อนที่น้อยมาก

แสดงในรูปที่ 4.11 แสดงถึงความสัมพันธ์อัตราการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอกระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากขนาด 250-500 μm ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยกาบหมากกับน้ำยางพารา จะเห็นได้ว่าการต้ม้กับเตาชีวมวลที่ไม่มีฉนวนนั้นเกิดการสูญเสียความร้อนที่ประมาณ 6000 W แต่เมื่อติดฉนวนกันความร้อนให้แก่เตาชีวมวลแล้วพบว่า ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากที่ผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78, 25:75 และ 30:70 (wt.%) การสูญเสียความร้อนของเตาชีวมวลลดลงเหลือ 2500 W, 1800 W และ 2200 W ตามลำดับ และเห็นได้ว่าฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากที่ผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 25:75 (wt.%) มีค่าการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด



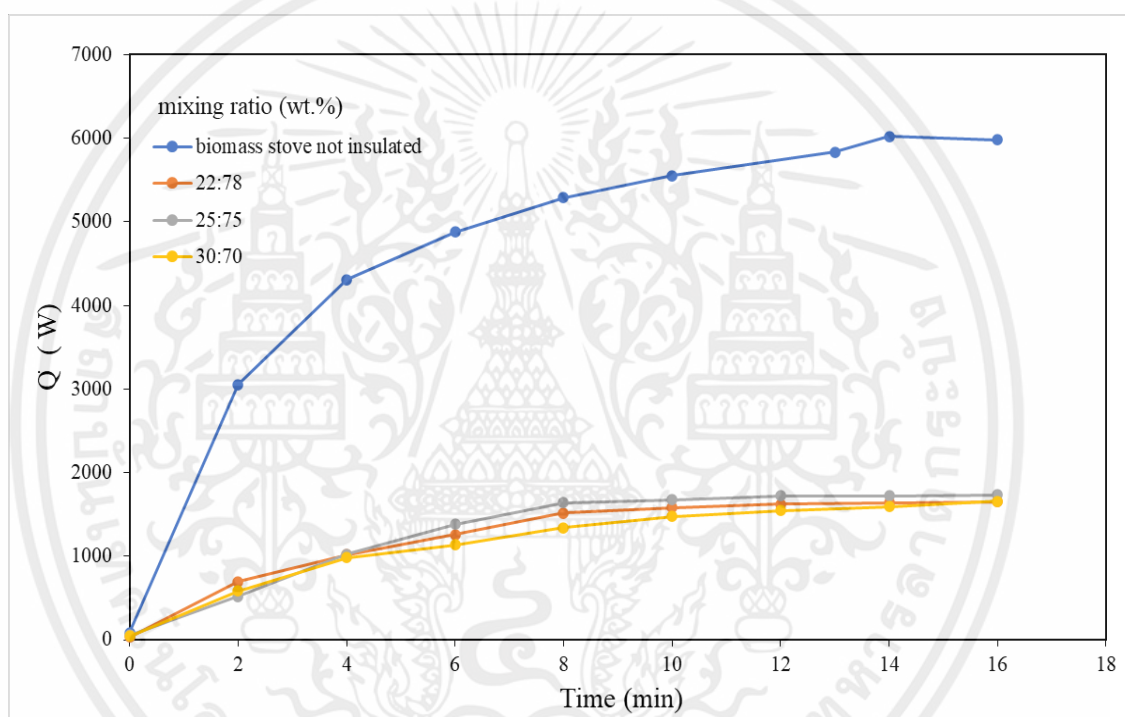
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์อัตราการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอก ระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากขนาด 250-500 μm ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยกาบหมากกับน้ำยางพารา

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.12 แสดงถึงความสัมพันธ์อัตราการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอกระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากขนาด $<250 \mu\text{m}$ ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยกาบหมากกับน้ำยางพารา จะเห็นได้ว่าการต้มต้มน้ำกับเตาชีวมวลที่ไม่มีฉนวนนั้นเกิดการสูญเสียความร้อนที่ประมาณ 6000 W แต่เมื่อติดฉนวนกันความร้อนให้แก่เตาชีวมวลแล้วพบว่า ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากที่ผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78 และ 30:70 (wt.%) มีค่าการสูญเสียความร้อนที่ไม่แตกต่างกัน การสูญเสียความร้อนของเตาชีวมวลลดลงเหลือ 2000 W ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากที่ผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 25:75 (wt.%) มีค่าการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด โดยการสูญเสียความร้อนของเตาชีวมวลลดลงเหลือ 1500 W



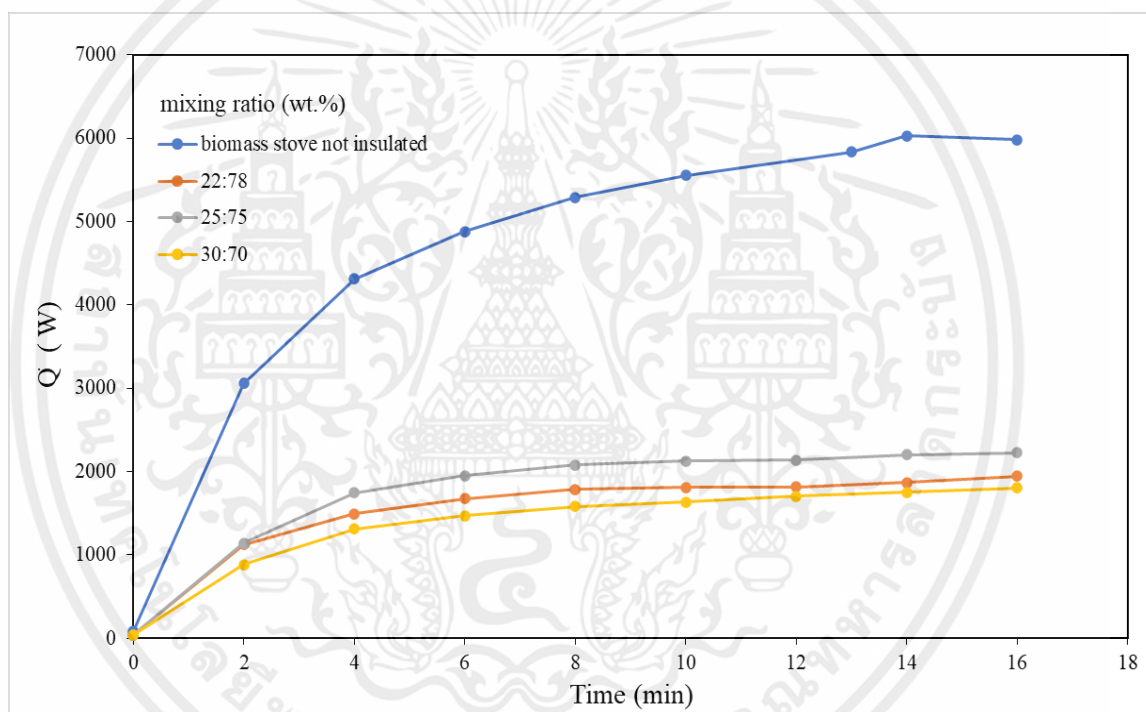
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์อัตราการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอก ระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมากขนาด $<250 \mu\text{m}$ ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยกาบหมากกับน้ำยางพารา

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.13 แสดงถึงความสัมพันธ์อัตราการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอกระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาขนาด 250-500 μm ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยผักตบชวากับน้ำยางพารา จะเห็นได้ว่าในการต้มน้ำกับเตาชีวมวลที่ไม่มีฉนวนนั้นเกิดการสูญเสียความร้อนที่ประมาณ 6000 W แต่เมื่อติดฉนวนกันความร้อนให้แก่เตาชีวมวลแล้วพบว่า การสูญเสียความร้อนของเตาชีวมวลลดลงเหลือ 1500 W และเห็นได้ว่าฉนวนจากเส้นใยผักตบชวาที่ผสมกับน้ำยางพาราทั้ง 3 อัตราส่วน มีค่าการสูญเสียความร้อนที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์อัตราการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอก ระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาขนาด 250-500 μm ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยผักตบชวากับน้ำยางพารา

จากกราฟแสดงในรูปที่ 4.14 แสดงถึงความสัมพันธ์อัตราการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอกระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาขนาด $<250 \mu\text{m}$ ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยผักตบชวากับน้ำยางพารา จะเห็นได้ว่าการต้มต้มน้ำกับเตาชีวมวลที่ไม่มีฉนวนนั้นเกิดการสูญเสียความร้อนที่ประมาณ 6000 W แต่เมื่อติดฉนวนกันความร้อนให้แก่เตาชีวมวลแล้วพบว่า ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาที่ผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78, 25:75 และ 30:70 (wt.%) การสูญเสียความร้อนของเตาชีวมวลลดลงเหลือ 2000 W, 2200 W และ 1800 W ตามลำดับ และเห็นได้ว่าฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาที่ผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 30:70 (wt.%) มีค่าการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์อัตราการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวเตาด้านในสู่ผิวเตาด้านนอก ระหว่างเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาขนาด $<250 \mu\text{m}$ ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยผักตบชวากับน้ำยางพารา

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนจากเส้นใย ผักตบชวาและเส้นใยกาบหมากเปรียบเทียบกับเตาชีวมวลเปล่า

ชนิด	ขนาดของเส้นใย(μm)	อัตราส่วน (wt.%)	ประสิทธิภาพ (%)	ความต้านทานฉนวน ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{w}$)	SD
เส้นใย ผักตบชวา	<250	22:78	5.97	-	0.17
		25:75	4.18	1.52	0.65
		30:70	4.09	-	0.58
	250-500	22:78	5.94	-	1.63
		25:75	5.78	1.52	0.04
		30:70	5.86	-	1.21
เส้นใยกาบหมาก	<250	22:78	6.60	-	0.64
		25:75	5.03	1.52	0.36
		30:70	5.49	-	0.02
	250-500	22:78	6.09	-	0.22
		25:75	6.22	1.52	0.58
		30:70	5.48	-	0.24
เตาเปล่า	-	-	3.79	1.52	1.74

เมื่อนำผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลหุ้มด้วยฉนวนเส้นใย ผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก เปรียบเทียบกับเตาชีวมวลเปล่า ดังตารางที่ 4.3 พบว่า ฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีกว่าเตาชีวมวลเปล่า กล่าวคือ ฉนวนกันความร้อนเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมากมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเตาชีวมวลเปล่า ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของฉนวนกันความร้อน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมากโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน โดยขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ชนิดของเส้นใย ได้แก่ เส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ที่มีขนาด <math><250\mu\text{m}</math> และ $250-500\ \mu\text{m}$ ตามลำดับ อัตราส่วนของเส้นใย ได้แก่ 22:78, 25:75 และ 30:70 (wt.%) จากการศึกษาพบว่า

5.1.1 ค่าความชื้นของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก

1. ชนิดของเส้นใยส่งผลต่อค่าความชื้น จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่า เส้นใยกาบหมากมีค่าความชื้นมากกว่าเส้นใยผักตบชวา

2. ค่าความชื้นขึ้นอยู่กับขนาดและอัตราส่วนของเส้นใย

1. ขึ้นทดสอบที่ใช้เส้นใยกาบหมาก ในการอัดขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ พบว่าเมื่ออัตราส่วนมากขึ้นและขนาดของเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้ขึ้นทดสอบมีค่าความชื้นมากตามไปด้วย

2. ขึ้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวา ในการอัดขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ พบว่าเมื่อขนาดของเส้นใยเล็กลงค่าความชื้นจะมากขึ้น เนื่องจากผักตบชวามีน้ำหนักเบาทำให้ช่องว่างของอากาศที่มากขึ้น ความชื้นจึงแทรกตัวเข้าไปในขึ้นทดสอบได้ง่าย

5.1.2 ค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก

1. ชนิดของเส้นใยมีผลต่อค่าความหนาแน่น จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่า เส้นใยผักตบชวามีค่าความหนาแน่นมากกว่าเส้นใยกาบหมาก

2. ค่าความหนาแน่นขึ้นอยู่กับขนาดและอัตราส่วนของเส้นใย

1. ขึ้นทดสอบที่ใช้เส้นใยกาบหมาก ในการอัดขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ พบว่าค่าความหนาแน่นของขึ้นทดสอบจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเส้นใยกาบหมากที่น้อยลงขนาดของเส้นใยกาบหมากที่ใหญ่ขึ้น

2. ขึ้นทดสอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวา ในการอัดขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ พบว่าค่าความหนาแน่นของขึ้นทดสอบจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเส้นใยผักตบที่น้อยลงและขนาดของเส้นใยผักตบชวาที่ใหญ่ขึ้น

3. เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ที่ขนาด <250 และ 250-500 μm ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เส้นใยผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 22:78 25:75 และ 30:70 (wt.%) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ค่าความหนาแน่นลดลงน้อยมาก ในกระบวนการเตรียมเส้นใยทางปาล์มจึงไม่จำเป็นต้องลดขนาดของเส้นใย เพื่อลดขั้นตอนการผลิตและประหยัดงบประมาณในการผลิต

5.1.3 ค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยทางใบปาล์ม

ชนิดของเส้นใยส่งผลต่อค่าการนำความร้อน จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่า เส้นใยกาบหมากมีค่าการนำความร้อนน้อยกว่าเส้นใยผักตบชวา ทำให้ขั้นตอนทดสอบจากเส้นใยกาบหมากมีแนวโน้มที่จะป้องกันความร้อนได้ดีกว่าขั้นตอนทดสอบจากเส้นใยผักตบชวา

5.1.4 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล

จากผลการทดสอบทำให้ทราบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลที่ดีที่สุดคือเตาชีวมวลที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกาบหมาก ขนาด <250 μm

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มขนาดความหนาของฉนวนกันความร้อน เพื่อการทดสอบค่าต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น
2. น้ำยางที่ใช้ไม่เหมาะสมต่อการทำฉนวนต่อการต้านทานความร้อน ควรเปลี่ยนตัวผสม
3. การอัดขึ้นรูปร้อนทำให้ชิ้นงานติดบล็อก เกิดการแตกหักง่าย ควรใช้สเปย์ซิลิโคนเพื่อลดการติดบล็อกของชิ้นงาน
4. ควรสุ่มตัวอย่างของอนุภาคขนาด <250 μm และ 250-500 μm ไปทดสอบเพื่อหาอนุภาคว่าส่วนใหญ่อยู่ขนาดที่เท่าไร
5. ควรขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนโค้งตามรูปแบบเตาชีวมวลเพื่อลดความเสี่ยงต่อการแตกหักฉนวนกันความร้อน
6. ควรหาวิธีทดสอบอุณหภูมิภายในแบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนิรุทธิ์ ต่ายขาว. 2557. **พลังงานหมุนเวียน**. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 8 ฉบับที่ 2. หน้า 9-18
- [2] รัฐิพร เจาจง และ ชีญญานุช แรงเขตกรรม. 2557. **การเปรียบเทียบฉนวนของเตาแก๊สชีวมวลโดยใช้วัสดุดิบที่หาง่ายในชุมชน**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- [3] เครื่องมือค้นหา และอัปเดตข้อมูลด้านวัสดุ เพื่อการออกแบบสถาปัตยกรรม. 2019. **ฉนวนกันความร้อน (Sound insulation) กับคุณสมบัติที่น่ารู้ก่อนจะนำไปใช้งาน**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.wazzadu.com/article/1367>
- [4] บริษัทเอกลักษณ์แกรนิตและหินอ่อน. 2021. **ประโยชน์ของฉนวนกันความร้อน**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.ekkhouse.com/17073875/ประโยชน์ของฉนวนกันความร้อน>.
- [5] รศ.ดร.สมชัย อัครทิวา และดร. ขวัญจิต วงษ์ขาริ. 2552. **เทอร์โมไดนามิกส์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล
- [6] RPK Editorial Services, Inc. 2015. **Thermodynamics An Engineering Approach**. Printed in the United States of America. McGraw-Hill Education.
- [7] เมคคานิคอล ซิสเต็ม ดีไซน์. 2016. **ขั้นตอนปฏิกิริยาของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <http://www.mechdesign.co.th/16026829/ขั้นตอนปฏิกิริยาของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน>
- [8] ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. 2021. **เส้นใยธรรมชาติ**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <http://otop.dss.go.th/index.php/knowledge/interesting-articles/259-natural-fibers>
- [9] RUEDEE RETAIL. 2020. **ใยฝ้าย**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.ruedee.com/th/fabric/cotton/>
- [10] RUEDEE RETAIL. 2020. **ใยงุ่น**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.ruedee.com/th/fabric/kapok/>
- [11] sacict. 2018. **ใยลินิน**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.sacict.or.th/th/detail/2018-09-14-11-35-v-fPU>
- [12] RUEDEE RETAIL. 2020. **ใยปอ**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.ruedee.com/th/fabric/jute/>

- [13] thaiscience. 2014. **ใยสังเคราะห์**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง:
<http://www.thaiscience.info/journals/Article/SSCJ/10967028.pdf>
- [14] เพื่อพืชเกษตรไทย. 2017. **ป่านครนารายณ์**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง:
<https://puechkaset.com/ป่านครนารายณ์/>
- [15] th.hmong.wiki. 2021. **เส้นใยมะพร้าว**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง:
<https://th.hmong.wiki/wiki/Coir>
- [16] terrestrial. 2018. **ขนสัตว์**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง:
<https://goterrestrial.com/2018/06/18/cloth-from-animals/>
- [17] terrestrial. 2018. **เส้นใยไหม**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง:
<https://goterrestrial.com/2018/06/18/cloth-from-animals/>
- [18] วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. 2010. **แร่ใยหิน**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง:
<https://th.wikipedia.org/wiki/แร่ใยหิน/>
- [19] Longdo Dict. 2003. **กาบ**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง:
<https://dict.longdo.com/search/กาบ/>
- [20] สมุนไพรดอทคอม. 2016. **ผักตบชวา**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.samunpri.com/ผักตบชวา/>
- [21] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2016. **ประวัติยางพารา**. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/history/>
- [22] โรสลีนา อนันตบุญกลางศรีอติยะห์ เจ๊ะแม นูรมายามีน สาเร๊ะนู. 2562. **การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**. คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาจังหวัดยะลา.
- [23] Ramlee A., Jawaid M., Zainudin S., Karim Yamani SA. 2019. **Tensile, physical and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibre reinforced phenolic hybrid composites**. J MATER RES TECHNOL. 2019;8(4) : 3466-3474
- [24] Philip S., and R. Rakendu. 2020. **Thermal insulation materials based on water hyacinth for application in sustainable buildings**. Materials Today: Proceedings 33 (2020) : 3803-3809.
- [25] Rashid K., Ul Haq E., Sajid Kamran M., Munir N., Shahid A., Hanif I. 2019. **Experimental and finite element analysis on thermal conductivity of burnt**

- clay bricks reinforced with fibers. *Construction and Building Materials* 221 (2019) : 190-199.
- [26] นิกร สุขสวัสดิ์. 2560. **แผ่นฝ้าฉนวนกันความร้อนจากกากใบชาเชื่อมกับเส้นใยผักตบชวา.** สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [27] อาจารย์ ดร.ปรีชา มัทธธนทวี และ รองศาสตราจารย์ จริญญาพัฒน์ ภูวนันท์. 2547-2548. **วิธีการหาความต้านทานความร้อนของผนังโครงคร่าวไม้และเหล็ก.** คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [28] สุพันธ์ นวลเพ็ง. 2559. “วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ” เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.
- [29] Zou S., Li H., Wang S., Jiang R., Zou J., Zhang X., Liu L., Zhang G. 2020. **Experimental research on an innovative sawdust biomass-based insulation material for buildings.** *Journal of Cleaner Production* 260 (2020) : 121029
- [30] Dang Mao N., Anne-Cécile G., Thi My Hanh D., Quoc Bao B., Woloszyn M. 2018. **Influence of thermo-pressing conditions on insulation materials from bamboo fibers and proteins based bone glue.** *Industrial Crops & Products* 111 (2018) : 834-845.
- [31] Zou S., Li H., Wang S., Jiang R., Zou J., Zhang X., Liu L., Zhang G. 2020. **Experimental research on an innovative sawdust biomass-based insulation material for buildings.** *Journal of Cleaner Production* 260 (2020) : 121029
- [32] Almalkawi Aree T., Soroushian P., Shrestha Som S. 2019. **Evaluation of the Energy-Efficiency of an Aerated Slurry-Infiltrated Mesh Building System with Bioass-Based Insulation.** *Renewable Energy* 133 (2019) : 797-806
- [33] ศรัณยา รัตนากร. 2558. **การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยลูกตาล.** ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมอาคาร) สาขาวิชานวัตกรรมอาคาร ภาควิชา นวัตกรรมอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [34] นิกร สุขสวัสดิ์. 2560. **แผ่นฝ้าฉนวนกันความร้อนจากกากใบชาเชื่อมกับเส้นใยผักตบชวา.** สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- [35] ศรารุช ทองเขียว. 2560. การศึกษาคุณสมบัติฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหญ้าคา. สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลังบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [36] ผกามาศ ชูสิทธิ์ และนิลमित นิลาศ. 2560. การพัฒนาแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนสูงจากเส้นใยกากมะพร้าวและต้นข้าวโพด. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [37] ฐิติพร เจาะจง และ พิสิษฐ์ มณีโชติ. 2558. ศึกษาประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีววมวลขนาดเล็ก. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [38] อนุภา สกุลพานิชย์. 2559. การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากขังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าความชื้นของเส้นใยฝักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ขนาด 250-500 μm

ชนิด	อัตราส่วน	การทดลอง 1	การทดลอง 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กาบหมาก	22:78	6.9583	6.958	6.95815	0.00021
	25:75	5.746	5.7461	5.7461	0.00007
	30:70	3.9762	3.9763	3.976	0.00007
ฝักตบชวา	22:78	3.7698	3.7698	3.7698	0.00000
	25:75	2.3952	2.3955	2.39535	0.00021
	30:70	1.9841	1.9844	1.98425	0.00021

ตารางที่ ก.2 ค่าความชื้นของเส้นใยฝักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ขนาด < 250 μm

ชนิด	อัตราส่วน	การทดลอง 1	การทดลอง 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กาบหมาก	22:78	6.9583	6.958	6.95815	0.00021
	25:75	5.746	5.7461	5.7461	0.00007
	30:70	3.9762	3.9763	3.976	0.00007
ฝักตบชวา	22:78	3.7698	3.7698	3.7698	0.00000
	25:75	2.3952	2.3955	2.39535	0.00021
	30:70	1.9841	1.9844	1.98425	0.00021

ตารางที่ ก.3 ค่าความหนาแน่นของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ขนาด 250-500 μm

ชนิด	อัตราส่วน	การทดลอง 1	การทดลอง 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กาบหมาก	22:78	524.67	529.67	527.17	3.5353
	25:75	669304	675.41	672.225	4.50427
	30:70	648.15	657.48	652.815	6.59731
ผักตบชวา	22:78	661.78	664.33	663.055	1.80312
	25:75	689.19	684.74	686.965	3.14663
	30:70	658.07	650.52	654.295	5.33866

ตารางที่ ก.4 ค่าความหนาแน่นของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยกาบหมาก ขนาด < 250 μm

ชนิด	อัตราส่วน	การทดลอง 1	การทดลอง 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กาบหมาก	22:78	524.33	523.33	523.8300	0.70711
	25:75	652.3	656.89	654.5950	3.24562
	30:70	533.48	534.81	534.1450	0.94045
ผักตบชวา	22:78	654.67	648.89	651.78	4.0871
	25:75	670.67	674.52	672.595	2.7224
	30:70	632.59	640.15	636.37	5.3457

ตารางที่ ก.5 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีมวลที่ไม่ติดฉนวนกันความร้อนระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาทื)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	32.3268	31.9321	30.8271	28.6824	29.1922	29.0444	29.85
2	110.0748	146.0765	127.107	34.4988	34.277	33.9152	45.5
4	147.7724	195.777	177.1706	43.512	40.6784	40.6351	57.45
6	164.0892	227.8042	203.566	52.6584	47.8062	46.904	68.3
8	178.0532	251.8427	222.7538	60.9168	53.2088	52.8121	76.45
10	175.3934	288.5398	236.5359	69.5748	60.382	60.6595	77.45
12	179.6388	308.5633	248.0778	73.3488	63.56	63.6361	84.05
14	185.3165	317.4398	254.2627	69.8412	65.149	68.9128	87.1
16	191.3522	318.0209	257.2334	77.0784	66.3294	74.2797	88.85

ตารางที่ ก.6 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาทื)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	35.4981	35.1174	33.7978	31.08	31.6438	31.4798	30.95
2	82.1469	83.4917	96.3773	31.8348	32.1432	32.0661	41.8
4	121.8393	128.9554	148.5837	33.6108	33.6868	33.9152	52.65
6	151.0971	204.0753	180.2387	36.3192	36.0022	37.7487	62.55
8	172.5801	233.5475	198.5499	40.9812	38.136	40.5449	70.05
10	205.3161	279.6521	234.4905	45.5544	40.7692	42.9352	84.75
12	222.7583	293.9434	259.4736	50.2164	43.8564	45.6412	92.8
14	237.8987	310.6143	266.6325	53.502	47.443	49.5649	94.1
16	267.5145	328.7421	275.3498	56.5656	50.0308	50.9179	89.7

ตารางที่ ก.7 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	33.29865	32.9962	31.655	28.4604	29.0106	29.0444	28.8
2	69.51285	70.4057	90.7768	29.5704	29.283	29.5856	41.05
4	109.8191	102.9512	181.3588	32.4564	30.7812	32.2465	53.25
6	152.9385	134.2616	226.455	35.9196	33.5052	35.3584	66.7
8	189.3573	145.5978	235.2697	40.6704	37.1372	39.6429	77.45
10	205.1115	161.8446	244.2792	49.1064	40.9962	42.394	87.3
12	209.9196	171.217	251.2433	52.5252	44.1288	44.7843	92.4
14	216.1088	187.8561	251.8764	55.278	46.535	47.7609	91.05
16	222.4514	197.341	254.4575	57.498	47.6246	48.3021	88.05

ตารางที่ ก.8 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	34.62855	34.1024	32.7264	29.8812	30.418	30.3072	30.75
2	64.7559	102.2996	74.6571	29.97	30.5542	30.9837	42.1
4	135.2918	192.2379	161.4892	31.3908	32.4156	33.9603	52.7
6	174.3192	216.045	173.5668	34.3656	34.7764	37.1624	66.9
8	217.2341	237.749	202.9816	36.852	36.32	39.7782	72.8
10	240.3539	250.8289	197.8194	41.0256	39.3164	42.7548	90
12	258.7167	261.8898	207.8516	43.0236	41.4048	45.0549	93.55
14	264.0875	271.5459	211.7476	46.7532	43.6294	48.257	92.2
16	266.5938	278.9796	216.7637	49.3728	45.2638	51.0983	84.8

ตารางที่ ก.9 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด <math><250\ \mu\text{m}</math> ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	30.4854	30.1596	29.22	26.2848	26.9676	26.9247	27.9
2	88.84755	114.9172	85.225	27.2172	27.694	27.511	43.9
4	156.3656	178.1506	167.041	29.748	30.0094	29.766	58.65
6	172.4778	219.8385	187.4463	34.0548	33.2782	33.7348	80.3
8	191.7614	250.5412	203.6147	38.1396	37.5912	36.7565	94.1
10	205.2138	262.567	220.124	42.2688	41.087	39.3723	93.1
12	211.8633	265.6812	236.9255	45.1548	42.9938	41.3116	92.25
14	213.9093	274.0176	239.0196	47.6856	45.6724	45.5961	91.85
16	217.2852	275.6468	245.6428	51.2376	47.5792	48.3021	86.4

ตารางที่ ก.10 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด <math><250\ \mu\text{m}</math> ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	31.76415	31.4682	30.2427	26.9508	27.8756	27.511	29.15
2	78.10605	72.8142	62.4334	27.7056	28.6928	28.0522	43.2
4	124.1922	106.3264	89.5106	29.3484	31.5076	28.3679	60.05
6	161.3783	123.1125	104.8024	31.0356	34.4132	28.9542	74.05
8	185.2653	137.2844	116.9774	33.3	37.5458	29.4503	84.55
10	198.0528	146.9164	127.7401	35.4756	40.2698	29.9013	88.65
12	203.3213	172.7411	162.4145	37.6512	42.9938	31.0288	92.6
14	211.0449	187.5832	169.963	39.5604	44.5374	31.7053	94.8
16	217.3364	193.06	172.0084	41.4252	45.3092	32.3367	89

ตารางที่ ก.11 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด <math><250\ \mu\text{m}</math> ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	32.27565	31.6345	30.1453	26.196	27.0584	26.6992	27.95
2	106.2897	114.4064	110.3542	27.5724	28.0118	28.4581	43.65
4	161.9921	166.4449	150.9213	28.638	29.4192	30.0817	64.6
6	189.4085	177.021	180.3361	30.636	30.9174	32.2465	75.9
8	211.9656	215.0283	193.4851	33.1668	32.0524	33.825	91.05
10	216.2111	221.8338	204.6861	35.6088	34.3678	34.9074	94.7
12	227.3618	242.7974	213.1112	37.1628	36.547	35.6741	94
14	230.0727	249.8333	219.15	38.3172	38.0452	36.982	93.45
16	243.0648	265.1976	223.1434	39.1164	39.2256	40.0488	91.2

ตารางที่ ก.12 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีมวลที่ติดฉนวนฝักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	30.4854	31.1285	30.0479	26.7732	27.1492	27.1051	27.95
2	88.84755	68.2559	111.9613	26.9064	27.3762	27.6463	42.1
4	156.3656	30.1596	29.22	26.2848	26.9676	26.9247	27.9
6	172.4778	114.9172	85.225	27.2172	27.694	27.511	43.9
8	191.7614	178.1506	167.041	29.748	30.0094	29.766	58.65
10	205.2138	219.8385	187.4463	34.0548	33.2782	33.7348	80.3
12	211.8633	250.5412	203.6147	38.1396	37.5912	36.7565	94.1
14	213.9093	262.567	220.124	42.2688	41.087	39.3723	93.1
16	217.2852	265.6812	236.9255	45.1548	42.9938	41.3116	92.25

ตารางที่ ก.13 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	32.78715	32.0934	30.4375	26.2404	27.0584	26.7894	29.5
2	87.2619	64.6128	75.3876	26.862	27.1946	28.1875	41
4	151.7621	104.2983	117.3183	28.2384	28.375	31.4798	53.45
6	194.8815	130.024	155.1582	31.3464	30.872	34.0505	64
8	222.7583	158.1518	180.1413	34.8984	34.277	35.6741	75.35
10	224.3951	169.5573	183.3068	38.0064	37.5004	36.9369	86.25
12	227.3618	179.7133	190.3196	41.07	39.498	38.3801	92.15
14	230.4308	181.1792	190.5631	42.4464	41.087	40.6802	88.9
16	231.1469	184.7011	194.0695	43.4676	42.1766	42.6195	85.55

ตารางที่ ก.14 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	31.55955	31.1285	30.0479	26.7732	27.1492	27.1051	27.95
2	64.2444	68.2559	111.9613	26.9064	27.3762	27.6463	42.1
4	95.9574	108.5748	154.4764	28.2384	28.829	29.0895	53.35
6	114.9852	123.2477	169.0377	28.9044	29.51	32.7426	64.6
8	129.3072	158.3913	182.7711	32.412	30.8266	34.5466	84.35
10	139.128	174.7306	202.3972	35.6088	34.1862	36.8016	89.8
12	144.5499	187.2554	209.9457	37.5624	35.412	39.3723	90.4
14	147.6701	192.8836	217.689	39.0276	36.4108	40.4998	88.35
16	150.4322	198.0869	229.9614	39.3384	37.1826	40.9508	87

ตารางที่ ก.15 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด <math><250\ \mu\text{m}</math> ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	34.52625	34.3579	32.9699	29.8812	30.3272	30.3072	31
2	110.5863	144.863	140.5969	31.7016	31.6438	34.0505	44.75
4	149.358	196.6817	162.0736	35.4756	35.1396	39.1919	64.5
6	163.8335	227.8732	178.5342	42.1356	37.228	44.7392	79.95
8	179.69	241.474	190.7092	46.62	40.4514	49.3394	89.2
10	189.3062	245.2264	194.2156	50.172	42.8576	53.8945	90.9
12	195.1373	248.6552	195.1409	54.168	45.4454	56.3299	90.8
14	202.7075	257.3444	197.5759	55.4112	47.2614	58.179	88.85
16	218.4617	261.1409	204.1017	57.942	47.5338	60.3438	86

ตารางที่ ก.16 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับเตาซีมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด <math><250\ \mu\text{m}</math> ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	33.2475	32.9962	32.0446	28.7712	29.3284	29.2699	29.6
2	161.8898	121.3311	114.0067	30.858	31.326	30.8484	43.55
4	231.198	181.0371	153.405	33.744	34.1862	33.6897	57.9
6	258.2052	204.8447	169.6708	37.6956	37.8636	38.4703	72
8	274.7778	216.6149	186.521	40.9368	41.6772	42.1234	78.9
10	281.6831	223.0776	193.1442	42.1356	42.9938	46.002	84.8
12	284.394	225.0555	196.5045	43.5564	43.6748	48.6629	84.4
14	284.5986	232.8319	209.4587	44.622	45.7632	49.7904	83.8
16	288.8441	237.972	211.7963	47.3304	47.216	50.8277	83.55

ตารางที่ ก.17 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิสำหรับเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด <math><250\ \mu\text{m}</math> ระหว่างการดำเนินการ

เวลา(นาที)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	T5°C	T6°C	T _{น้ำ}
0	31.713	31.9792	30.5349	27.4392	27.7394	27.8267	28.7
2	84.6021	155.4831	80.7933	28.1496	28.3296	28.6385	45.3
4	121.5324	215.3264	105.192	30.5916	30.6904	31.7504	62.7
6	140.6625	221.0186	133.6328	34.4988	34.2316	34.9976	79.9
8	159.4346	228.4542	148.1454	38.5836	37.3188	38.8762	89.05
10	161.7363	233.8458	161.0509	41.2476	39.5434	40.9959	91.45
12	172.887	238.4218	170.5961	42.9792	41.9042	43.4313	88.95
14	179.1785	241.045	177.9011	44.4888	42.9938	44.0627	86.55
16	184.6515	246.9157	182.3328	45.1992	43.6748	45.0549	85.3

ตารางที่ ก.18 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวลภายนอกเตาชีวมวลและอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ไม่ติดฉนวน ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	31.69533333	28.973	29.85
2	127.7527667	34.23033333	45.5
4	173.5733167	41.6085	57.45
6	198.4864667	49.12286667	68.3
8	217.5498833	55.6459	76.45
10	233.4896833	63.53876667	77.45
13	245.4266333	66.8483	84.05
14	252.33965	67.96766667	87.1
16	255.5354833	72.5625	88.85

ตารางที่ ก.19 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาซีวมวลภายนอกเตาซีวมวล และอุณหภูมิของน้ำของเตาซีวมวล
ที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาซีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาซีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	34.80443333	31.4012	30.95
2	87.33863333	32.0147	41.8
4	133.1261333	33.7376	52.65
6	178.4703667	36.69003333	62.55
8	201.5591667	39.88736667	70.05
10	239.8195667	43.08626667	84.75
13	258.7250833	46.57133333	92.8
14	271.71515	50.16996667	94.1
16	290.5354667	52.50476667	89.7

ตารางที่ ก.20 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาซีวมวลภายนอกเตาซีวมวลและอุณหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวล
ที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาซีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาซีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	32.64995	28.83846667	28.8
2	76.89845	29.47966667	41.05
4	131.37635	31.82803333	53.25
6	171.2183667	34.92773333	66.7
8	190.0749333	39.15016667	77.45
10	203.7451	44.16553333	87.3
13	210.7933	47.1461	92.4
14	218.61375	49.85796667	91.05
16	224.74995	51.14156667	88.05

ตารางที่ ก.21 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวลภายนอกเตาชีวมวลและอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวล ที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	33.81911667	30.20213333	30.75
2	80.57086667	30.50263333	42.1
4	163.0062833	32.5889	52.7
6	187.977	35.4348	66.9
8	219.32155	37.65006667	72.8
10	229.6673833	41.03226667	90
13	242.8193667	43.1611	93.55
14	249.1269833	46.2132	92.2
16	254.1123667	48.5783	84.8

ตารางที่ ก.22 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวล ภายนอกเตาชีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	29.955	26.7257	27.9
2	96.32991667	27.47406667	43.9
4	167.1857167	29.84113333	58.65
6	193.2542	33.68926667	80.3
8	215.30575	37.49576667	94.1
10	229.3016	40.90936667	93.1
13	238.1566667	43.1534	92.25
14	242.3155	46.31803333	91.85
16	246.1916	49.03963333	86.4

ตารางที่ ก.23 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด <math><250\ \mu\text{m}</math>ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาซีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาซีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	31.15835	27.4458	29.15
2	71.11788333	28.1502	43.2
4	106.6764	29.7413	60.05
6	129.7643833	31.46766667	74.05
8	146.5090333	33.43203333	84.55
10	157.5697667	35.21556667	88.65
13	179.4922833	37.2246	92.6
14	189.5303667	38.60103333	94.8
16	194.1349167	39.69036667	89

ตารางที่ ก.24 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาซีวมวล ภายนอกเตาซีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาซีวมวลที่ติดฉนวนกาบหมากที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด <math><250\ \mu\text{m}</math>ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาซีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาซีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	31.35181667	26.6512	27.95
2	110.3501	28.0141	43.65
4	159.7860833	29.37963333	64.6
6	182.2551833	31.26663333	75.9
8	206.8263333	33.01473333	91.05
10	214.24365	34.96133333	94.7
13	227.7567833	36.4613	94
14	233.0186667	37.78146667	93.45
16	243.8019333	39.4636	91.2

ตารางที่ ก.25 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวล ภายนอกเตาชีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนผักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	29.35813333	26.17143333	27.5
2	91.64108333	27.39756667	41.6
4	123.6712	29.34653333	60.3
6	149.40775	32.9381	78.95
8	178.50775	38.24373333	91.3
10	188.0342833	41.66523333	91.5
13	193.50975	43.33023333	91.4
14	197.5675	45.76003333	90.4
16	200.5989333	47.30643333	87.2

ตารางที่ ก.26 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวล ภายนอกเตาชีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนผักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	31.77268333	26.69606667	29.5
2	75.7541	27.4147	41
4	124.45955	29.3644	53.45
6	160.0212333	32.08963333	64
8	187.0171167	34.94983333	75.35
10	192.4197167	37.48123333	86.25
13	199.13155	39.64936667	92.15
14	200.72435	41.40453333	88.9
16	203.3058167	42.75456667	85.55

ตารางที่ ก.27 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวล ภายนอกเตาชีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนผักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด 250-500 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	30.91198333	27.00916667	27.95
2	81.4872	27.30963333	42.1
4	119.6695333	28.71896667	53.35
6	135.7568667	30.38566667	64.6
8	156.8232	32.59506667	84.35
10	172.0852667	35.5322	89.8
13	180.5836667	37.4489	90.4
14	186.0808833	38.64606667	88.35
16	192.8268167	39.15726667	87

ตารางที่ ก.28 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวล ภายนอกเตาชีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนผักตบชวาที่อัตราส่วนผสม 22:78 wt.% ขนาด <250 μm ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	33.95135	30.17186667	31
2	132.0154	32.4653	44.75
4	169.3711	36.60236667	64.5
6	190.0802833	41.3676	79.95
8	203.9577167	45.47026667	89.2
10	209.5827167	48.9747	90.9
13	212.9777833	51.9811	90.8
14	219.20925	53.6172	88.85
16	227.9014167	55.2732	86

ตารางที่ ก.29 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวล ภายนอกเตาชีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 25:75 wt.% ขนาด <250 μ ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	32.76276667	29.12316667	29.6
2	132.4091833	31.0108	43.55
4	188.5467	33.8733	57.9
6	210.9069	38.00983333	72
8	225.9712333	41.57913333	78.9
10	232.63495	43.71046667	84.8
13	235.318	45.29803333	84.4
14	242.2964	46.7252	83.8
16	246.2041167	48.45803333	83.55

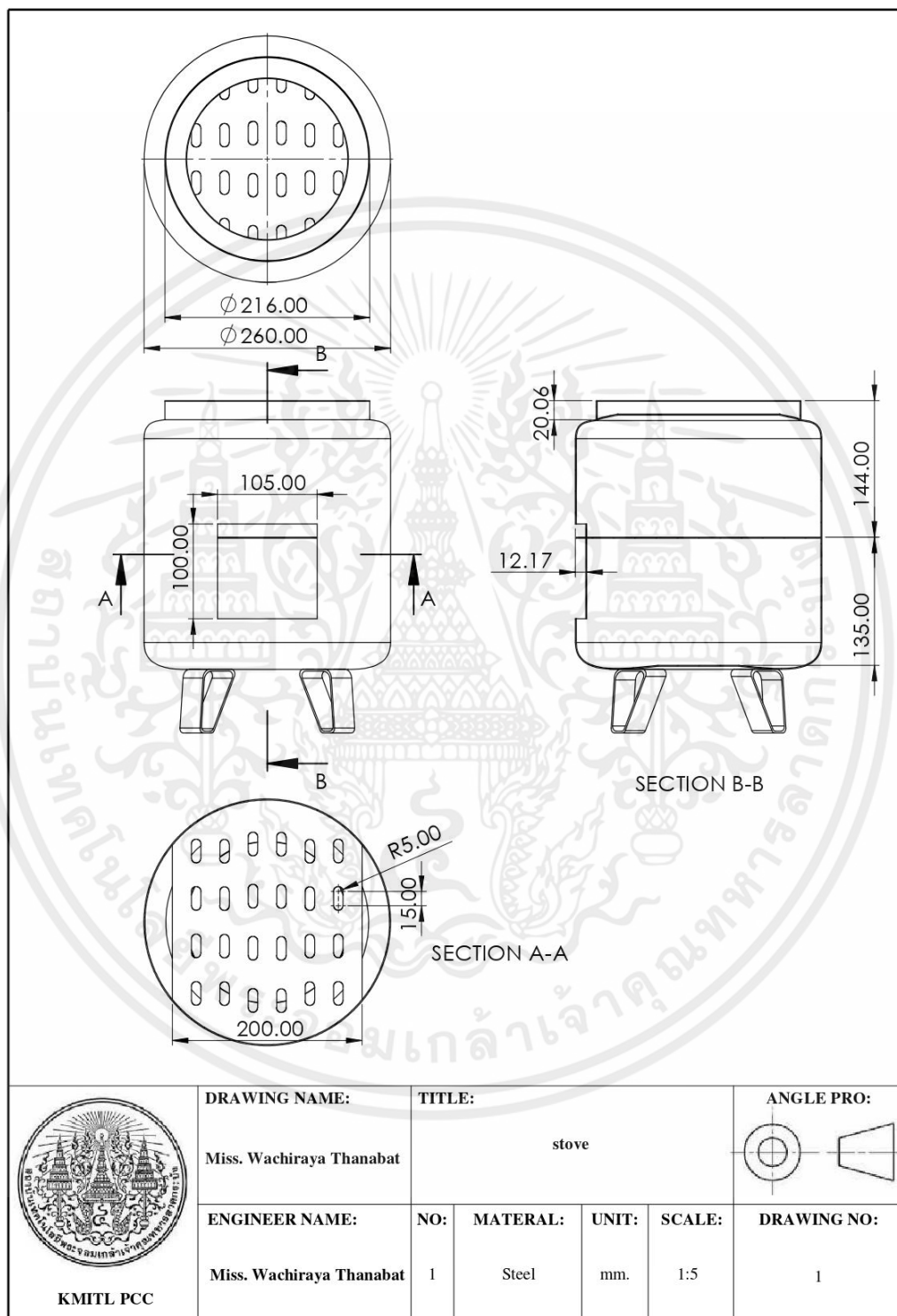
ตารางที่ ก.30 ลักษณะอุณหภูมิภายในเตาชีวมวล ภายนอกเตาชีวมวล และอุณหภูมิของน้ำ ของเตาชีวมวลที่ติดฉนวนฝักตบขวาที่อัตราส่วนผสม 30:70 wt.% ขนาด <250 μ ระหว่างการดำเนินการ

เวลา	อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิภายนอกเตาชีวมวล °C	อุณหภูมิของน้ำ °C
0	31.40903333	27.66843333	28.7
2	106.9595	28.37256667	45.3
4	147.3502667	31.0108	62.7
6	165.1046333	34.576	79.9
8	178.67805	38.25953333	89.05
10	185.5443333	40.59563333	91.45
13	193.9683	42.77156667	88.95
14	199.37485	43.84843333	86.55
16	204.6333333	44.64296667	85.3

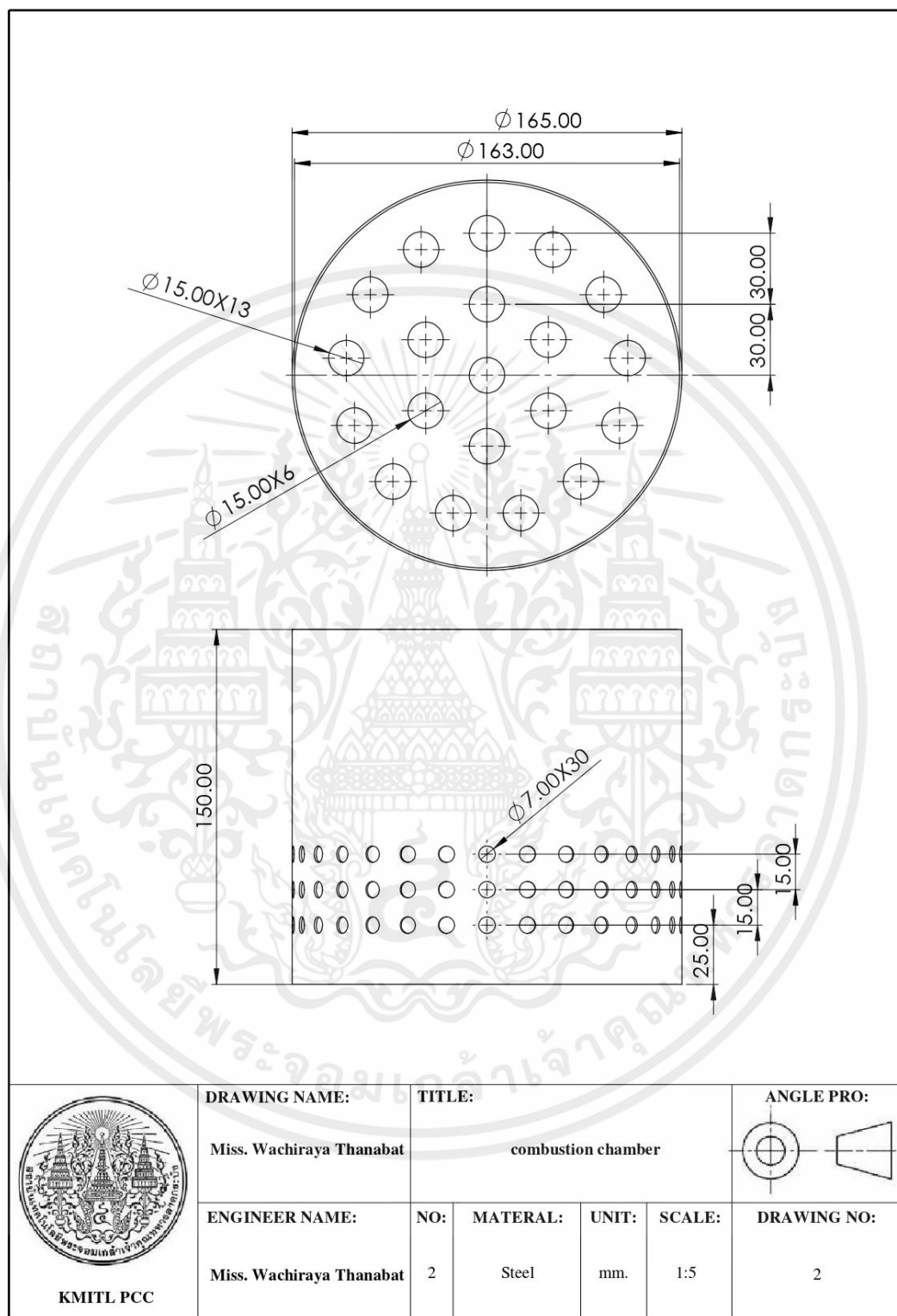


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

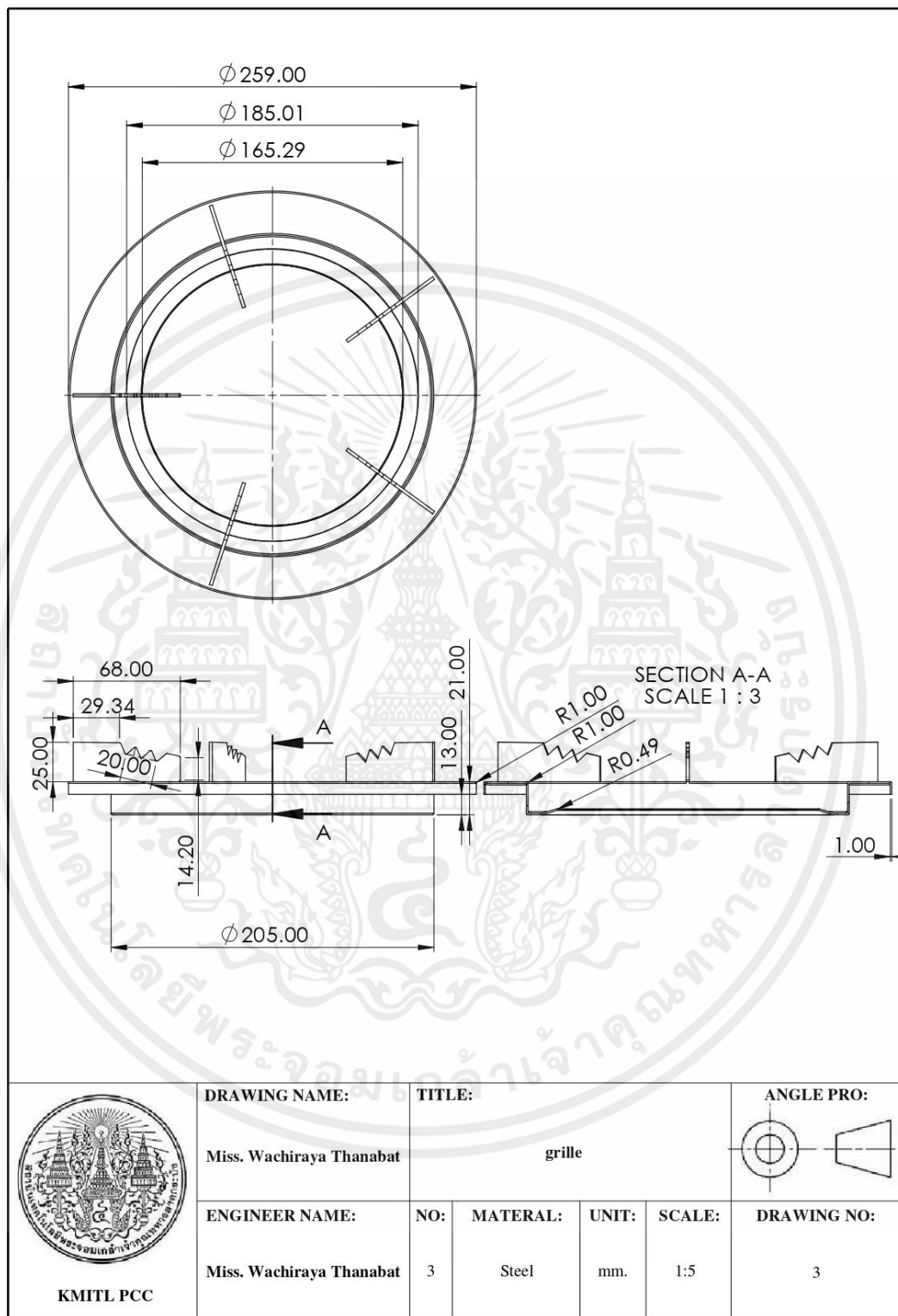
แบบและขนาดของเตาชีวมวล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายรณชัย เพ็ชรแก้ว
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2539
 ภูมิลำเนา กรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ 200/93 ซอย สุขุมวิท50 แขวงพระโขนง เขต
 คลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110
 E-mail 61514010@kmitl.ac.th

- ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2557 จากโรงเรียนเซนต์จอร์ห์น
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผลงานและกิจกรรม
- เข้าร่วมประชุมวิชาการโครงการวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 26 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2563
 - ผ่านการฝึกงาน ในส่วนวิศวกรรมพลังงาน ณ โรงรถจักรทุ่งสง อำเภอู่ทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ปี 2564

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวชิรญาณ์ ธนบัตร
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2542
 ภูมิลำเนา จังหวัดนครศรีธรรมราช
 ที่อยู่ 123 หมู่ที่ 1 ตำบลท่าขนาน อำเภอเชียรใหญ่
 จังหวัดนครศรีธรรมราช 80190
 E-mail 61514011@kmitl.ac.th

- ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2560 จากโรงเรียนเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผลงานและกิจกรรม
- ผ่านการฝึกงาน ในส่วนวิศวกรรมพลังงาน ณ บริษัท AJ ปาล์ม ออยล์ ปี 2564
 - เข้าร่วมการอบรมหลักสูตรด้านวิทยาการพลังงานสำหรับนักศึกษา วศ.รุ่นที่ 5 ประจำปี 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวลิซล ศรีทอง
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542
 ภูมิลำเนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 ที่อยู่ 133/69 หมู่ที่ 5 ตำบลกำเนิดนพคุณ อำเภอ
 บางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77140
 E-mail 61514022@kmitl.ac.th

- ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2560 จากโรงเรียนบางสะพานวิทยา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผลงานและกิจกรรม
- ผ่านการฝึกงาน ในส่วนวิศวกรรมพลังงาน ณ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์