

การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยไผ่เตยปะหนั้และน้ำยางธรรมชาติ

อำมีนา คำหิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบั้ฉติ

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

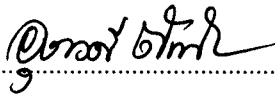
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มิถุนายน 2560

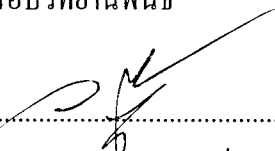
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

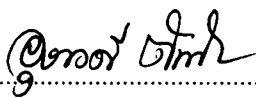
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ อามีน่า คำหิ ฉบบนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

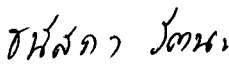
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

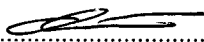

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ดันติวรานูรักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธาน
(ดร.วาทัญญ รอดประพัฒน์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ดันติวรานูรักษ์)


..... กรรมการ
(ดร.ธนัสถา รัตนะ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตู ศรีสุข)

วันที่ 16 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.อุษาวดี ตันติวรานุกฤษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาระดับพื้นฐาน (สพฐ.) ประจำปีการศึกษา 2557-2558 ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.วาทัญญู รอดประพัฒน์ ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.ชนัสตา รัตนะ และ ผศ.ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องและเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้อำนาจใจ และให้ความช่วยเหลือสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณคุณศิริคนัย สุหลง และภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางและให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการผลิตชิ้นงานทดสอบ

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูแด่บิดาแม่บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

อามีน่า คำหิ

57920084: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: ฉนวนความร้อน/ เส้นใยใบเตยปะหนั้/ น้ำยางธรรมชาติ/ การนำความร้อน/
การสกัดเชิงกล/ การสกัดเชิงเคมี

อามีน่า คำหิ: การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้และน้ำยางธรรมชาติ
(THERMAL INSULATION PRODUCED FROM PANDANUS LEAF FIBERS AND
NATURAL RUBBER LATEX) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อุษาวดี ต้นติวรานุรักษ์,
วท.ด. 84 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้และน้ำยางธรรมชาติ โดยศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน ด้วยการเตรียมเส้นใยใบเตยปะหนั้ ผ่านกระบวนการปั่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติ แล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนขนาดกว้าง 20.0 เซนติเมตร ยาว 20.0 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อน พบว่าสมบัติเชิงกายภาพคือปริมาณความชื้นและการพองตัวตามความหนาลดลง เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลคือความต้านแรงดึง ความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และผลทดสอบสมบัติเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C 177 พบว่าแผ่นฉนวนความร้อนที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง $139-227 \text{ kg/m}^3$ ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนอยู่ในช่วง $0.035-0.060 \text{ W/m.K}$ สำหรับผลทดสอบการลามไฟ พบว่าแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยใบเตยปะหนั้และน้ำยางธรรมชาติแบบเติมสารหน่วงไฟมีค่าการลามไฟต่ำกว่าแบบไม่เติมสารหน่วงไฟ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์ โดยพิจารณาที่ความหนาแน่นเดียวกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการนำฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้และน้ำยางธรรมชาติ พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์

57920084: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: THERMAL INSULATION/ PANDANUS LEAF FIBER/ NATURAL RUBBER LATEX/ THERMAL CONDUCTIVITY/ MECHANICAL EXTRACTION/ CHEMICAL EXTRACTION

AMEENA TAMHI: THERMAL INSULATION PRODUCED FROM PANDANUS LEAF FIBERS AND NATURAL RUBBER LATEX. ADVISORY COMMITTEE: USAVADEE TANTIWARANURAK, Ph.D. 84 P. 2017.

This research aimed to study the production of thermal insulation boards from Pandanus leaf fiber using natural rubber latex as a binder, as well as to study their physical, mechanical and thermal properties. Pandanus leaf fiber was sprayed with natural rubber latex as a binder to form a squared thermal insulation board 20 long and wide, and 1.5 cm thick. The physical property test revealed the decrease of the Moisture content and the Swelling in water as the density increased. The mechanical property test revealed the increase of Tensile Strength, Flexural Strength and Flexural Modulus as the density increased. When measured in accordance with the American Society for Testing and Materials standard, the value of the thermal conductivity of the insulation board with a density of 139-227 kg/m³ was found to be 0.035-0.060 W/m.K. The test also revealed a lower value of flammability in the borax-filled insulation board than that in the non-borax-filled board. The thermal conductivity results, which were closed to the commercial insulator boards with the same density, indicated the development potential of Pandanus insulators from Pandanus fiber to replace the current commercial insulator with synthetic fiber.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่.....	1
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
เส้นใยธรรมชาติ.....	5
เส้นใยไบโอดีเซล.....	10
ยางธรรมชาติ.....	13
การถ่ายเทความร้อน.....	15
การนำความร้อน.....	17
ฉนวนความร้อน.....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
กระบวนการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบโอดีเซล และน้ำยางธรรมชาติ... 34	
การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของ ฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบโอดีเซล และน้ำยางธรรมชาติ.....	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย (ต่อ).....	45
การทดสอบการลามไฟและเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อน ที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ แบบเต็มและไม่เต็ม สารหน่วงไฟ.....	45
การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอ สเตอร์และน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนและวัสดุชนิดอื่น ๆ.....	46
4 ผลการวิจัย.....	47
กระบวนการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ....	47
การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของ ฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ และน้ำยางธรรมชาติ.....	51
การทดสอบการลามไฟและเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อน ที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ แบบเต็มและไม่เต็ม สารหน่วงไฟ.....	56
การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอ สเตอร์และน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนและวัสดุชนิดอื่น ๆ.....	57
5 อภิปรายและสรุปผล.....	61
อภิปรายผล.....	61
สรุปผลการวิจัย.....	66
ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	75
ภาคผนวก ข.....	79
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 รายชื่อพืชตระกูลเตย วงศ์ PANDANACEAE ในประเทศไทย.....	11
2-2 แสดงตัวอย่างองค์ประกอบของน้ำยาง.....	14
2-3 คุณสมบัติฉนวนโดยทั่วไปและมาตรฐาน ASTM.....	20
3-1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางสำหรับกระบวนการพันเคลือบประสาน.....	38
3-2 ขนาดและจำนวนชิ้นงานทดสอบที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ.....	42
4-1 มาตรฐานวิทยานิพนธ์พื้นผิวของเส้นใยใบเตยปะหนั ที่สภาวะของความเข้มข้นของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาต่าง ๆ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า.....	49
4-2 ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยใบเตยปะหนั และน้ำยางธรรมชาติ.....	52
4-3 ค่าความชื้นและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใย ใบเตยปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ.....	52
4-4 ค่าการพองตัวตามความหนาและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิต จากเส้นใยใบเตยปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ.....	53
4-5 ค่าความต้านแรงดึงและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใย ใบเตยปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ.....	53
4-6 ค่าความต้านแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นและความหนาแน่นของแผ่นฉนวน ความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยใบเตยปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ.....	54
4-7 ค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจาก เส้นใยใบเตยปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ.....	55
4-8 การเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยใบเตย ปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ.....	57
4-9 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตย ปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ กับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่นๆ...	58
4-10 เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั และน้ำยางธรรมชาติ กับแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์.....	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4-11	เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนปะหั้น และน้ำยางธรรมชาติ กับวัสดุที่เกี่ยวข้องกับฉนวนที่ผลิตได้.....	60
ก-1	ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตนปะหั้นและน้ำยาง ธรรมชาติ.....	76
ก-2	ค่าความชื้นและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตน ปะหั้นและน้ำยางธรรมชาติ.....	76
ก-3	ค่าการพองตัวตามความหนาและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิต จากเส้นใยโบริเตนปะหั้นและน้ำยางธรรมชาติ.....	77
ก-4	ค่าความต้านแรงดึงและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใย โบริเตนปะหั้นและน้ำยางธรรมชาติ.....	77
ก-5	ค่าความต้านแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อน ที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตนปะหั้นและน้ำยางธรรมชาติ.....	78
ก-6	ค่าการลามไฟและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตน ปะหั้นและน้ำยางธรรมชาติ.....	78

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
2-1 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส.....	6
2-2 เส้นใยเซลลูโลสในธรรมชาติที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช.....	9
2-3 เติบปะหนั.....	10
2-4 โครงสร้างพื้นฐานของยางธรรมชาติ (cis-1, 4-polyisoprene).....	14
2-5 การไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน.....	17
2-6 อุณหภูมิรอบนอกของตัวกลาง.....	18
2-7 สภาพการนำความร้อนของวัสดุหลายประเภท.....	19
3-1 การเตรียมเส้นใยไบเตบปะหนัด้วยการสกัดเชิงกลและการสกัดเชิงเคมี.....	36
3-2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1450 VP.....	37
3-3 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติสำหรับกระบวนการขึ้นรูป.....	38
3-4 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนโดยใช้วิธีพันเคลือบประสาน.....	40
3-5 ชิ้นงานทดสอบ.....	41
3-6 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ.....	44
3-7 การทดสอบค่าการพองตัวตามความหนา.....	44
3-8 อุปกรณ์ชุดทดสอบการลามไฟ.....	46
4-1 ลักษณะไบเตบปะหนั (ก) ไบเตบปะหนัที่เอาหนามออกแล้ว (ข) เส้นใยไบเตบปะหนัที่ถูกย่อยด้วยเครื่องย่อย.....	47
4-2 เส้นใยไบเตบปะหนั (ก) สกัดเชิงกลด้วยการร้อน (ข) สกัดเชิงเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส.....	48
4-3 แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยไบเตบปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ.....	51
4-4 สันฐานวิทยาโครงสร้างภายในแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยไบเตบปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ (ก) สกัดเชิงกล (ข) สกัดเชิงเคมี.....	56
4-5 การเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยไบเตบปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ แบบเต็มและไม่เต็มสารหน่วงไฟ.....	57

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงต้นปี พ.ศ. 2559 องค์การบริหารด้านบรรยากาศและสมุทรศาสตร์แห่งชาติ หรือ NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) สหรัฐอเมริกา ได้รายงานสภาพอากาศเกี่ยวกับอุณหภูมิของโลกในปี พ.ศ. 2558 ว่าเป็นปีที่ร้อนที่สุดปีหนึ่งเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของศตวรรษที่ 20 มีสถิติใหม่ ๆ ของอุณหภูมิเกิดขึ้นมากมายในปี พ.ศ. 2558 ซึ่งอุณหภูมิต่าง ๆ ดังกล่าวนั้นได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์เอลนีโญกำลังแรงที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2558 (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยวิทยา, 2559)

ด้วยสภาวะอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และสภาวะวิกฤติทางด้านพลังงาน ซึ่งเป็นผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ทำให้เกิดการคิดค้นวิธีการต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหา โดยทำการลดอุณหภูมิภายในอาคารต่าง ๆ บ้านพักอาศัยและโรงงาน ทั้งนี้การติดตั้งระบบฉนวนอาคารประกอบด้วยฉนวนที่ใช้งานกับผนัง เพดาน หลังคา เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยป้องกันอาคารร้อนจากบรรยากาศโดยรอบเข้าสู่ตัวอาคาร และระบบฉนวนอุปกรณ์เชิงกล เป็นระบบฉนวนทางอุตสาหกรรม เช่น งานหุ้มท่อระบบทำความร้อน การระบายอากาศ การปรับอากาศ ช่วยรักษาและควบคุมอุณหภูมิ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานและป้องกันอันตรายจากความร้อนของเครื่องจักรได้ ทั้งนี้ ฉนวนเส้นใยสังเคราะห์ เป็นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ เป็นฉนวนความร้อนที่แพร่หลายในปัจจุบัน เช่น ฉนวนใยแก้ว และ โฟม เป็นต้น แต่ในกระบวนการผลิตและหลังการใช้งาน จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประสบปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อสุขภาพของคนงานที่ผลิต และมีผลต่อผู้บริโภค ในขณะที่ติดตั้งและนำมาใช้งาน คือฉนวนใยแก้วเป็นฉนวนที่ใช้เส้นใยแก้วเล็ก ๆ เป็นวัสดุ ทำให้เกิดการกรอและแตกหักของเส้นใย เกิดการหลุดร่วง เป็นฝุ่นใยแก้ว มีผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย มีอาการระคายเคืองเมื่อสัมผัสกับผิวหนัง และอาจเกิดผลต่อระบบหายใจ มีอาการคันหรือ อักเสบที่จมูกและลำคอ ไอหรือจาม ในกรณีที่สุดอากาศที่มีใยแก้ว เข้าไปเป็นจำนวนมาก ส่วนโฟมมีการใช้สาร ซีเอฟซี (CFCs) เป็นสารเป่าโฟมพลาสติก จะติดไฟง่าย เกิดขยะมูลฝอยหลังการใช้งาน ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายเองได้ในธรรมชาติ หรือต้องอาศัยเวลานาน และการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ และการเผาทำให้เกิดควันที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ เนื่องจากความต้องการใช้ฉนวนความร้อนภายในประเทศเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการผลิตที่มากขึ้น ซึ่งฉนวนบาง

ประเภท เป็นวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เกิดปัญหาในด้านดุลการค้า จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น การตระหนักถึงความสำคัญในการใช้พลังงานอย่างประหยัดและคุ้มค่า การพัฒนาจนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยจากพืชที่หาได้จากธรรมชาติ ด้วยความรู้ ความสามารถ และทรัพยากรที่หาได้ภายในประเทศ และเทคโนโลยีของคนไทย ย่อมส่งผลดีในการลดปัญหาดุลการค้า ปัญหาด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่เคยมีปรากฏรายงานที่เกี่ยวกับการนำเส้นใยจากใบเตยปะหนั้น และยางธรรมชาติมาเป็นจนวนความร้อน ซึ่งเส้นใยจากใบเตยปะหนั้น เป็นวัสดุใยเซลลูโลสที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ย่อยสลายด้วยตัวเองและไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ดังนั้น ด้วยสมบัติที่ดีของเส้นใยจากใบเตยปะหนั้น และยางธรรมชาติ จึงทำให้มีความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค ซึ่งจำเป็นต้องมีการวิจัย เพื่อพัฒนาการนำเส้นใยจากใบเตยปะหนั้น และยางธรรมชาติมาผลิตเป็นใยจนวนความร้อน ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ มีความพรุน และน้ำหนักเบา ตรงตามคุณสมบัติของจนวนความร้อนที่ดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตแผ่นจนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติ
2. ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นจนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้น และน้ำยางธรรมชาติ
3. เปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นจนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยใบเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ใช้ทรัพยากรพืชที่หาได้ในท้องถิ่นเป็นวัสดุเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเพิ่มมูลค่า น้ำยางให้กับเกษตรกรในพื้นที่
2. สามารถนำแผ่นจนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้น นำไปใช้เป็นจนวนกันความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงานภายในอาคาร แทนการใช้แผ่นจนวนความร้อนจากเส้นใยสังเคราะห์ ส่งผลดีต่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

ขอบเขตของการวิจัย

1. วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบบเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติ เพื่อศึกษากระบวนการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้เส้นใยไบบเตยปะหนั้นเป็นวัตถุดิบ และใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสาน แผ่นฉนวนมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร

2. ศึกษาวิเคราะห์การเตรียมเส้นใยไบบเตยปะหนั้น ด้วยการสกัดเชิงกลและเชิงเคมี พิจารณาการขึ้นรูปได้ของแผ่นฉนวนความร้อน แล้วนำแผ่นฉนวนที่ผลิตได้ ทดสอบค่าการนำความร้อน ตามมาตรฐานที่กำหนด นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนความร้อน

2.1 การสกัดเส้นใยจากไบบเตยปะหนั้น

2.1.1 การสกัดเชิงกล ใช้วิธีการร่อนในตะกร้า

2.1.2 การสกัดเชิงเคมี วิเคราะห์ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 5, 10, 15 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการปั่นกวนเส้นใยไบบเตยปะหนั้น 100 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเส้นใยไบบเตยปะหนั้น 10, 20, 30 นาที

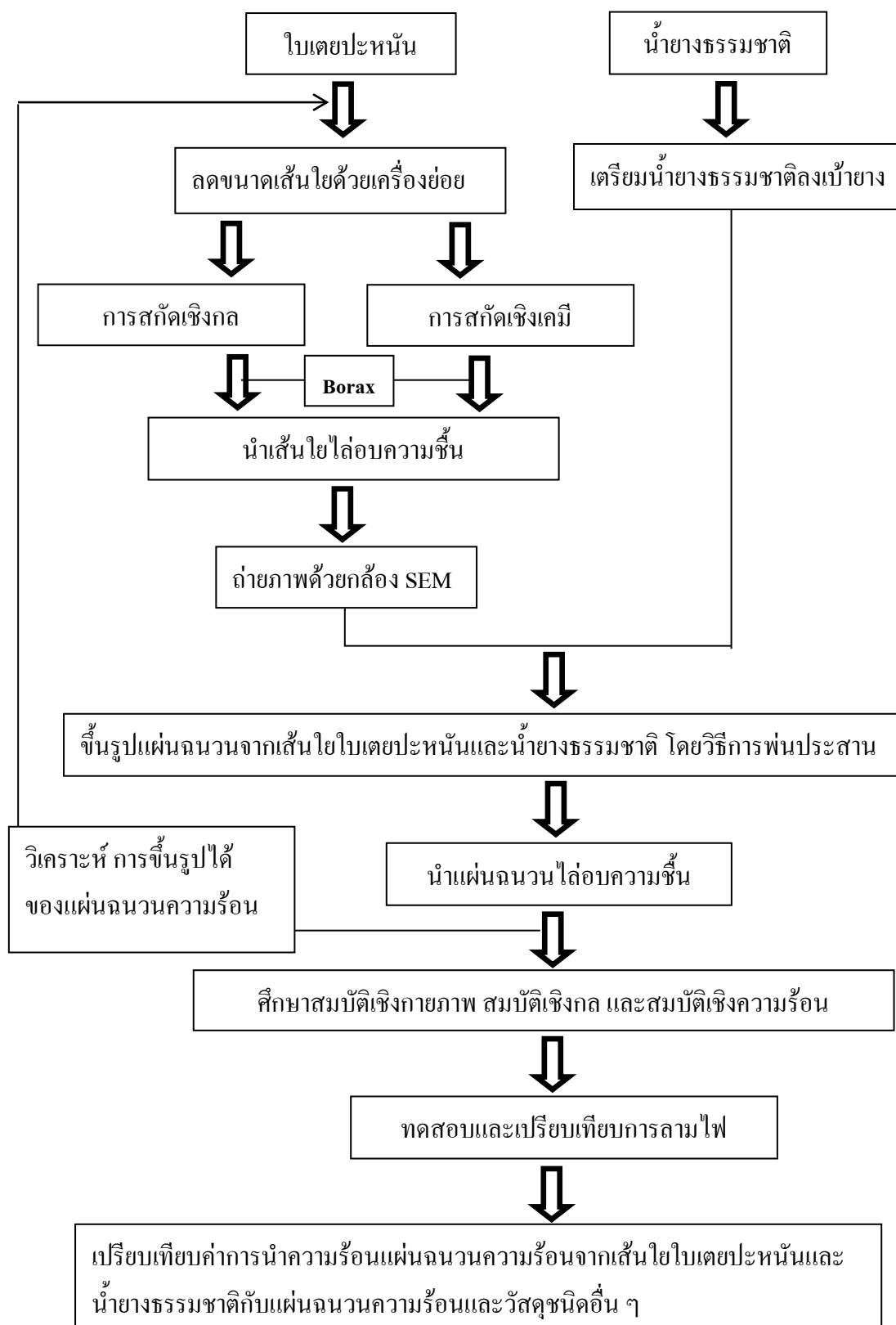
2.2 สัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของเส้นใยไบบเตยปะหนั้น

2.3 การปรับปรุงเส้นใยไบบเตยปะหนั้น ด้วยการเติมสารหน่วงไฟเพื่อลดอัตราการลามไฟ โดยใช้บอแรกซ์ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการกวนแช่ 30 นาที

3. ศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยกระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อน โดยใช้วิธีพ่นเคลือบประสาน อัตราส่วนน้ำหนักของเส้นใยไบบเตยปะหนั้น ต่อน้ำยางธรรมชาติ ที่อัตราส่วน 1:2 1:3 และ 1:4 โดยคำนึงถึงความสามารถในการเกาะเกี่ยวกันของแผ่นฉนวน และน้ำหนักของฉนวนที่ผลิตได้

4. ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และค่าการพองตัวตามความหนา สมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง และค่าความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น และสมบัติเชิงความร้อน ได้แก่ ค่าการนำความร้อน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2

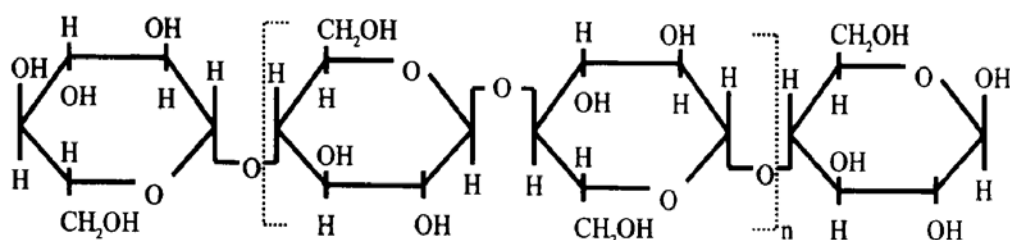
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เส้นใยธรรมชาติ
2. เส้นใยไบโอบีโตน
3. ยางธรรมชาติ
4. การถ่ายเทความร้อน
5. การนำความร้อน
6. ฉนวนความร้อน
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 6.2% และออกซิเจน 49.4% มีโครงสร้างประกอบด้วยขั้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่า Anhydro-d-glucose ($C_6H_{10}O_5$) ต่อกันเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาว ดังแสดงในภาพที่ 2-1 แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน (เป็น primary group 1 หมู่ และ secondary group 2 หมู่) ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นลูกโซ่ทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนกับที่เกิดกับน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี อีกทั้งเป็นจุดก่อให้เกิดปฏิกิริยากับกรดแอซิดิกได้เป็นเซลลูโลสแอซิดหรือเส้นใยประดิษฐ์ชนิดแอซิดเทคนั่นเอง (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543)



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543)

เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติมีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเติมแต่ง โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติม และสารเสริมแรง เพื่อเป็นการลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และสารประกอบอื่น ๆ (ซูปราณี แก้วภิรมย์ และศิริเดช บุญแสง, 2557) ดังนี้

เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ ประกอบด้วยสายโซ่ตรงของหน่วยซ้ำของแอนไฮโดรกลูโคส 1,4- β anhydroglucose ($C_6H_{10}O_5$) ซึ่งถูกเชื่อมต่อกันด้วย 1,4- β -D-glycosidic linkages ที่ตำแหน่ง C_1 และ C_4 ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่มาจากแอลกอฮอล์ (Alcoholic hydroxyl groups) ดังภาพที่ 2-1 หมู่ไฮดรอกซิลเหล่านี้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล และระหว่างโมเลกุล (Intermolecular and intramolecular hydrogen bonds) ของเซลลูโลสเองหรือกับโมเลกุลมีขั้วอื่น ๆ ได้ ดังนั้นเส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจึงจัดเป็นโมเลกุลชอบน้ำ นอกจากนี้หมู่ไฮดรอกซิลที่สร้างพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลยังมีประโยชน์ต่อการเกิดผลึกภายในเซลลูโลส และมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยด้วย ลักษณะของผลึกเซลลูโลสที่เกิดตามธรรมชาติเป็นรูปแท่ง (Slender rod like crystalline microfibrils) หรือรูปเข็ม (Monoclinic sphenodic) เซลลูโลส I (Cellulose I) เซลลูโลสมีความทนทานต่อตัวออกซิไดซ์ได้ดี และทนต่อค้างสูงได้ถึงความเข้มข้นของด่างร้อยละ 17.5 โดยน้ำหนัก แต่ถูกไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed) ด้วยกรดกลายเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำ (Water-soluble sugar) ได้ง่าย

เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสไม่ใช่เซลลูโลส มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยกลุ่มของพอลิแซคคาไรด์ที่มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลวงห้าเหลี่ยมและหกเหลี่ยม เฮมิเซลลูโลสแตกต่างเซลลูโลสสามประการ ดังนี้ ประการแรก เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลต่างชนิดกันในขณะที่เซลลูโลสมีเฉพาะหน่วยของ 1,4- β -D-glucopyranose ประการที่สอง เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างที่เป็นกิ่งในสัดส่วนที่มากพอสมควร จึงมีโครงสร้างออสถฐานในปริมาณที่มากกว่า ในขณะที่เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรง ประการที่สาม องค์การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเซลลูโลสสูงกว่าเฮมิเซลลูโลสประมาณ 10-100 เท่า โดยองค์การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเฮมิเซลลูโลสอยู่ระหว่าง 50-300 เฮมิเซลลูโลสจึงทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ให้กับเส้นใยขนาดไมครอนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสมีความชอบน้ำสูง ละลายได้ในด่าง และถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายด้วยกรด

ลิกนิน

ลิกนินจัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่เป็นสารพวง โครงสร้างในพืช ลิกนินเป็นสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทนต่อการเสื่อมสลายโดยแบคทีเรีย โครงสร้างของลิกนินซึ่งจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนทั้งแบบเส้นตรง และวงอะโรมาติก ลิกนินไม่ค่อยละลายในตัวทำละลายและไม่สามารถแตกโครงสร้างเป็นหน่วยของมอนอเมอร์ได้ ลิกนิน โครงสร้างเป็นออสถฐานและไม่ชอบน้ำ สารประกอบของลิกนินทำหน้าที่สร้างความแข็งแรงให้กับพืชโครงสร้างที่ซับซ้อน เป็นโคพอลิเมอร์ลักษณะสามมิติของส่วนประกอบที่เป็นเส้นตรง และวงอะโรมาติกมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล เมทอกซิล (Methoxy) และคาร์บอนิล (Carbonyl) โดยมีหมู่ไฮดรอกซิลและเมทอกซิลอย่างละห้าหมู่ในหนึ่งหน่วยโครงสร้าง ซึ่งเชื่อว่าเป็นอนุพันธ์ (Derivatives) 4-hydroxy-3-methoxy phenylpropane ลิกนินจัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วประมาณ 90 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 170 องศาเซลเซียส ลิกนินไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด แต่ละลายในด่างร้อน ถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็วด้วยฟีนอล

การจัดกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติ หมายถึง เส้นใยที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ตามแหล่งกำเนิดเส้นใย (อภิชาติ สนธิสมบัติ, 2545) คือ

1. เส้นใยที่ได้จากพืช (vegetable fibres) ซึ่งรวมถึงเส้นใยฝ้าย (cotton) รวมถึงเส้นใยแฟลกซ์ (flax) เส้นใยป่าน ปอ และพืชชนิดอื่น ๆ เช่น สับปะรด ผักตบชวา กัญชง เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของเซลลูโลส

2. เส้นใยที่ได้จากสัตว์ (animal fibres) เป็นเส้นใยที่ได้มาจากสัตว์ เช่น แพะ แกะ หรือไหม เป็นต้น ซึ่งเส้นใยเหล่านี้ จะมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนต่าง ๆ ประกอบเป็นโปรตีน (protein)

3. เส้นใยที่ได้มาจากแร่ (mineral fibres) ซึ่งไม่ค่อยจะนิยมใช้ในสิ่งทอปกติ แต่จะนิยมใช้กับงานด้านทนไฟ และความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยหิน (asbestos)

การจัดกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติจากพืช

กลุ่มพืชที่ให้เส้นใยพืช มีมากมายหลายชนิด โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2538) ดังนี้

1. กลุ่มพืชตระกูลปาล์ม เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวไม่มีขึ้นต้นมีกระจายพันธุ์อยู่ในเขตร้อนชื้นร้อนทั่วโลกไม่น้อยกว่า 1000 ชนิด นับเป็นพืชที่มีประโยชน์และคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารและวัสดุก่อสร้าง ตลอดจนผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ต่าง ๆ รวมทั้งเป็นยารักษาโรค ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์มาในประเทศได้ เช่น มะพร้าว ลาน ตาล ชิด จาก หมาก กะพ้อ หลาวชะโอน สาคุ ฯลฯ รวมทั้งไม้ปาล์มจำพวกไม้เถาเลื้อยที่เรียกว่า “หวาย”

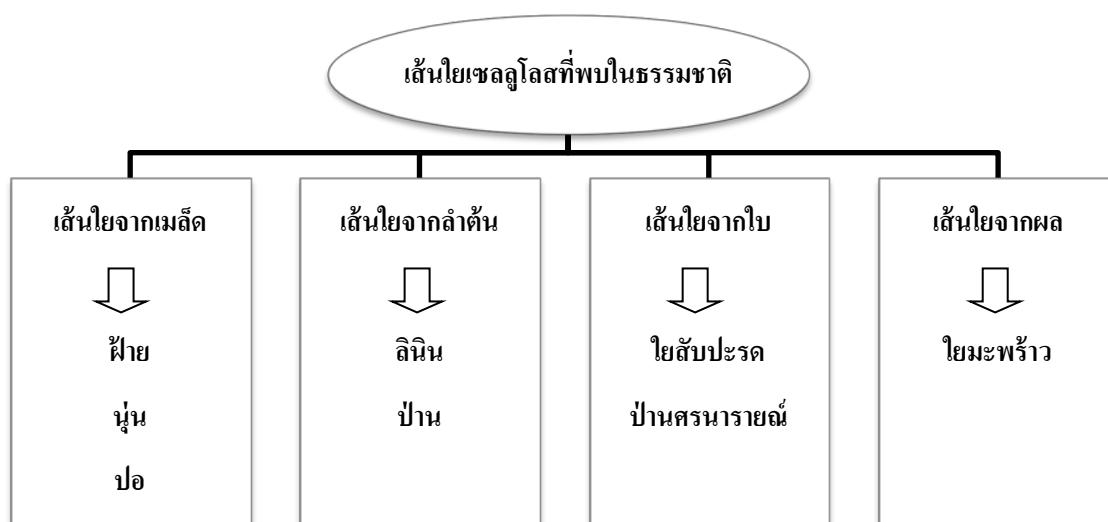
2. กลุ่มพืชประเภท กก หญ้า และวัชพืชน้ำ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ชอบขึ้นในที่ชุ่มชื้นและริมน้ำลำคลอง เช่น กกกลม กกสามเหลี่ยม กระจูด หญ้าตีนกา หญ้าคา ผักตบชวา คล้า คลุ้ม ฯลฯ ตลอดจนพืชประเภท เตย ลำเจียก และต้นกล้วย

3. กลุ่มพืชประเภทป่านปอ เป็นพืชที่ให้เส้นใยของส่วนเปลือก ลำต้น มีความเหนียวทนทานมาก เช่น ปอสา ปอแก้ว ปอกระเจา ปอสาม โอง และป่านสรนารายณ์ ฯลฯ

4. กลุ่มพืชประเภทพันธุ์ไม้เถา เป็นพืชไม้เลื้อยนิยมใช้ลำต้น มาทำผลิตภัณฑ์เครื่องจักสาน เช่น เถาวัลย์ชนิดต่าง ๆ ย่านลิเภา เถาองุ่น ฯลฯ

5. กลุ่มพืชเศรษฐกิจ พลพลอยได้ของพืชเศรษฐกิจ เช่น เปลือกข้าวโพด ข้าวฟ่าง ฟางข้าว ก้านดอกอ้อย ฯลฯ เป็นผลผลิตส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อะไรแต่สามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใช้สอยและของที่ระลึกได้อย่างดี

ในธรรมชาติ จะพบเส้นใยเซลลูโลสจากส่วนต่าง ๆ ของพืชแตกต่างกันได้หลากหลาย บางประเภทเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด บางประเภทเป็นเส้นใยจากลำต้น เส้นใย จากใบหรือแม้กระทั่งจากเส้นใยจากผลตามที่แสดงในภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 เส้นใยเซลลูโลสในธรรมชาติที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช (วิระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543)

การนำเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้มาประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมแรงในคอมโพสิตมีมานานหลายสิบปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากคอมโพสิตที่ได้มีราคาถูกลง นำมาใช้ใหม่ได้ และมีความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบา เส้นใยจากพืชเป็นเส้นใยที่ได้รับความนิยมมากที่สุด สายเซลลูโลสเหล่านั้นจะเรียงตัวตามแนวยาวของเส้นใยซึ่งเป็นผลให้เส้นใยมีความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงดัด และความแข็ง (rigidity) สูง อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการเสริมแรงของเส้นใยธรรมชาติก็ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของเซลลูโลสและความเป็นผลึกของเส้นใย

ใยเซลลูโลส (cellulose fiber) ใยจากไม้เนื้อแข็งที่ผ่านวิธีการทางเคมีที่ทำให้พื้นผิวสามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับยางได้ เป็นสารตัวเติมประเภทเส้นใยสำหรับน้ำยาง สามารถทำให้อย่างที่คงรูปแล้วมีสมบัติโมดูลัสสูงมากเมื่อใช้ในปริมาณ 60 phr ซึ่ง composite นี้ เป็นหนึ่งทางเลือกของ rubber-textile laminate เส้นใยในลักษณะเช่นนี้ ปกติจะเชื่อมโยงกับส่วนของยางขณะการทำให้อย่างคงรูป (วารภรณ์ ขจรไชยกูล, 2554)

เส้นใยใบเตยปะหนััน

เตยปะหนััน ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pandanus odoratissimus Linn.f.* ชื่อพื้นเมือง ลำเจียก การะเกด ปะเนาะ ตามถิ่นที่อยู่ ชื่อภาษาถิ่นมลายู นราธิวาส เรียกว่า กูแวน อยู่ในวงศ์ PANDANACEAE พบขึ้นเป็นกอตามชายน้ำหรือที่ชื้นแฉะ เป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้นขนาดกลาง ลำต้น

กลมและตั้งตรง สูงประมาณ 4-6 เมตร แตกกิ่งก้าน บางครั้งมีหนามและโคนต้นมีรากค้ำยัน ใบเดี่ยว เป็นแถบยาวค่อนข้างแข็ง สีเขียว และเหนียว ยาว 1-1.5 เซนติเมตร กว้าง 8-12 เซนติเมตร ขอบใบ จักเป็นหนาม ใบเรียงสลับ เวียนเป็นเกลียวถี่ ดอกแยกเพศออกเป็นช่อที่ปลายกิ่ง ตรงยอด ดอกบาน ตอนเย็นมีกลิ่นหอมแรง ดอกมีกาบสีนวลเหมือนสิ่งข้างคลุมช่อดอก ดอกเพศผู้เป็นช่อยาวปลายลู่ ลงสู่พื้น มีริ้วประดับสีขาวหรือสีขาวครีม มีกลิ่นหอม เกสรตัวผู้มีเป็นจำนวนมากเป็นปุยดิรอบ แขนกลาง ซึ่งมีลักษณะต่อกันเป็นช่อยาว ทั้งช่อยาว 20-30 เซนติเมตร ส่วนช่อดอกเพศเมียเกิดที่ ปลายกิ่งเช่นกัน มีรูปทรงรี หรือเหมือนหัวกลม ๆ อาจเกิดเดี่ยว ๆ หรือเป็นช่อ เกสรเพศเมียเป็นเส้น และมีหนาม ผลอยู่ชิดติดกันแน่นบนฐานรองดอกเดี่ยวเดียวกัน ผลอ่อนสีเขียว ผลแก่สีแดง ขยาย พันธุ์โดยการแยกหน่อ ใบของพืชพวกเตย นำมาใช้ทำเครื่องจักสานได้สวยงามและทนทาน ที่มี ชื่อเสียง คือ เสื่อใบเตย (สุรพล จันทรเรือง, 2551)



ภาพที่ 2-3 เตยปะหนัน

พืชตระกูลเตยที่พบในประเทศไทย

เต็ม สมิตินันท์ ได้สรุปเตยในประเทศไทย วงศ์ *PANDANACEAE* มี 26 ชนิด แบ่งได้ เป็น 2 สกุล คือ สกุล *Freycinetia* มี 3 ชนิด และ สกุล *Pandanus* มี 23 ชนิด กระจายอยู่ตามภูมิภาค ต่าง ๆ ซึ่งมีการรวบรวมข้อมูลรายชื่อ แหล่งกระจายพันธุ์ มีรายละเอียดตารางข้อมูล ดังตารางที่ 2-1 ซึ่งถูกเรียบเรียงโดย สำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (2557)

ตารางที่ 2-1 รายชื่อพืชตระกูลเตย วงศ์ *PANDANACEAE* ในประเทศไทย (สำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2557)

ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อพื้นเมือง	แหล่งที่พบ
<i>Freycinetia angustifolia</i> Blume [C]	เตยย่านน้อย	นราธิวาส
	สะลีซิงกาเย	มลายู นราธิวาส
<i>Freycinetia javanica</i> Blume [C]	เตยชะงค	นราธิวาส
<i>Freycinetia sumatrana</i> Hemsl. [C]	เตยย่านน้อย	ภาคใต้
<i>Pandanus acaulescens</i> H.St.John [S]	เตยห้วย	เชียงใหม่
<i>Pandanus amaryllifolius</i> Roxb. [ExS]	เตยหอม	กทม. เลย
	ป่าแนวอูจิง	มลายู นราธิวาส
<i>Pandanus baptisti</i> Hort ex Wien [ExT]	ลำจวน	กลาง
<i>Pandanus bifidus</i> H.St.John [S]	เตยน้อย	นครราชสีมา
<i>Pandanus calcis</i> H.St.John [ST]	จันทน์แดง	ชุมพร ตรัง
	ลึงคาย	ระนอง สตูล
<i>Pandanus capusii</i> Martelli [S]	เตยน้ำ	ชุมพร อุบลราชธานี
<i>Pandanus dubius</i> Spreng. var. <i>dubius</i> [ExS]	เตยแก้ว	กทม. กลาง
<i>Pandanus fibrosus</i> Gagnep. ex Martelli [S]	เตย	กลาง เหนือ
	เตยน้ำ	ชุมพร อุบลราชธานี
	เตยหิน	แพร่
	แก้งหลวง	เงี้ยว-แม่ฮ่องสอน
<i>Pandanus furcatus</i> Roxb. [S/ST]	เกียงป่า	เหนือ
	เกียงหลวง	เชียงใหม่ เหนือ
	ชนัง	ละว้า แม่ฮ่องสอน
	ซังลี	กะเหรี่ยง แม่ฮ่องสอน
	เตย	กลาง เหนือ
	มะชะนัคป่า	ละว้า แม่ฮ่องสอน
	เกียงหลวง	เชียงใหม่ เหนือ
<i>Pandanus helicopus</i> Kurz [ST]	กุแวงไ	มลายู นราธิวาส
	เตยน้ำ	ชุมพร อุบลราชธานี

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อพื้นเมือง	แหล่งที่พบ
<i>Pandanus humilis</i> Lour. [S]	กะเป็ยะหนู	นราธิวาส
	กูเวตี๊	มลายู นราธิวาส
	เตย	กลาง เหนือ
	เตยหนู	ตรัง นราธิวาส
	เตยหอม	กทม. เลย
	มงกวงตี๊	มลายู นราธิวาส
	สายะตี๊	มลายู นราธิวาส
	อิซิง	ปัตตานี
<i>Pandanus kaidus</i> Kurz [S/ST]	เตย	กลาง เหนือ
	เตยसानเลื่อ	กทม.
<i>Pandanus militaris</i> Parkinson [S]	เตยพรุ	นราธิวาส
	สะลีซิง	มลายู นราธิวาส
<i>Pandanus monotheucus</i> Martelli [S]	เตยเขา	นราธิวาส
<i>Pandanus odoratissimus</i> L.f. [ST]	เตยทะเล	กลาง
	ปะหนัน	มลายู นราธิวาส
	ปาแนะ	มลายู นราธิวาส
	ลำเจียก	กลาง
<i>Pandanus pygmeus</i> Thouars [ExS]	การะเกดหนู	กลาง
<i>Pandanus reticulosus</i> H.St.John [S]	เตย	กลาง เหนือ
	เตยใหญ่	เลย สุราษฎร์ธานี
<i>Pandanus stellatus</i> R.Br. [ExS]	การะเกดเขียว	กลาง
<i>Pandanus tectorius</i> Blume [S/ST]	การะเกด	กทม.
	การะเกดต่าง	กทม.
	เตยดง	ใต้
	เตยต่าง	กลาง
	ลำเจียกหนู	กทม.

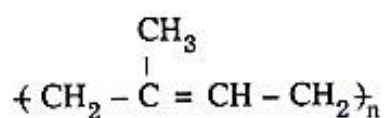
ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อพื้นเมือง	แหล่งที่พบ
<i>Pandanus unicornatus</i> H.St.John [S]	ชองลิ	สุราษฎร์ธานี
	เตยเหาะ	ปัตตานี
	เตยใหญ่	เลย สุราษฎร์ธานี
	มะกูเวจาโป๊ะ	มลายู นราธิวาส
	มะกูเวจูเก๊ะ	มลายู นราธิวาส
<i>Pandanus veitchii</i> Mast. & Moore [ExS]	เตยแก้ว	กทม. กลาง

ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบมีสูตรเคมีคือ เป็น cis-1, 4-polyisoprene ดังภาพที่ 2-4 มีน้ำหนักโมเลกุล 200,000-500,000 ประกอบด้วยส่วนอื่นที่ไม่ใช่ยางด้วยเล็กน้อย ซึ่งส่วนอื่นที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน น้ำตาล กรดไขมัน ซึ่งสารเหล่านี้มีความสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ และเป็นสารกระตุ้นให้ยางคงรูป สำหรับธาตุบางชนิดที่อยู่ในยางธรรมชาติ ได้แก่ โพแทสเซียม แมงกานีส ฟอสฟอรัส ทองแดง และเหล็ก มีความสำคัญในการเป็นตัวเร่งการเสื่อมสภาพของยาง

การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติในรูปยางแห้ง สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ มากมาย จนไม่สามารถที่จะสรุปให้ครอบคลุมทั้งหมดได้ อย่างไรก็ตามสมบัติเอกลักษณ์และลักษณะเด่นของยางธรรมชาติ ได้แก่ ความแข็งแรงของยางที่ไม่ได้เติมตัวสารตัวเติมเพื่อเสริมความแข็งแรง (reinforcing fillers) หรือ มีความแข็งแรงของเนื้อยางล้วน ๆ (pure gum strength) สูง ระบายความร้อนได้ดี เหนียวติดกันเองได้ดี (good tack) เหล่านี้จึงทำให้นิยมใช้ยางธรรมชาติในการผลิตยางล้อชนิดต่าง ๆ ยางรองกันการสั่นสะเทือน ซีลกันรั่ว ฉนวนไฟฟ้า ยางรองสะพาน ยางรองอาคาร พื้นรองเท้า ท่อยาง ท่อเสริมแรง สายพานลำเลียง ยางบุผนังและผลิตภัณฑ์อัดเป่าพิมพ์เพื่อใช้ในงานต่าง ๆ ในส่วนยางธรรมชาติที่เป็นน้ำยางข้น หรือสารละลายของยางแห้ง ใช้ทำกาว ฟองน้ำ รองพรม เบาะนั่ง ที่นอน หมอน ถุงมือ ถุงยางอนามัย บอลลูก ลูกโป่ง อุปกรณ์การแพทย์ต่าง ๆ เช่น สายสวนปัสสาวะ เป็นต้น (วารสารณ์ จจร ไซยกุล, 2554)



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างพื้นฐานของยางธรรมชาติ (cis-1, 4-polyisoprene) (วารสารณ์ ขจร ไชยกุล, 2554)

น้ำยางสด

น้ำยางสดที่กรีตจากต้นยางพาราเป็นของเหลวมีสีออกขาว ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 M/gm³ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.0-7.0 ความหนืดแปรปรวน การเจือจางน้ำยางสดด้วยน้ำจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นในช่วงแรก จนถึงจุดสูงสุดแล้วจะลดลง ทั้งนี้ เพราะลูทอยด์ (lutoids) เกิดการบวมพองแล้วแตกออก เนื่องจากน้ำยางเป็นผลผลิตจากธรรมชาติ องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำยางสดจึงมีความแปรปรวนอย่างกว้างขวาง

สารต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำยางสดกระจายอยู่ในส่วนหรือเฟส ต่าง ๆ 3 ส่วนหลัก คือ

1. อนุภาคยาง (rubber particles) ประมาณ 35 % (m/m) ของน้ำยาง
2. ส่วนที่เป็นน้ำ (aqueous phase) ประมาณ 55 % (m/m) ของน้ำยาง
3. ส่วนของลูทอยด์ (lutoids) ประมาณ 10 % (m/m) ของน้ำยาง

สารอื่น ๆ นอกจากยางซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอน เป็นสารที่ไม่ใช่ยาง สารเหล่านี้ส่วนใหญ่ ละลายในส่วนที่เป็นน้ำหรือที่เรียกว่า “เซรัม” ของน้ำยาง บางส่วนดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคยางและบางส่วนแขวนลอยอยู่ในน้ำยาง

ตารางที่ 2-2 ตัวอย่างองค์ประกอบของน้ำยาง (วารสารณ์ ขจร ไชยกุล, 2555)

องค์ประกอบ	ส่วน (% m/m) ของน้ำยาง
ส่วนที่เป็นของแข็ง (total solids)	36
เนื้อยางแห้ง (dry rubber)	33
สารโปรตีน (proteinaceous substances)	1-1.5
สารเรซิน (resinous substances)	1-2.5
เถ้า (ash)	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำปริมาณที่รวมกับยางและสารอื่นแล้วเท่ากับ	100

น้ำยางข้น

น้ำยางสดจากต้นยางมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 20 ถึง 45% หรือ โดยเฉลี่ย 35% (m/m) ในขณะที่การผสมสารเคมีเพื่อทำการปรับเปลี่ยนสมบัติของน้ำยาง เพื่อใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้งไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 จึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนให้น้ำยางมีความเข้มข้นที่เพียงพอ และยังเป็น การลดการเปลี่ยนแปลงในการขนถ่ายน้ำยางสดไปสู่โรงงานที่อยู่ไกล ๆ วิธีการที่สำคัญสำหรับการผลิตยางข้นมีด้วยกันทั้งสิ้น 4 วิธี คือ วิธีการระเหยน้ำ (evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีการปั่น (centrifuging) และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electro decantation) ซึ่งวิธีการที่สำคัญและใช้กันอย่างแพร่หลายในกว่า 90% ในการผลิตน้ำยางข้นคือวิธีการปั่น ซึ่งมีหลักการและกระบวนการผลิต คือ นำน้ำยางสดจากสวนที่ถูกรักษาสภาพด้วยแอม โมเนีย (ชาวสวนเรียก “ยากันกรอก”) หรือแอม โมเนียผสมสารช่วยรักษาสภาพ เกณฑ์ปริมาณของสารรักษาสภาพที่ใช้จะถูกปรับให้เหมาะสมตามลักษณะการขนส่ง และเก็บรักษา ก่อนนำเข้าสู่สายการผลิต น้ำยางสดจากสวนที่ถูกเติมสารรักษาสภาพแล้วจะถูกลำเลียงเข้าสู่โรงงาน โดยตรง เข้าสู่เครื่องปั่น เครื่องปั่นจะแยกน้ำยางสดเป็นส่วนของน้ำยางข้น (มีเนื้อยางแห้ง หรือ dry rubber content; DRC ไม่น้อยกว่า 60%) ส่วนของหางน้ำยางหรือ skim latex (มีเนื้อยางแห้งประมาณ 3-6%) รวมทั้งแยกสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางออกจากน้ำยาง ทำให้น้ำยางข้น มีสิ่งอื่น ๆ เจือปนลดน้อย (วารสารณ์ จจร ไซยกุล, 2555)

การถ่ายเทความร้อน

การเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อน และการศึกษาถึงกระบวนการที่การเคลื่อนที่ของพลังงานสามารถเกิดขึ้น เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ตามที่ ตระการ ก้าวกลสิกรรม (2537) ได้อธิบายไว้ว่า โดยธรรมชาติจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับน้ำที่ไหลจากที่สูงไปยังที่ต่ำ การถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 3 วิธีหลัก ๆ คือ การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation) การนำความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุที่สัมผัสกัน ส่วนการพาความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทพลังงานโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของมวลสารของของไหล หรือก๊าซที่มีพลังงานบรรจุอยู่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง สำหรับการแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยสเปคตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งออกมาจากพื้นผิวของวัตถุที่ถูกกระตุ้นทางความร้อน รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ จะกระจายออกทุกทิศทุกทาง และเมื่อรังสีนี้ไปกระทบอีกวัตถุหนึ่ง บางส่วนสะท้อนกลับ

บางส่วนอาจส่งผ่านทะลุไป และบางส่วนอาจถูกดูดกลืนไว้ ถ้ารังสีที่กระทบ คือ รังสีความร้อน รังสีที่ถูกดูดกลืนไว้จะปรากฏเป็นความร้อนภายในวัตถุที่ดูดกลืนรังสีนั้นไว้

จะเห็นว่าการนำความร้อนและการพาความร้อนต้องมีตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ขณะที่การแผ่รังสีความร้อนไม่จำเป็นต้องมี และในความเป็นจริงหากมีสิ่งใดมาคั่นกลางระหว่างวัตถุสองชิ้นนั้นก็จะเป็นอุปสรรคต่อการแผ่รังสีของวัตถุทั้งสองนั้น อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงการถ่ายเทความร้อนมักไม่ปรากฏว่าเป็นวิธีใดวิธีหนึ่งโดยเฉพาะ แต่จะเป็นรูปแบบผสมของทั้งสามวิธีรวมกัน เพียงแต่รูปแบบไหนจะสำคัญมากกว่าเป็นกรณี ๆ ไปเท่านั้น

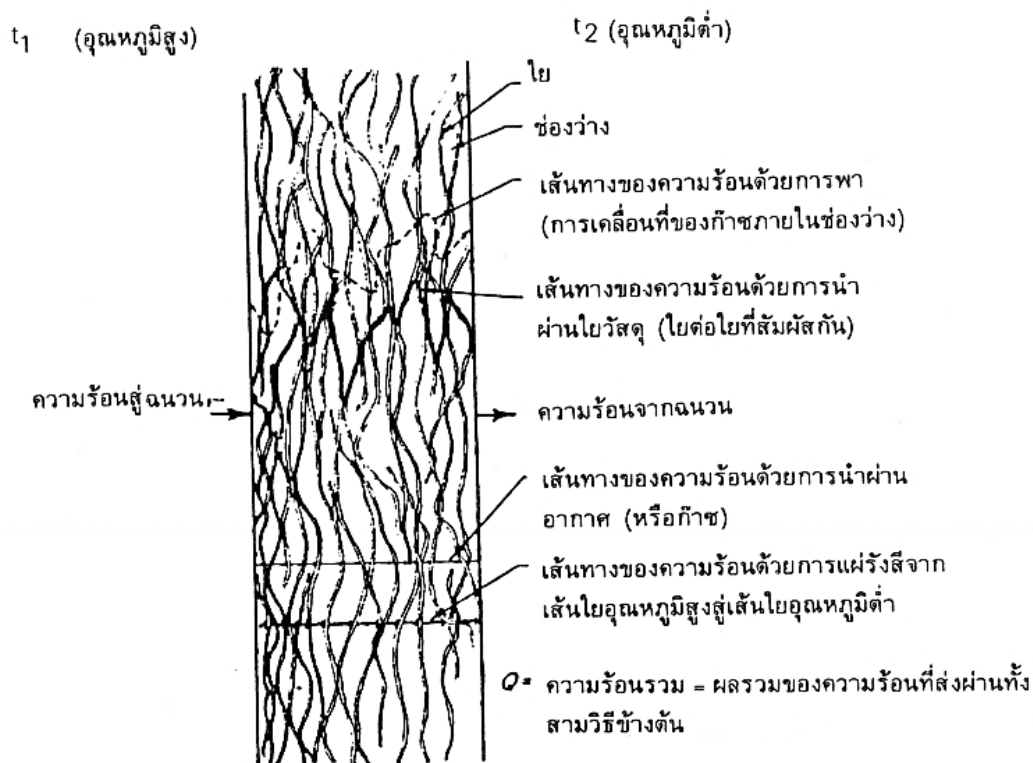
การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน

จุดมุ่งหมายในการติดตั้งฉนวนความร้อน คือ ต้องการเก็บรักษาพลังงานไม่ให้มีการถ่ายเทออกไป หรือเข้ามาภายในบริเวณที่ต้องการ นั่นคือ ฉนวนความร้อนต้องยับยั้งหรือขัดขวางการถ่ายเทความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบ ถึงแม้ว่าโดยปกติมักจะพิจารณาว่าฉนวนโดยส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างเป็นของแข็งและคาดว่าฉนวนจะถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน และดังนั้นกำหนดคุณสมบัติของฉนวนด้วยสภาพนำความร้อน ซึ่งในความเป็นจริง กลไกการถ่ายเทความร้อนในฉนวนไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะการนำความร้อนเท่านั้น การพาความร้อนและการแผ่รังสีก็เกิดขึ้นด้วย ฉะนั้นจึงมักใช้คำว่า “สภาพนำความร้อนปรากฏ” (Apparent thermal conductivity) แทน

หากพิจารณาพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสภาพแวดล้อมอันหนึ่ง ถูกนำมาวางไว้กลางแจ้ง การสูญเสียพลังงานจะเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบของการถ่ายเทความร้อน แต่ถ้านำแผ่นกั้นชนิดหนึ่งมาวางใกล้ ๆ กับพื้นผิวที่ร้อน สามารถลดการแผ่รังสีความร้อนลงได้หรือไม่ นอกจากนี้ จะทำให้ทราบด้วยว่าอากาศที่มีปริมาตรเพียงเล็กน้อย การพาความร้อนจะถูกจำกัดลง ดังนั้น ถ้าวางแผ่นกั้นจำนวนมากขึ้นใกล้กับพื้นผิวร้อน แผ่นกั้นเหล่านี้จะทำให้เกิดเป็นช่องเล็ก ๆ ขึ้น ซึ่งจะทำให้ทั้งการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนถูกขัดขวาง ฉะนั้นหากจัดกระจายแผ่นกั้นอย่างเหมาะสมการสูญเสียความร้อนจากพื้นผิวร้อนจะลดลงถึงจุดซึ่งมีผลเกือบจะเท่ากับการนำความร้อนสุทธิผ่านช่องอากาศนิ่งอย่างสมบูรณ์ (อากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เร็ว หรือเป็นฉนวนที่ดี) ซึ่งทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลงกว่าเดิม และจากสภาพการนิ่งจะทำให้การพาความร้อนไม่เกิดขึ้นด้วย

พิจารณากลไกการถ่ายเทความร้อนภายในฉนวนแสดงดังภาพที่ 2-5 จากรูปผิวทางด้านซ้ายมือของฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวทางด้านขวามือ ฉะนั้นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีความร้อนไหลจากผิวทางขวามือไปทางซ้าย ซึ่งความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนที่บรรจุเต็มไปด้วยช่องอากาศหรือก๊าซจากการฟอรัมตัวขึ้นตามสภาพเส้นใย หรือเซลล์ของวัสดุฉนวนจะมีอัตราการไหลที่ช้าลง โดยช่องอากาศหรือก๊าซเหล่านี้หากมีขนาดที่เล็กอย่างพอเหมาะจะทำให้การถ่ายเทความร้อน

ด้วยการพาจากด้านหนึ่งของเซลล์สู่อีกด้านหนึ่งมีปริมาณน้อยลง และทำให้เส้นทางการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านส่วนที่เป็นของแข็งต้องเป็นเส้นทางที่ยาวและคดเคี้ยวเพื่อจำกัดการนำความร้อนและวัสดุส่วนที่เป็นของแข็งควรต้องเป็นวัสดุที่บอบบางเพียงพอด้วย (หรือมีผิวสะท้อนรังสี) เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี



ภาพที่ 2-5 การไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน (ตรรกะการ ก้าวกลศาสตร์, 2537, หน้า 26)

การนำความร้อน

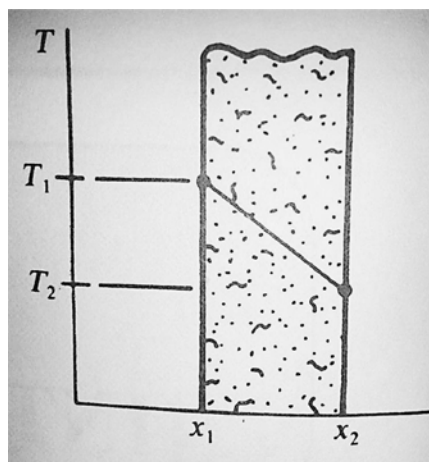
Holman (2004) แสดงค่าอุณหภูมิการถ่ายเทจากด้านในของวัสดุสู่ด้านนอก แสดงว่า มีการถ่ายเทพลังงานจากขอบบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ลักษณะเช่นนี้ กล่าวได้ว่า พลังงานถ่ายเทด้วยวิธีการนำ นั่นคือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ที่เกิดขึ้นในวัสดุ ซึ่งมีเนื้อเดียวกัน (homogeneous) จะนำมาคำนวณหาอัตราการถ่ายเทพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวกลาง ได้ด้วยสมการดังนี้

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2-1)$$

เมื่อ q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นตัวกลาง มีหน่วยเป็น W
 k คือ สภาพนำความร้อนของตัวกลาง มีหน่วยเป็น W/m.K
 A คือ พื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับทิศการไหลของความร้อนมีหน่วยเป็น m^2
 $\partial T / \partial x$ คือ ค่าความลาดชันของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น K/m

เครื่องหมายลบ ในสมการที่ (2-1) ซึ่งก็คือ กฎของฟูรีเยร์ (Fourier's Law) โดยพิจารณาตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ : การถ่ายเทพลังงานความร้อน เป็นผลมาจากที่ความลาดชันเชิงความร้อนนั้น จะต้องพิจารณาจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ถ้าภาพที่มีแต่เส้นรอบนอกของอุณหภูมิ (temperature profile) ภายในตัวกลางที่เกิดขึ้นเป็นเส้นตรงแสดงดังภาพที่ 2-6

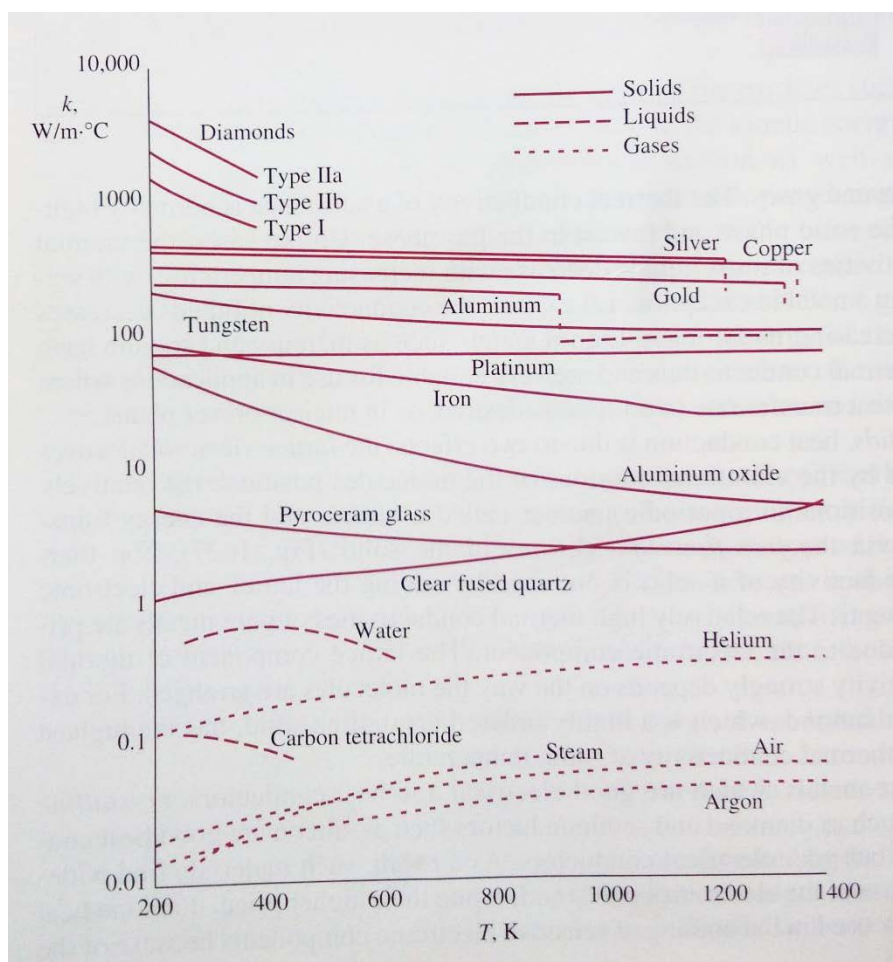


ภาพที่ 2-6 อุณหภูมิรอบนอกของตัวกลาง (พิทส์ อาร์ โดนัลด์, 2539, หน้า 25)

ดังนั้น สามารถแทนอุณหภูมิ ในรูปของอนุพันธ์ย่อย ได้ดังนี้

$$\frac{\Delta T}{\Delta X} = \frac{(T_2 - T_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (2-2)$$

ลักษณะเชิงเส้นตรงดังกล่าว มักจะเกิดขึ้นในตัวกลางที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน โดยกำหนดให้ค่า k มีค่าคงที่ในระหว่างที่มีการถ่ายเทความร้อนในเชิงสม่ำเสมอ



ภาพที่ 2-7 สภาพการนำความร้อนของวัสดุหลายประเภท ที่อุณหภูมิห้อง (Cengel, 2003, p. 22)

ฉนวนความร้อน

ฉนวนความร้อน (thermal insulation) หมายถึง วัสดุหรือวัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุใด ๆ หรือการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัสดุสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองมีความแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนนั้นมี 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และ การแผ่รังสีความร้อน โดยอาจเกิดขึ้นจากวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลาย ๆ วิธีพร้อมกัน

คุณสมบัติจนวนความร้อนตามมาตรฐาน ASTM

ASTM ย่อมาจาก The American Society for Testing and Materials หรือมาตรฐานของสมาคมทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา ได้สรุปและเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน R สภาพนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของจนวนความร้อน (ρ) ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติจนวนโดยทั่วไปและมาตรฐาน ASTM (ตระการ ก้าวสิทธิ์กรม, 2537)

ลักษณะจนวน	ค่าความต้านทาน, R (m.K/W)	ค่าการนำความร้อน, k (W/m.K)	ความหนาแน่น, ρ (kg/m ³)	มาตรฐาน ASTM
เส้นใยอัดเป็นแผ่น				
- ใยแก้ว	22.4	0.045	9.6-16.0	C533, C592
- ใยแร่	22.4	0.045	24.0-40.0	C533, C592
ลูสฟิลล์				
- เซลลูโลส	22.4-25.7	0.039	35.2-51.3	C734
- ใยแก้ว	19.8	0.05	9.6-16.0	C734
- ใยแร่	21.7	0.046	24.0	C734

สมบัติของจนวนกันความร้อนที่ดี (บริษัท ริจิตโฟม อินซูเลชั่น จำกัด, 2553)

การใช้งานจนวนกันความร้อนจะต้องเลือกให้ตรงกับวัตถุประสงค์ในการใช้งานและตามชนิดของจนวนซึ่งคุณสมบัติของจนวนที่ดีนั้นสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. ติดตั้งได้ง่ายและสะดวก
2. มีน้ำหนักเบาและแข็งแรง
3. มีความคงตัวสูง เปลี่ยนรูปได้ยาก
4. มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ คือยอมให้ความร้อนไหลผ่านตัวจนวนได้ยาก
5. มีความยืดหยุ่น คงทนต่อแรงดึง และแรงอัดได้ดี
6. สามารถต้านทาน สารเคมี การกัดกร่อนได้ดี
7. ใ้กับอุณหภูมิที่กว้าง
8. ทนต่อการติดไฟได้ดี
9. มีอัตราดูดซับความชื้นที่ต่ำ หรือไม่มีเลย
10. มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และคุ้มค่าต่อการลงทุน

ชนิดพื้นฐานของฉนวนความร้อน

คุณสมบัติพื้นฐานของฉนวนความร้อนหาได้จากองค์ประกอบของฉนวนเป็นหลัก ซึ่งจากองค์ประกอบของฉนวนสามารถแบ่งฉนวนความร้อนออกได้เป็น 6 ชนิดพื้นฐาน ดังนี้

1. ฉนวนชั้นอากาศหรือฟิล์มอากาศ

อาจถูกประกอบเป็นพื้นผิวเดียวอย่างง่าย หรืออาจเป็นพื้นผิวหลายๆ ชั้น ซึ่งมีอากาศอยู่ระหว่างชั้นของพื้นผิว ความต้านทานความร้อนจะเกิดจากชั้นของพื้นผิวเอง และชั้นของอากาศ ในลักษณะนำความร้อนหรือพาความร้อนคร่อมระหว่างชั้นอากาศ

2. ฉนวนแบบเซลล์

จะประกอบไปด้วยเซลล์เล็ก ๆ ที่ผลิตติดกับเซลล์อื่นอื่นๆ ฉนวนแบบเซลล์ผลิตขึ้นจากพลาสติกและยาง ตัวอย่างของฉนวนชนิดนี้ เช่น เซลลูโลสาร์กาส โฟมอิแลชโตเมริกแบบขยายตัว โฟมโพลีสไตรีน โฟมโพลีไอโซไซยานูเรต และโพลียูรีเทน และ โฟมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

3. ฉนวนแบบเส้นใย

ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ๆ จำนวนมาก เส้นใยเหล่านี้อาจทำมาจากอินทรีย์ อย่างเช่น เส้นผม ใยพืชต่าง ๆ หรืออาจทำจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยหิน(Asbestos) ใยซิลิกา ใยอะลูมินาซิลิกา ใยแร่หิน หรือใยคาร์บอน

4. ฉนวนแบบเกล็ด

ประกอบด้วยอนุภาคเล็ก อนุภาคหรือเกล็ดเหล่านี้อาจถูกเทเข้าไปในช่องอากาศ ทำให้เกาะตัวเข้าด้วยกัน เพื่อทำเป็นรูปทรงฉนวนที่แข็ง ฉนวนแบบเกล็ดที่มีรูปทรงแข็งสามารถใช้งานเป็นฉนวนท่อ หรือการใช้งานด้านอื่น ในลักษณะเป็นบล็อกหรือแผ่นอัด ฉนวนแบบเกล็ดที่รู้จักกันทั่วไป คือ เพอร์ไลต์ และเวอร์มิคูไลต์

5. ฉนวนแบบเกรนูลาร์

ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็น โพรงหรือกลวง ซึ่งช่องกลวงเหล่านี้สามารถถ่ายเทอากาศระหว่างกันและกันได้ จึงทำให้แตกต่างจากฉนวนแบบเซลล์ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนชนิดนี้อาจเป็น แมกนีเซียม แคลเซียมซิลิเกต ดิน ไดอะตอม (Diatomaceous earth) หรือ ไม้ก๊อกพืช (Vegetable cork) วัสดุ 3 ชนิดแรกส่วนใหญ่จะใช้เป็นฉนวนในระบบท่อทางด้านอุตสาหกรรม ส่วนไม้ก๊อกจะใช้งานกับการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ

6. ฉนวนแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี

ประกอบด้วยแผ่นบางขนานที่มีสภาพการสะท้อนรังสีความร้อนสูง หรือสภาพการแผ่รังสีต่ำ โดยแผ่นบางเหล่านี้จะเป็นช่องเพื่อสะท้อนรังสีความร้อนกลับ เนื่องจากแต่ละแผ่นที่แยกจากกันจะทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลการนำความร้อน และการพาความร้อนลดลง

การประยุกต์ใช้ฉนวนแผ่นบางส่วนใหญ่จะใช้เป็นระบบมากกว่าใช้วัสดุเดียว โดยจะใช้งานกับวัสดุที่มีอุณหภูมิสูง เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนชนิดแผ่รังสีความร้อน มีปริมาณมากกว่าการถ่ายเทความร้อนอีก 2 แบบคือ การนำและการพา เนื่องจากฉนวนแบบแผ่นบางมักจะถูกใช้ผิดที่ หรือใช้งานไม่เหมาะสม จึงทำให้ผลที่ได้ในระบบฉนวนของอาคารจำกัดลงมาก การใช้งานที่จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพต้องใช้แผ่นบาง ผิวสะท้อนรังสีร่วมกับช่องอากาศที่มีสถานะในลักษณะอากาศอยู่นิ่งไม่เคลื่อนที่ การใช้งานด้านอื่น ๆ ของแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี พบอยู่ในสถานะอุณหภูมิต่ำมาก (Cryogenic) ซึ่งมักจะเรียกฉนวนที่ใช้งานลักษณะนี้ว่าเป็นฉนวนชั้นเย็บม หรือซูเปอร์ฉนวน

การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนและมวลสาร

ในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ การเลือกใช้วัสดุที่สามารถกั้นความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร สิ่งที่จะต้องทราบและทำความเข้าใจในเบื้องต้นสำหรับการเลือกใช้ฉนวน คือ วัสดุประเภทและลักษณะการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถกำหนดเกณฑ์เบื้องต้นของฉนวนที่ต้องการได้ การเลือกใช้ฉนวนมีข้อพิจารณาดังนี้

1. รูปแบบทางกายภาพ (Physical forms)

รูปแบบทางกายภาพของฉนวนมีหลายรูปแบบให้เลือกใช้งานได้ตามต้องการ เช่น ฉนวนแบบคลุม แบบแผ่น แบบพ่น แบบฉีด เป็นต้น การเลือกใช้ฉนวนจะต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน และตำแหน่งที่ติดตั้ง และยังคงพิจารณาปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย ความแข็งแรงคงทนร่วมด้วย

2. ความหนาแน่นและความจุความร้อน (Bulk density and Heat capacity)

ความหนาแน่นและความจุความร้อนเป็นสมบัติซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตฉนวนที่มีคุณภาพดีจะมีความหนาแน่น และความจุความร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียวเท่านั้นซึ่งฉนวนแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันออกไป ในทางปฏิบัติจะได้จากผู้ผลิต

3. อุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสม (Suitability for service temperature)

อุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสมเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญในการเลือกใช้ฉนวน เนื่องจากฉนวนแต่ละชนิดจะมีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิในการใช้งานที่แตกต่างกัน หากเลือกใช้ไม่เหมาะสมอาจเกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของฉนวนได้ การแบ่งระดับของอุณหภูมิในการใช้งานของฉนวน ทำได้ดังนี้ 1) ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -270 ถึง 100 องศาเซลเซียส ได้แก่ แก้วโฟม (glass foam) เซลลูโลส (cellulose foam) เป็นต้น 2) ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิมากกว่า 100 ถึง 500 องศาเซลเซียส ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกต กระจกโฟม ไบเร่ พอยล์ เป็นต้น 3) ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิมากกว่า 500 องศาเซลเซียส ได้แก่ ฉนวนสารพวกอนินทรีย์ประเภทคาร์บอนหรือโลหะ เช่น พอยล์ เซรามิก (ceramics foam) ไบเซรามิก (ceramics fiber) ไบคาร์บอน (carbon fiber) เป็นต้น

4. การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal expansion)

การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของฉนวนอาจทำให้ประสิทธิภาพของฉนวนเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น การเลือกใช้ฉนวนจึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากอุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสม โดยเลือกใช้ฉนวนที่มีช่วงอุณหภูมิใช้งานตรงตามความต้องการ เพื่อให้การใช้งานฉนวนเกิดประสิทธิภาพสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนาน

5. ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Thermal resistivity)

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฉนวนดูได้จากค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistance, R-Value) โดยฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงจะกันความร้อนได้ดี ตัวอย่างฉนวนที่กันความร้อนได้ดีมาก เช่น โฟมพอลิยูรีเทนและโฟมพอลิไสไตรีนแต่ในการเลือกใช้ฉนวนเพื่อกันความร้อนสำหรับอาคารจะต้องพิจารณาสมบัติอื่น ๆ ในการใช้งานร่วมด้วย

6. ความต้านทานต่อความชื้น (Resistance to water penetration)

ความต้านทานต่อความชื้นของการใช้ฉนวนสำหรับอาคาร โดยเฉพาะอาคารที่มีการปรับอากาศ เพราะหากเกิดความชื้นในฉนวนจะทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพหรือสูญเสียสมบัติความเป็นฉนวนไป การใช้ฉนวนที่เหมาะสมสำหรับอาคารจึงสามารถช่วยป้องกันความชื้นให้กับอาคารได้ด้วย หากฉนวนที่ใช้ไม่มีการกันความชื้น ควรป้องกันความชื้นให้กับฉนวน โดยการใช้วัสดุสำหรับกันความชื้น เช่น แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ แผ่นพอลิเอทิลีน แผ่นพีวีซี เป็นต้น ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดมีสมบัติ กันความชื้นได้แตกต่างกัน

7. ความต้านทานต่อแรงอัด (Resistance to compaction)

ความต้านทานต่อแรงอัด เป็นสมบัติที่ใช้สำหรับพิจารณาเลือกใช้ฉนวนเพื่อให้เกิดความคงทนแข็งแรง และมีอายุการใช้งานยาวนาน โดยเฉพาะฉนวน ในส่วนที่ต้องรับแรงอัดสูง เช่น ฉนวนพื้น ฉนวนที่ขอบประตู หน้าต่าง ฉนวนท่อและอุปกรณ์ เป็นต้น ฉนวนที่ต้องรับแรงอัดสูง อาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย ดังนั้น การเลือกใช้ต้องคำนึงถึงความต้านทานต่อแรงอัดด้วย ฉนวนที่มีสมบัติต้านทานต่อแรงอัดสูง ได้แก่ ฉนวนประเภทโฟม และพอลิเมอร์บางชนิด เป็นต้น

8. ความแข็งแรงทางกล (Mechanical strength)

ความแข็งแรงทางกลของฉนวน หมายถึง ความสามารถของฉนวนในการทนต่อแรงต่าง ๆ หลายรูปแบบ คือ การรับน้ำหนักและแรงอัด ความต้านทานต่อแรงดึงและแรงเฉือนทนต่อการกระแทกและการสั่นสะเทือน ทนต่อแรงบิด ความสามารถของฉนวนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ความหนาแน่น ขนาดของเซลล์ ขนาดและการจัดเรียงตัวของเส้นใยของฉนวน ชนิดและปริมาณของตัวประสานยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในการใช้งานด้วย

9. อันตรายจากไฟไหม้ (Fire hazard)

อันตรายจากไฟไหม้ที่สำคัญสำหรับการใช้ฉนวนภายในอาคาร เพราะฉนวนที่กันความร้อน ได้ดีมีสมบัติการกันไฟไหม้ไม่ดี สำหรับบางส่วนของอาคารที่มีอุปกรณ์ความร้อน การกันไฟไหม้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

10. ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to vermin and Fungus)

ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อราเป็นสมบัติที่สำคัญในการเลือกใช้ฉนวน สภาพความชื้นสูงเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพได้ง่าย ทำให้ความเป็นฉนวนต่ำลง เป็นแหล่งเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยเฉพาะฉนวนพวกสารอินทรีย์ เช่น เส้นใยเซลลูโลส เป็นแหล่งอาหารและที่อยู่ของแมลงบางชนิด อาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย

11. การกันเสียง (Acoustical resistance)

การกันเสียงสำหรับบางส่วนของอาคารที่ต้องการลดการรบกวนจากเสียงจำเป็นต้องเลือกใช้ฉนวนที่มีสมบัติการกันเสียงที่ดี ซึ่งได้แก่ ฉนวนที่มีความเป็นรูพรุน หรือฉนวนที่มีช่องว่างอากาศมาก

12. การปลอดจากกลิ่น (Freedom from odour)

การปลอดจากกลิ่นที่สำคัญต่อการใช้งานฉนวน โดยเฉพาะการใช้งานฉนวนที่ติดตั้งภายในอาคาร ฉนวนที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบ หากเกิดการเสื่อมสภาพ หรือเกิดการเผาไหม้จะได้รับการสูดดมไอของสารเคมี

13. ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและสารเคมี (Corrosion and Chemical resistance)

ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและสารเคมีของฉนวนเป็นสมบัติหนึ่งที่ต้องพิจารณา ในการใช้งานการเสื่อมสภาพของฉนวนด้วยสารเคมีและสภาพอากาศ จะทำให้ฉนวนมีประสิทธิภาพลดต่ำลง

14. การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษาเป็นสิ่งที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายภายหลังการติดตั้งฉนวน ซึ่งจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ฉนวนความร้อนในลักษณะงานบางชนิดที่สำคัญ

ฉนวนความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งนับเป็นอุตสาหกรรมที่ขึ้นอยู่กับฉนวนความร้อนเป็นอย่างมาก เริ่มตั้งแต่กระบวนการแช่แข็ง ตู้แช่แข็งอุณหภูมิต่ำจะต้องมีฉนวนอย่างดีหุ้มอยู่โดยรอบซึ่งจะต้องทำให้อาหารที่ต้องการแช่แข็งแข็งตัวอย่างรวดเร็วภายหลังผ่านกระบวนการจัดการอาหาร

มาแล้ว และจากจุดนี้อาหารแช่แข็งจะถูกจัดส่งออกไป อาจโดยรถบรรทุก รถไฟ หรือเรือ ซึ่งก็ต้องบรรจุอยู่ในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิต่ำเช่นกัน เพื่อรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการโดยใช้พลังงานน้อย ตู้แช่เหล่านี้จึงต้องมีฉนวนความร้อนหุ้มอยู่ด้วย นอกจากนี้ ณ จุดจ่ายสินค้าหรือตามร้านค้าซึ่งจะต้องเก็บรักษาอาหารแช่แข็งเหล่านี้ ก่อนการแจกจ่ายหรือขายออกไปในร้านค้าจึงต้องมีตู้แช่แข็งหุ้มฉนวนด้วยเช่นกัน สุดท้ายแม้ว่าลูกค้าซึ่งซื้ออาหารแช่แข็งไปก็ต้องมีตู้เย็นหุ้มฉนวนใช้เก็บอาหารก่อนนำออกมาประกอบอาหารด้วยเหมือนกัน หากปราศจากฉนวนความร้อน ในทางปฏิบัติจะไม่มีทางเป็นไปได้เลยที่จะรักษาให้อาหารแช่แข็งคงอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิที่อาหารจะเน่าเสีย ซึ่งจะทำให้ผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้ค้าอาหารแช่แข็งเสียผลประโยชน์

ฉนวนความร้อนในอุตสาหกรรมขนส่ง

นอกเหนือจากอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งและอาหารแช่แข็ง ซึ่งการขนถ่ายสินค้าต้องกระทำภายใต้ข้อจำกัดของอุณหภูมิที่กำหนดไว้แล้ว อุตสาหกรรมขนส่งอื่น ๆ ดังเช่น

1. การขนถ่ายวัสดุหลอมเหลวอุณหภูมิสูง
2. การขนส่งก๊าซเหลวอุณหภูมิต่ำ
3. การขนถ่ายวัสดุซึ่งต้องคงสภาพไม่ให้แข็งตัว และ
4. การขนส่งผู้โดยสารในสภาพอุณหภูมิที่สะดวกสบาย

ในการขนถ่ายวัสดุหลอมเหลวอุณหภูมิสูง หากช่วงอุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงมากอาจจำเป็นต้องใช้วัสดุฉนวนที่ทนไฟได้ สำหรับช่วงอุณหภูมิของวัสดุหลอมเหลวในอุณหภูมิที่ต่ำลงมาอาจสามารถใช้วัสดุฉนวนอุณหภูมิสูงธรรมดาที่เพียงพอแล้ว สำหรับการขนถ่ายของเหลวที่มีอัตราการระเหยสูงมากก็จำเป็นต้องใช้รถบรรทุกที่หุ้มฉนวนด้วย ก็เพียงพอในช่วงอุณหภูมิบรรยากาศปกติ ส่วนก๊าซเหลวอุณหภูมิต่ำ อาจจำเป็นต้องใช้ฉนวนที่มีประสิทธิภาพชั้นเยี่ยม เพื่อที่จะลดปริมาณความร้อนที่จะทำให้ก๊าซเหลวลดคุณภาพลง ฉนวนความร้อนประเภทนี้ อย่างเช่น ฉนวนความเย็นประสิทธิภาพชั้นเยี่ยม (superefficient cryogenic insulation) เป็นต้น

ในด้านขนส่งผู้โดยสาร รถบรรทุกผู้โดยสารที่ทันสมัยจะออกแบบให้มีการหุ้มฉนวนที่ดีและมีการปรับอากาศที่ไม่จำเป็นของฉนวนจะช่วยลดภาระของเครื่องยนต์ ฉนวนที่มียุทธศาสตร์ประสิทธิภาพและน้ำหนักเบาจะเหมาะสมกว่ามาก อย่างไรก็ตาม ฉนวนน้ำหนักเบาโดยมากมักจะมีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง และต้องหุ้มด้วยวัสดุอื่นเพื่อป้องกันความเสียหายเชิงกลในกรณีที่ใช้ฉนวนในงานด้านการทำความเย็น ฉนวนต้องได้รับการป้องกันด้วยแผ่นกันไอน้ำ ดังนั้น การออกแบบที่ดีต้องคำนึงถึงทั้งด้านวัสดุ และกระบวนการที่ใช้ ซึ่งจะอยู่ระหว่างฉนวนและวิธีการติดตั้งฉนวน เพื่อกำหนดรูปแบบโครงสร้างฉนวนตามสภาพอากาศ และ/หรือแผ่นกันไอน้ำซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานฉนวนทนทาน อย่างไรก็ตาม การที่จะให้ได้รับผลทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีที่สุด ทั้ง

ทางด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อน อายุการใช้งานที่มีประสิทธิผล น้ำหนักเบา และราคาที่เหมาะสมเหตุผลเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก โดยเฉพาะเป็นที่น่าเสียดายที่ผู้ออกแบบทางด้านการขนส่งเป็นจำนวนมากมักจะไม่นำมาพิจารณาในเรื่องการออกแบบฉนวน ดังนั้น ความผิดพลาดในการเลือกวัสดุฉนวนและการนำมาใช้งานจึงเกิดขึ้นเสมอ ๆ นอกจากนี้ ช่างเทคนิคในอุตสาหกรรมฉนวน ไม่ได้อยู่ตำแหน่งที่จะได้รับข้อเท็จจริงและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการขนส่งอีกด้วย ฉะนั้นจึงไม่สามารถช่วยผู้ใช้ได้อย่างเหมาะสมในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับงาน ในการออกแบบติดตั้งและการนำไปใช้งาน

สำหรับวิธีใช้งานฉนวนในงานด้านการขนส่งพอสรุปได้ดังนี้

1. ฉนวนทำให้เป็นไปได้อย่างดีที่จะควบคุมอุณหภูมิ ฉะนั้นจึงทำให้การผลิต จัดส่งและขายสินค้า มีการตอบสนองที่ดี ประหยัดพลังงาน หรือมีกำไร
2. ฉนวนช่วยอนุรักษ์พลังงานทั้งในด้านความร้อนหรือความเย็น ดังนั้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลัง
3. ฉนวนช่วยลดขนาดความต้องการของอุปกรณ์ทำความร้อนหรือความเย็น ดังนั้น ช่วยลดเงินลงทุนในการซื้ออุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า
4. ฉนวนช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการจัดส่งวัสดุหลอมเหลว หรือก๊าซเหลวซึ่งเป็นไปได้ยากหากจะจัดส่งวัสดุเหล่านี้ในตู้บรรทุกที่ไม่หุ้มฉนวน
5. ในการขนส่งทางเรือ ฉนวนช่วยป้องกันไฟด้วยการลดอันตรายจากไฟไหม้เป็นผลให้อัตราการสูญเสียและค่าประกันต่ำลง

อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการซื้อฉนวน ค่าติดตั้ง และค่าบำรุงรักษาจะต้องเปรียบเทียบกับจำนวนเงินตราที่ฉนวนประหยัดพลังงานไว้ได้ประกอบด้วยเสมอ ซึ่งก็มักปรากฏว่าการติดตั้งฉนวนนับเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า ถ้ามีการวิเคราะห์ระบบอย่างถูกต้อง

ฉนวนความร้อนสำหรับอาคารสิ่งก่อสร้าง

ฉนวนความร้อนนับว่าเป็นส่วนที่จำเป็นในอาคารสิ่งก่อสร้างสมัยใหม่ โดยจะทำหน้าที่หลายอย่างด้วยกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในระหว่างใช้งานสำหรับคำว่าอาคารสิ่งก่อสร้าง (Building) ในที่นี้จะรวมถึงบ้าน โรงแรม โรงเรียน ที่ทำการสำนักงาน อาคารโรงเรียน ห้องทดลอง และอาคารทางอุตสาหกรรมอื่น ๆ ด้วย ในที่นี้ความจำเป็นของฉนวนไม่เพียงแต่กับพื้นห้อง ผนัง และเพดานของตัวอาคาร แต่จะรวมถึงระบบเชิงกลในอาคารด้วย อย่างเช่นระบบทำความร้อน ทำความเย็น สุขภัณฑ์ และระบบปรับอากาศ โดยปกติแล้วฉนวนนับเป็นโครงสร้างเดียวเท่านั้นที่สถาปนิกส่วนใหญ่มักจะละเลย ไม่ตระหนักถึงความสำคัญของฉนวนกัน

ความร้อนว่าจะเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้การใช้งานอาคารสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ มีความประหยัด ใช้พลังงานในการรักษาอุณหภูมิที่น้อยกว่าเดิมมาก

การใช้งานฉนวนความร้อนที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมกับพื้นที่ห้อง ผนังและหลังคา โดยทั่วไปสามารถลดภาระความร้อนและความเย็น ซึ่งมีผลทำให้ลดขนาดของอุปกรณ์ทำความร้อนหรือความเย็น ผลที่ตามมาคือ ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม จากราคาที่มากกว่าราคาของฉนวนความร้อน เนื่องจากการใช้กำลังการผลิต ค่าปฏิบัติงานที่น้อยลง นอกจากนี้ จากการใช้ฉนวนความร้อนช่วยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสถานะที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก จึงทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารมีความสะดวกสบายมากกว่าอีกด้วย

ฉนวนความร้อนในอุตสาหกรรมการผลิต

ในอุตสาหกรรมการผลิต ฉนวนความร้อนใช้งานในหลายหน้าที่ :

1. ป้องกันไฟไหม้
2. รักษาผลิตภัณฑ์
3. ควบคุมอุณหภูมิ
4. การผลิตผลิตภัณฑ์
5. อนุรักษ์พลังงาน

การใช้งานจะใช้ฉนวนในลักษณะสัมผัสโดยตรงเข้าไปในกระบวนการผลิตการใช้งานในลักษณะป้องกันไฟ ประการแรกใช้เพื่อป้องกันหรือหน่วยอุบัติเหตุจากไฟไหม้ ประการที่สอง ถ้าไฟเริ่มไหม้ ฉนวนจะช่วยป้องกันท่อและอุปกรณ์ จนกระทั่งสามารถดับไฟได้ ในลักษณะนี้ฉนวนป้องกันโรงงานจากไหม้จะช่วยลดการหยุดเดินเครื่อง ป้องกันผลิตภัณฑ์ ป้องกันบุคลากร และลดค่าใช้จ่ายในการประกันภัย ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงมาก

การรักษาผลิตภัณฑ์ นับเป็นการใช้ฉนวนในหน้าที่ที่นิยมเพิ่มขึ้นอย่างมาก วัสดุหรือผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมากจะถูกเก็บคงคลัง ขนย้าย และใช้ภายในช่วงอุณหภูมิเฉพาะ อุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงจากต่ำมาก ๆ ถึงสูงมาก ๆ ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น

1. วัสดุพวกสารระเหย ซึ่งถ้ามีอุณหภูมิที่เกินกว่ากำหนดแล้วจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาที่มีผลให้วัสดุเสื่อมสภาพ หรือแม้แต่อาจระเบิด
2. วัสดุที่มีจุดหลอมละลายสูง ซึ่งถ้าปล่อยให้แข็งตัวจะเป็นการยากที่จะทำให้หลอมละลายใหม่
3. ก๊าซเหลวซึ่งกลายเป็นไอไว้มาก และต้องระมัดระวังให้เย็นอยู่เสมอ เพื่อป้องกันความดันเกินและสูญเสียออกไป เป็นต้น

จะเห็นว่าคุณสมบัติของฉนวนมีหลากหลายประการ ฉะนั้นสมควรที่จะศึกษาถึงหลักการทำงาน และคุณสมบัติของฉนวน ตลอดจนการประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับงานในแต่ละรูปแบบ การติดตั้ง ตรวจสอบ บำรุงรักษา และสุดท้าย เศรษฐศาสตร์การใช้งานฉนวนความร้อน เพื่อก่อให้เกิดการประหยัดสูงสุด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประยูร สุรินทร์ (2544) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย โดยกระบวนการผลิตได้ผสมเส้นใยจากขานอ้อย กับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เกรด EU-617 แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่น โดยกระบวนการอัดด้วยความร้อน ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน ขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 4.5 เซนติเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-85 พบว่า แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้จากการผสมกาวยูเรีย 8% 12% 25% 33% และ 42% โดยน้ำหนักเส้นใยแห้ง มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.0724 และ 0.0925 W/m.K ตามลำดับ ความหนาแน่นระหว่าง 600-700 kg/m³

กิตติศักดิ์ บัวศรี (2544) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว โดยกระบวนการผลิตได้ผสมเส้นใยจากฟางข้าว กับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เกรด EU-617 แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่น โดยกระบวนการอัดด้วยความร้อน ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน ขนาด กว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร และหนา 0.9 เซนติเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-85 พบว่า แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้จากการผสมกาวยูเรีย 4% 8% 12% 16% และ 20% โดยน้ำหนักเส้นใยแห้ง มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.0564 และ 0.0957 W/m.K ความหนาแน่นระหว่าง 600-700 kg/m³

ธัญชัย ปทุมวรกิจ (2548) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างฉนวนที่ผลิตจากขังข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง โดยกระบวนการผลิตได้ผสมขี้เถ้าจากขังข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง กับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่น โดยกระบวนการอัดด้วยความร้อน ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน ขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และหนา 1.0 เซนติเมตร ด้วยวัดการนำความร้อน B 480 ตามมาตรฐานอังกฤษ พบว่า แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้จากขังข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.063 และ 0.059 W/m.K ความหนาแน่น 200 kg/m³

ทัศนีย์ ทองก้านเหลือง (2548) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นปาร์ติเกิลจากทะเลสาบปาร์มน้ำมัน โดยกระบวนการผลิตได้ผสมเส้นใยจากทะเลสาบปาร์ม

กับสารยี่ดติด MDI (Methylene Diphenyl Diisocyanate) แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่น โดยกระบวนการอัดด้วยความร้อน ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นปาร์ติเกิล ขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.0 เซนติเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-85 พบว่า แผ่นปาร์ติเกิลที่ผลิตได้จากการผสม MDI 5% และ 7% โดยน้ำหนักเส้นใยแห้ง มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.1111 และ 0.1002 W/m.K ตามลำดับ ความหนาแน่นระหว่าง 732-788 kg/m³

ทะนง บุญมีมาพาสุข (2549) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนหุ้มไฟจากเส้นใยผักตบชวาและน้ำยางธรรมชาติ เป็นวัสดุประสาน ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนผ่านกระบวนการพันระลอกฝอย ขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 195.48 kg/m³ ค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.052 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-97

วิศิษฎ์ โส้เจริญรัตน์ (2549) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยฟางข้าวและน้ำยางธรรมชาติ เป็นวัสดุประสาน โดยการนำเส้นใยหญ้าแฝกผ่านกระบวนการพันเคลือบประสานเส้นใยด้วยน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งทำการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และหนา 2.0 เซนติเมตร ความหนาแน่น 195.48 kg/m³ ค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.052 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-97

สมเจตน์ พัชรพันธ์ และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝก และน้ำยางธรรมชาติ เป็นวัสดุประสาน โดยการนำเส้นใยหญ้าแฝกผ่านกระบวนการพันเคลือบประสานเส้นใยด้วยน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งทำการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 180 kg/m³ ค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.0564 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177

สุนทร เครื่องคำ (2551) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากเยื่อสาดขาว โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเป็นสารยี่ดติด การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนกระทำโดยวิธีการอัดร้อนที่อัดโดยเครื่องอัดแบบแผ่นไฮดรอลิกส์ แผ่นฉนวนที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบแบนชั้นเดียว มีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตรและหนา 1.5 เซนติเมตร ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 พบว่า แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตโดยใช้ปริมาณกาวสังเคราะห์ 8% 12% และ 16% มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.041 0.039 และ 0.039 W/m.K ตามลำดับ

จักรกริสน์ พิสุตรเสียง (2553) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนความร้อนที่ผลิตจากใบยางพารากับฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยเซลโลกรีต และฉนวนโพลียูรีเทนโฟม โดยการนำเส้นใยใบยางพารา บรรจุใส่ลงไปในกลุ่มไม้อัดโดยใช้แรงคนกดอัด ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่น

ฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และหนา 0.6 เซนติเมตร นำแผ่นฉนวนที่ได้ไปทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 หาค่าการนำความร้อนด้วยเครื่องวัดการนำความร้อนซึ่งค่าที่ได้เท่ากับ 0.08 W/mK. ผลจากการประยุกต์ใช้จริง พบว่า ฉนวนความร้อนที่ผลิตจากโบบางพารามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับฉนวนความร้อนที่นำมาเปรียบเทียบ โดยเทียบได้ใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยเซลโลกรีต และฉนวนโพลียูรีเทนโพนตามลำดับ

สิงห์เดช แดงจวง และสุปรียา คำฟู (2554) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยกกก้านรูป โดยการนำเส้นใยกกก้านรูปผ่านกระบวนการปั่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติแล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 258 kg/m³ ค่าการนำความร้อน 0.029 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-97

สิงห์เดช แดงจวง (2554) ได้ทำการศึกษาการผลิตและสมบัติเชิงกายภาพของฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบสับประรดและน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำเส้นใยใบสับประรดผ่านกระบวนการปั่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติแล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 210 kg/m³ ค่าการนำความร้อน 0.035 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-97

ทรงเกียรติ สวนแก้ว (2554) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบสับประรดและน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำเส้นใยใบสับประรดผ่านกระบวนการปั่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติ แล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 178-232 kg/m³ ค่าการนำความร้อนระหว่าง 0.0223-0.0257 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-97 ผลการศึกษาเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยใบสับประรดและน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนเพื่อทดแทนฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์

เมทินี ชัดสี (2554) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยกกก้านรูปและน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำเส้นใยกกก้านรูปผ่านกระบวนการปั่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติแล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 232 kg/m³ ค่าการนำความร้อน 0.0296 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-97 ผลการศึกษาเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยกกก้านรูปและน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนเพื่อทดแทนฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์

สุตินัย ยามศรีสุข (2554) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการใช้หญ้าสลาบลวงเป็นฉนวนกันความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยกระบวนการผลิตได้ผสมเส้นใยจากหญ้าสลาบลวงทั้งชนิดที่ป่นย่อยและไม่ป่นย่อย (ไม่กำจัดใบ) กับกาวยูโอโซไซยานต 5% ของน้ำหนักแผ่น ซึ่งสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ทั้งสองชนิด โดยกระบวนการอัดด้วยความร้อน ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน ขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และหนา 0.9 เซนติเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-97 พบว่า แบบป่นย่อยและไม่ป่นย่อยมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.041 และ 0.048 W/m.K ตามลำดับ ความหนาแน่น 200 kg/m³

ปิณฑัตต์ ตรีวงศ์ (2554) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แผ่นใยไม้อัดจากไม้ยางพาราเป็นฝ้าเพดานเพื่อกันความร้อน การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนกระทำโดยวิธีการอัดร้อนแทนการใช้แผ่นยิปซัม ใช้กาวยูเรียฟอรัลมาลดีไฮด์ ประมาณ 10% และแอมโมเนียคลอไรด์ เป็นสารยึดติดผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อนของแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยไม้ยางพาราเปรียบเทียบกับแผ่นยิปซัม พบว่า แผ่นใยไม้อัดจากไม้ยางพารา มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.045 W/m.K ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 600-800 kg/m³ และแผ่นยิปซัม มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.306 W/m.K หนาแน่นประมาณ 750 kg/m³ ซึ่งเหมาะสมสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นยิปซัมถึง 7 เท่า จึงสามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยิปซัม อีกทั้งยังมีความแข็งแรงมากกว่าด้วย แต่มีข้อเสียคือเปราะเช่นเดียวกับการพองตัวของแผ่นใยไม้อัดมีมากกว่าแผ่นยิปซัม จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูงหรือมีโอกาสเปียกน้ำได้ง่าย

อำนาจ อมฤก (2554) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยกกช้าง โดยใช้ น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวเชื่อมประสานเส้นใย ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร มีความหนาแน่น 258.12 kg/m³ ค่าการนำความร้อนระหว่าง 0.0528 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177

ฐิติวัลลค์ เลื่อมกาญจนพันธ์ (2555) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกช้าง โดยกระบวนการผลิตได้ผสมเส้นใยกกช้าง กับกาวโพลีเมอริคเมทิลินไดฟีนิลไดโอสไซไซยานต เป็นสารยึดติด ขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวน โดยกระบวนการอัดด้วยความร้อน ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และหนา 1.0 เซนติเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 518-10 พบว่า ค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.0438-0.0606 W/m.K ความหนาแน่น 200-400 kg/m³

Jintakosol and Kumfu (2012) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยเปลือกทุเรียนและน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำเส้นใยเปลือกทุเรียนผ่านกระบวนการปั่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติแล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 143 kg/m^3 ค่าการนำความร้อน 0.026 W/m.K โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-97

กนกวรรณ มะสุวรรณ และภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ (2556) ได้ทำการศึกษาใช้เส้นใยธรรมชาติซึ่งได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติในการกันเสียงที่ดีขึ้น โดยกระบวนการผลิตได้ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 น้ำทราย เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อไผ่ปาล์ม ที่ความหนา 8 12 และ 16 มิลลิเมตร พบว่า การแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติในปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ มีค่าความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดลดลง และวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าวมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยปาล์ม นอกจากนี้ สำหรับคุณสมบัติในการกันเสียง เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นทดสอบและร้อยละในการแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติ ส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีขึ้น

กนกอร หันเจริญ (2556) ได้ทำการศึกษาการวัดค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรดด้วยวิธีการสอบกลับทางตรง โดยกระบวนการผลิตได้ผสมเส้นใยสับปะรด กับกาวน้ำ เป็นสารยึดติด จากการทดสอบวัดค่าฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปะรด พบว่า ค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากแกน ขั้ว และเปลือกสับปะรด ตามมาตรฐาน ASTM C-518 ขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 2.2 เซนติเมตร มีค่า 0.0402 0.0320 และ 0.0713 W/m.K ตามลำดับ โดยฉนวนที่เกิดจากการผสมเส้นใยทั้งสามชนิด จะให้ค่าสภาพการนำความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 0.0291 W/m.K

อภิชาติ สุขโขทัย (2556) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้ Ningkoon เชื้อเห็ด โดยการนำฉนวนความร้อนจากเศษวัสดุธรรมชาติเหลือทิ้งในท้องถิ่นคือ ก้านกล้วย หน่อกล้วย และผักตบชวา ขึ้นรูปฉนวนด้วยการมัดเชือกกระสอบที่เหลือใช้โดยการทักทอหรือวางซ้อนของฉนวนหรือมัดเป็นก้ำตามลักษณะของฉนวนแต่ละชนิด ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ISO 8301 ของฉนวนกันความร้อนที่ทำจากก้านกล้วย หน่อกล้วย และผักตบชวา พบว่ามีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.082 0.080 และ 0.071 W/m.K ตามลำดับ

Jaktorn and Jijitsawat (2014) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยผักตบชวา โดยการนำเส้นใยผักตบชวาผ่านกระบวนการปั่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติ

แล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อน ความหนาแน่น $465-646 \text{ kg/m}^3$ และค่าการนำความร้อน เท่ากับ $0.0246-0.0305 \text{ W/m.K}$.

สุปราณี แก้วภริมย์ และศิริเดช บุญแสง (2557) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและลักษณะ วิทยาของคอมโพสิตชีวภาพที่ผลิตจากพอลิแลคติกแอซิด โดยมีเส้นใยสับปะรด (PALF) เป็นสาร เสริมแรง เส้นใยสับปะรดที่ใช้สกัดได้จากใบสับปะรดด้วยวิธีเชิงกล (ใช้เครื่องชูดใบ) ตรวจสอบ ลักษณะวิทยาของพื้นผิว และสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ การทดสอบแรงดึงของ คอมโพสิตตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 638 พบว่า ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของ คอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ และฉันทนา เล็กใจซื่อ (2560) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวน ความร้อนจากเส้นใยต้นปุด ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน ขนาด กว้าง 36 เซนติเมตร ยาว 36 เซนติเมตร และหนา 1.49 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C 177 พบว่า การนำความร้อนของฉนวนความร้อนจากเส้นใยต้นปุด มีค่าเท่ากับ $0.0737-0.0757$ ที่ความ หนาแน่น $286.7-416.5 \text{ kg/m}^3$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง ผู้วิจัยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ตอน

ตอนที่ 1 กระบวนการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ

ตอนที่ 2 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนความร้อนจากเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ

ตอนที่ 3 การทดสอบการลามไฟและเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนและวัสดุชนิดอื่น ๆ

ตอนที่ 1 กระบวนการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ

ในการศึกษากระบวนการผลิตฉนวนความร้อน จากเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ มีขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยาง

1.1 การสกัดเส้นใยจากไผ่เตยปะหนัสน้ำยางด้วยการสกัดเชิงกลและเชิงเคมี

ไผ่เตยปะหนัสน้ำยาง ปกติจะมีขนาดใหญ่ ยาว แข็งกระด้าง และมีหนาม ทำให้เป็นการยากที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนได้ จึงต้องทำการปรับปรุงไผ่เตยปะหนัสน้ำยาง ให้กลายเป็นเส้นใยขนาดเล็ก และมีความอ่อนนุ่มมากขึ้น โดยการกำจัดหนามและล้างไผ่เตยปะหนัสน้ำยางด้วยน้ำสะอาดก่อน แล้วนำไผ่เตยปะหนัสน้ำยางมาทำการลดขนาดด้วยเครื่องย่อย แล้วทำการสกัดเส้นใยจากไผ่เตยปะหนัสน้ำยาง โดยใช้ 2 วิธี คือ การสกัดเชิงกลด้วยการร่อน นำเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางที่ได้จากการย่อยแล้ว แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งนำมาร่อนในตะกร้าคัดเอาส่วนของไผ่เตยที่มีลักษณะเป็นเกล็ด แฉกหรือเป็นแผ่นไผ่เล็ก ๆ ทิ้ง ให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นเส้นใยเล็ก ยาวเรียว เบาและสะอาด และการสกัดเชิงเคมี เป็นการสกัดเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางด้วยสารเคมี ให้มีสมบัติที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวน โดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 โดยน้ำหนัก เพื่อใช้เป็นสารละลายตัวกลางในการสกัด แล้วนำเส้นใยไผ่เตยปะหนัสน้ำยางที่ได้จากการย่อยแล้วส่วนที่เหลือมา

ปั่นกวนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้เตรียมไว้ เป็นเวลา 10, 20, 30 นาที และควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เมื่อครบกำหนดเวลา เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทิ้งไป ทำการกรองและล้างเส้นใยที่เหลือด้วยน้ำสะอาดจนสารละลายเป็นกลาง จึงนำเส้นใยที่ได้จากการสกัดเชิงกลและเชิงเคมี ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

1.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของเส้นใยไบโอบีโตน

ศึกษาลักษณะสัณฐานของเส้นใย นำเส้นใยที่ได้จากการสกัดเชิงกลและการสกัดเชิงเคมีไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1450 VP ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า มีวิธีการทดสอบ ดังนี้

1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบวางประกอบลงบนแผ่นอลูมิเนียม (stub)
2. นำไปอบไล่ความชื้นแล้วนำไปเคลือบทอง
3. นำชิ้นงานที่เตรียมไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscope: SEM)

1.3 การปรับปรุงเส้นใยไบโอบีโตนด้วยการเติมสารหน่วงไฟ

ปรับปรุงเส้นใยไบโอบีโตนด้วยการเติมสารหน่วงไฟ เพื่อลดการลามไฟของฉนวนความร้อน โดยการนำเส้นใยไปแช่บอแรกซ์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ทะนง บุญมีมาพาสุข, 2549)



กำจัดหนามและล้างใบเตยปะหนั้นด้วย
น้ำสะอาดก่อน



นำใบเตยปะหนั้นมาทำการลดขนาด
ด้วยเครื่องย่อย

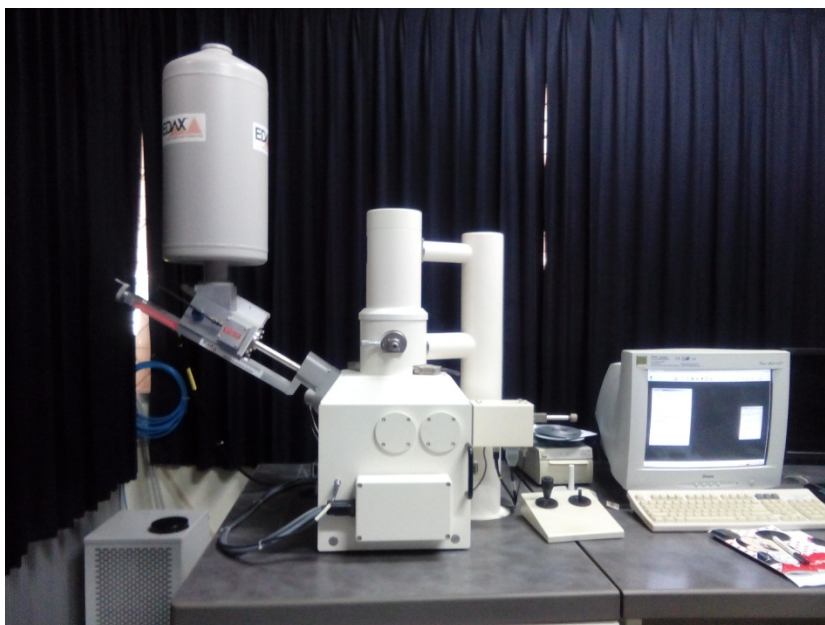


แบ่งเส้นใยเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำมา
ร่อนในตะกร้าและอีกส่วนปั่นกวนด้วย
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ภาพที่ 3-1 การเตรียมเส้นใยใบเตยปะหนั้นด้วยการสกัดเชิงกลและการสกัดเชิงเคมี



ภาพที่ 3-2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1450 VP

2. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติสำหรับกระบวนการขึ้นรูป

งานวิจัยนี้เลือกน้ำยางธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นตัวประสานให้เส้นใยใบเตยปะหนัน เกาะเกี่ยวกันได้ดีและมีค่าการนำความร้อนต่ำ ตลอดจนเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติและความต้องการฉนวนความร้อนที่สามารถดัดโค้ง (flexibility) ได้ และเพื่อให้น้ำยางให้มีความหนืดและเวลาในการคงรูปอย่างที่เหมาะสม การเตรียมน้ำยางธรรมชาติสำหรับสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อน โดยวิธีการพ่นเคลือบประสาน ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกน้ำยางธรรมชาติและสารเคมี จากผลสำเร็จในงานวิจัยของ วราภรณ์ จจรไชยกุล และวิภา เสวตกนิษฐ์ (2538) และแก้ไขเพิ่มเติมจาก บุญธรรม นิธิอุทัย (2532) ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ขั้นตอนการเตรียม

1. เริ่มจากเทน้ำยางข้นลงในภาชนะบรรจุ และทำการปั่นไล่แอมโมเนียที่ใช้รักษา น้ำยางข้น ให้ระเหยออกไป ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 นาที โดยความเร็วรอบในการกวนประมาณ 30 รอบต่อนาที จะได้น้ำยางธรรมชาติ
2. จากนั้นจึงใส่สารเคมีดังกล่าวลงในน้ำยางข้นตามลำดับและทำการปั่นกวนน้ำยางธรรมชาติต่อไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้สารเคมีกระจายในน้ำยางได้อย่างทั่วถึง

ตารางที่ 3-1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางสำหรับกระบวนการฟ้นเคลือบประสาน

Materials and chemicals	Content (g)
Potassium Hydroxide (Emulsion 20 %)	3
Potassium laurate (Emulsion 20%)	1
Sulfur (Dispersion 50%)	4
Zinc diethyldithiocarbamate; ZDEC	2
Wing stay L (Dispersion 50%)	2
Zinc oxide (Dispersion 50%)	1.5
Latex 60%	167



ภาพที่ 3-3 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติสำหรับกระบวนการขึ้นรูป

3. กระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนโดยใช้วิธีพ่นเคลือบประสาน

กระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อน โดยใช้วิธีพ่นเคลือบประสาน มีขั้นตอน ดังนี้

1. เริ่มจากการนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์มาโรยเป็นชั้นบาง ๆ บนถาด
2. แล้วใช้อุปกรณ์พ่นน้ำยางธรรมชาติ ลงบนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โดยปรับให้มี

ละอองแบบฝอยเพื่อเคลือบเส้นใยให้ทั่วถึง

3. หลังจากนั้นโรยเส้นใยโพลีเอสเตอร์ทับลงไปหนึ่งชั้น พ่นน้ำยางธรรมชาติทับ แล้วกดด้วยแผ่นไม้ระนาบ เพื่อให้แผ่นฉนวนแน่นขึ้นเป็นการไล่อากาศออกจากแผ่นฉนวนทำซ้ำ เช่นนี้ จนได้ความหนาตามต้องการ (หนา 1.5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C177-97)

4. แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ น้ำยางธรรมชาติเกิดการคงรูปจับยึดเส้นใยโพลีเอสเตอร์เป็นแผ่น

5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที เพื่อให้ น้ำยางคงรูปอย่างสมบูรณ์

การขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ และน้ำยางธรรมชาติ โดยวิธีการพ่นประสานนั้น เริ่มทดลองที่อัตราส่วน น้ำหนักเส้นใยโพลีเอสเตอร์ต่อน้ำยางธรรมชาติ ที่ 1:2 1:3 และ 1:4 (Jintakosol & Kumfu, 2012) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นฉนวน โดยคำนึงถึงปริมาณของน้ำยางธรรมชาติให้น้อยที่สุด แต่ต้องสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ รวมถึงความสามารถในการเกาะเกี่ยวของเส้นใยและน้ำหนักของแผ่นฉนวนที่ได้



นำเส้นใยไบโอดีปะหนั มาโรยเป็น
ชั้นบางๆ บนถาด



พ่นน้ำยางธรรมชาติ ลงบนเส้นใย
ไบโอดีปะหนัและโรยเส้นใยจนได้
ความหนาที่ต้องการ



ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้
น้ำยางธรรมชาติเกิดการคงรูป



อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 45 นาที



แผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใย
ไบโอดีปะหนัและน้ำยางธรรมชาติ
โดยวิธีการพ่นประสาน

ภาพที่ 3-4 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อน โดยใช้วิธีพ่นเคลือบประสาน

ตอนที่ 2 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของ ฉนวนความร้อนจากเส้นใยโอบเตยปะหนั้น และน้ำยางธรรมชาติ

เมื่อทำการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโอบเตยปะหนั้น และน้ำยางธรรมชาติเรียบร้อยแล้ว ให้เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยนำแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ไปตัดขอบเพื่อให้ได้ขนาดและจำนวน ตามตารางที่ 3-2 เพื่อทำการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน ดังนี้

1. สมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และค่าการพองตัวตามความหนา
2. สมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง และค่าความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น
3. สมบัติเชิงความร้อน ได้แก่ ค่าการนำความร้อน



ภาพที่ 3-5 ชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 3-2 ขนาดและจำนวนชิ้นงานทดสอบที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

ค่าที่ใช้ทดสอบ	ขนาดของชิ้น ทดสอบ กว้างxยาว (mm)	จำนวน (ชิ้น)	รหัสชิ้นงาน ทดสอบ
ความหนาแน่น	200×200	9	D
ความชื้น	50×50	9	MC
การpongตัวตามความหนา	50×50	9	SW
ความต้านแรงดึง	40×150	9	TS
ความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น	50×275	9	FS, FM
การนำความร้อน	200×200	9	TC
การลามไฟ (แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ)	13×125	18	F, FB

1. สมบัติเชิงกายภาพ

1.1 ค่าความหนาแน่น (Density)

การทดสอบค่าความหนาแน่น เป็นวิธีการทดสอบหาค่าความหนาแน่นที่เทียบกับอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรหนึ่งหน่วยมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามมาตรฐาน ISO 845 โดยทำการทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ใช้ชิ้นงานทดสอบ ขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร และหนา 15 มิลลิเมตร

1.2 ค่าความชื้น (Moisture content)

การทดสอบค่าความชื้น เป็นวิธีการทดสอบหาค่าความชื้นที่เทียบกับน้ำหนักอบแห้งของแผ่นฉนวน ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 โดยมีค่าความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบหาค่าความชื้น ใช้ชิ้นงานทดสอบ ขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร และหนา 15 มิลลิเมตร ทำการทดสอบ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. นำชิ้นทดสอบ มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิทัล ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม ให้ได้มวลที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ

2. อบชื้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนได้มวลคงที่ คือ มวลของชื้นทดสอบ เมื่อชั่งครั้งที่เวลาห่างกัน 6 ชั่วโมง ต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1 % ของมวลของชื้นทดสอบ
3. นำชื้นทดสอบมาใส่ในเคชิกเคเตอร์แล้ว ปล่อยให้เย็น
4. ชั่งชื้นทดสอบ เป็นมวลของชื้นทดสอบหลังอบแห้ง
5. คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น ร้อยละ (MC\%)} = ((m_1 - m_2)/m_2) \times 100$$

เมื่อ m_1 คือ มวลของชื้นทดสอบก่อนอบ เป็น กรัม
 m_2 คือ มวลของชื้นทดสอบหลังอบแห้ง เป็น กรัม

1.3 การพองตัวตามความหนา (Swelling in water)

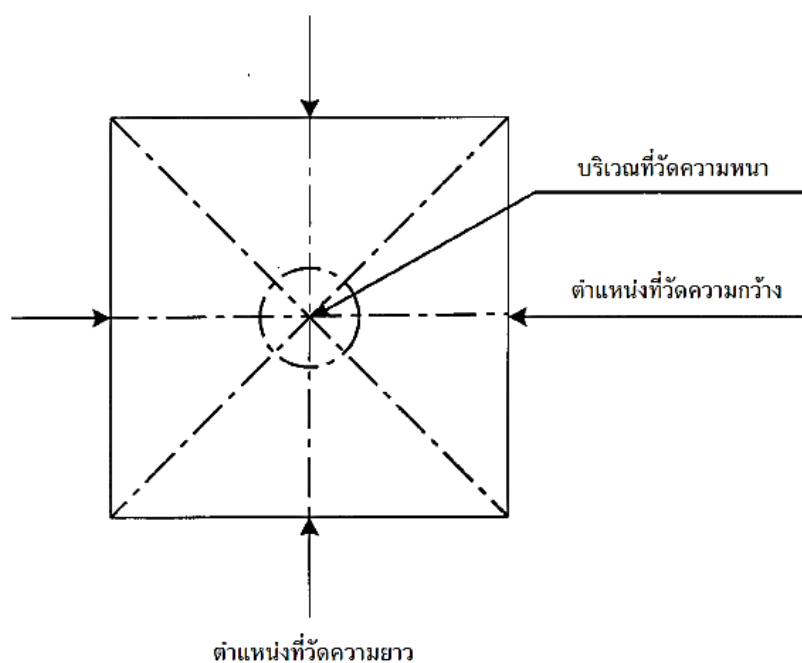
การทดสอบค่าการพองตัวตามความหนาเป็นวิธีการทดสอบค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 ก่อนทำการทดสอบให้นำชื้นทดสอบไปปรับภาวะที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ± 5 % จนน้ำหนักคงที่ คือ มวลของชื้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1 % แล้วทำการทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับสภาวะ ในการทดสอบหาค่าความชื้น ใช้ชิ้นงานทดสอบ ขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร และหนา 15 มิลลิเมตร ทำการทดสอบ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาตามภาพที่ 3-5 ใช้ไมโครมิเตอร์ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกันและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรถึง 20 มิลลิเมตร วัดความหนาของชื้นทดสอบเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ
2. แช่ชื้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส โดยตั้งชื้นทดสอบให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นต้องห่างจากกันและต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร
3. เมื่อแช่ชื้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมง แล้ว รีบนำชื้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยให้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ
4. ปล่อยให้ชื้นทดสอบไว้อีก 1 ชั่วโมง แล้วนำชื้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำ

5. นำผลความหนาที่วัดได้มาคำนวณหาค่าการพองตัวตามความหนา จากสูตร

$$\text{การพองตัวตามความหนา ร้อยละ (SW\%)} = ((t_2 - t_1)/t_1) \times 100$$

เมื่อ t_1 คือ ความหนาของชั้นทดสอบก่อนแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร
 t_2 คือ ความหนาของชั้นทดสอบหลังแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร



ภาพที่ 3-6 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชั้นทดสอบ (สำนักงาน มอก., 2547)



ภาพที่ 3-7 การทดสอบค่าการพองตัวตามความหนา

2. สมบัติเชิงกล

การทดสอบค่าความต้านแรงดึง (Tensile Strength) การทดสอบค่าความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น (Flexural Strength and Flexural Modulus)

การทดสอบค่าความต้านแรงดึง การทดสอบค่าความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น เป็นวิธีการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นฉนวน โดยทำการทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (LLOYD LR50K) การทดสอบค่าความต้านแรงดึง เป็นการวัดความเค้นสูงสุดที่แผ่นฉนวนสามารถรับได้ก่อนที่แผ่นฉนวนจะเกิดการขาดออกจากกัน และการทดสอบค่าความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น เป็นการวัดความทนต่อแรงดัดโค้ง ความสามารถของแผ่นฉนวนที่จะสามารถทนต่อแรงที่ทำให้แผ่นฉนวนโค้งงอ โดยไม่เกิดการแตกหรือเสียรูป ซึ่งใช้ความเร็วในการทดสอบ 5 มิลลิเมตร/นาที ระยะทดสอบ 50 มิลลิเมตร และ support span 60 มิลลิเมตร

3. สมบัติเชิงความร้อน

ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

การทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 177 โดยทำการทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำการทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนแบบคุมแผ่นให้ความร้อน ด้วยเครื่อง Thermal Conductivity Analyzer ให้อุณหภูมิ Hot Plate เท่ากับ 37.7 องศาเซลเซียส และให้อุณหภูมิ Cold Plate เท่ากับ 10.0 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายในห้องทดสอบขณะทำการทดสอบเท่ากับ 25.0-27.0 องศาเซลเซียส โดยใช้ชิ้นงานทดสอบ ขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร และหนา 15 มิลลิเมตร

ตอนที่ 3 การทดสอบการลามไฟและเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยไบโอดีเซลและน้ำยางธรรมชาติ แบบไม่เติมและเติมสารหน่วงไฟ

การทดสอบค่าการลามไฟ (Flammability)

การทดสอบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 635-98 โดยชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด กว้าง 13 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร และมีความหนาในช่วง 15 มิลลิเมตร ทำการทดสอบภายในห้องทดสอบ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 23-25 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ 50-55 เปอร์เซ็นต์ ใช้ก๊าซหุงต้ม (C_3H_8) เป็นเชื้อเพลิง จัดอุปกรณ์ชุดทดสอบการลามไฟ ดังภาพที่ 3-8 และจ่อเปลวไฟที่ปลาย

ชิ้นงานทดสอบเป็นเวลา 30 วินาที แล้วดึงเปลวไฟออก เริ่มทำการจับเวลาเปลวไฟลามชิ้นงานได้ 25 มิลลิเมตร ปล่อยให้เปลวไฟลามไปบนชิ้นงานตัวอย่างและหยุดทำการจับเวลาเมื่อเหลือชิ้นงานตัวอย่าง 25 มิลลิเมตร นับจากปลายอีกข้างหนึ่งของชิ้นงาน เมื่อได้เวลาที่ได้จากการทดสอบการลามไฟของชิ้นทดสอบแบบเดิมและไม่เติมสารหน่วงไฟแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกัน



ภาพที่ 3-8 อุปกรณ์ชุดทดสอบการลามไฟ

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตย ปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนและวัสดุชนิดอื่น ๆ

เพื่อการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและความเข้าใจในการนำแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตไปใช้ได้จริงอย่างเหมาะสม ทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติ ที่ผลิตได้ แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

1. การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น ๆ
2. การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์
3. การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติกับวัสดุที่เกี่ยวข้องกับฉนวนที่ผลิตได้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนฉนวนจากเส้นใยไบโอบีตาปะหนัน และน้ำยางธรรมชาติ การทดสอบการลามไฟและเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยไบโอบีตาปะหนันและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและเติมไม่สารหน่วงไฟ พร้อมการวิเคราะห์เพิ่มเติม โดยการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบโอบีตาปะหนันและน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น ๆ แผ่นฉนวนความร้อนที่มีขายในเชิงพาณิชย์ และวัสดุที่เกี่ยวข้อง มีผลดังนี้

ตอนที่ 1 กระบวนการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบโอบีตาปะหนัน และน้ำยางธรรมชาติ

1. การเตรียมเส้นใยไบโอบีตาปะหนัน

1.1 การสกัดเส้นใยจากไบโอบีตาปะหนันด้วยการสกัดเชิงกลและเชิงเคมี

จากภาพที่ 4-1 แสดงลักษณะไบโอบีตาปะหนัน ในขั้นตอนการเตรียมเส้นใยโดยการเอานามออกดังภาพที่ 4-1 (ก) และทำการลดขนาดไบโอบีตาปะหนันให้ถูกย่อยด้วยเครื่องย่อยจนแตกออกเป็นเส้นใยไปกับแถบใบเล็ก ๆ มีความยาวอยู่ในช่วง 1-4 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4-1 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-1 ลักษณะไบโอบีตาปะหนัน (ก) ไบโอบีตาปะหนันที่เอานามออกแล้ว (ข) เส้นใยไบโอบีตาปะหนันที่ถูกย่อยด้วยเครื่องย่อย



(ก)



(ข)

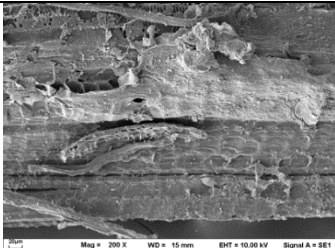
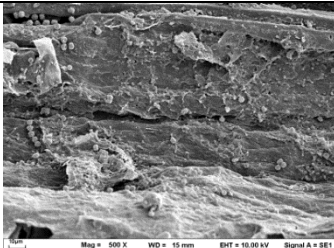
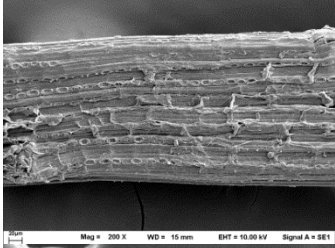
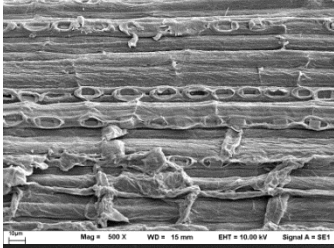
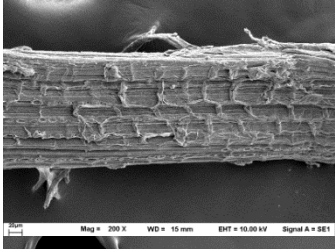
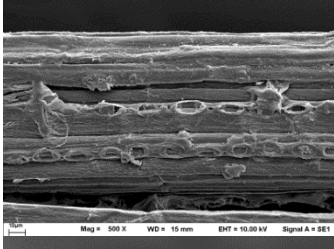
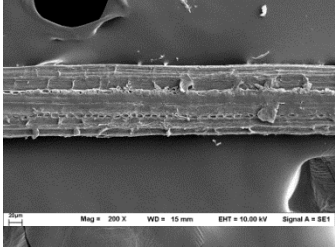
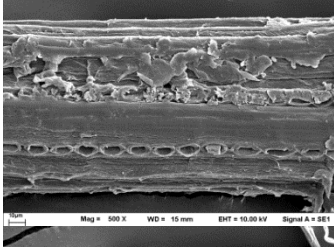
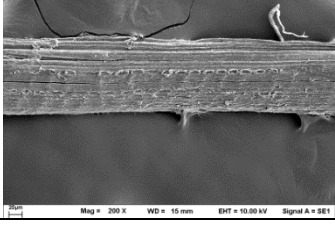
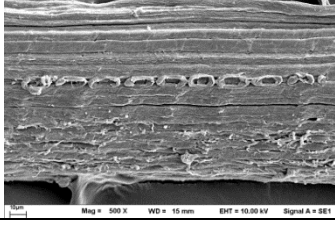
ภาพที่ 4-2 เส้นใยไบเตยปะหนั้น (ก) สกัดเชิงกลด้วยการร่อน (ข) สกัดเชิงเคมีด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

เมื่อได้เส้นใยไบเตยปะหนั้นที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยแล้ว แบ่งเส้นใยที่ได้จากการย่อยแล้วเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งนำมาร่อนในตะกร้าคัดเอาส่วนของไบเตยที่มีลักษณะเป็นเกล็ด แฉบหรือเป็นแผ่นไบเล็ก ๆ ทิ้ง ให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นเส้นใย ดังภาพที่ 4-2 (ก) แสดงลักษณะเส้นใยไบเตยปะหนั้นที่สกัดเชิงกลด้วยการร่อน เส้นใยที่ได้ มีสีน้ำตาลออกเทา เป็นเส้นใยเล็ก ยาวเรียว เบาและสะอาด ไม่เกาะตัวเป็นก้อน มีความยาวอยู่ในช่วง 1-4 เซนติเมตร และส่วนที่เหลือนำมาสกัดเชิงเคมี ดังภาพที่ 4-2 (ข) แสดงลักษณะเส้นใยไบเตยปะหนั้นที่สกัดเชิงเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (%wt) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เส้นใยที่ได้ มีสีน้ำตาลออกเหลือง เป็นเส้นใยเล็ก ยาวเรียว เบาและสะอาด เส้นใยบางส่วนเกาะตัวกันเล็กน้อย และบางส่วนที่ยังคงเป็นแฉบไบเล็ก ๆ แห้ง ๆ มีความยาวอยู่ในช่วง 1-3 เซนติเมตร

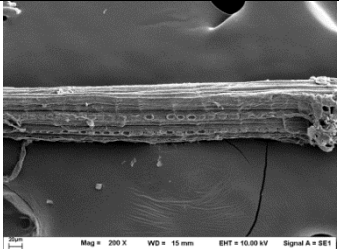
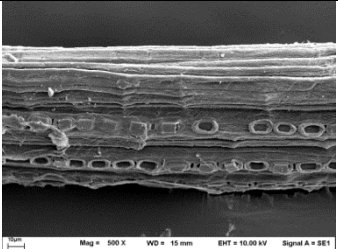
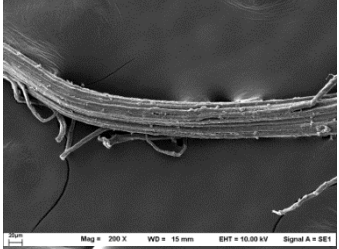
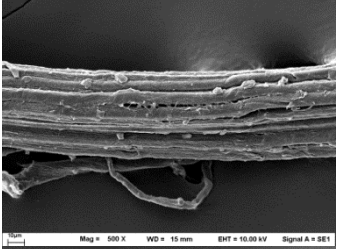
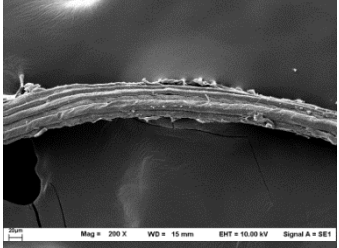
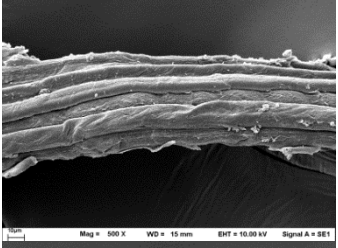
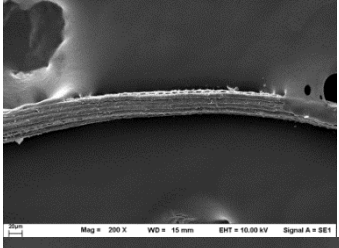
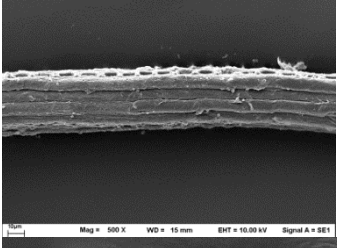
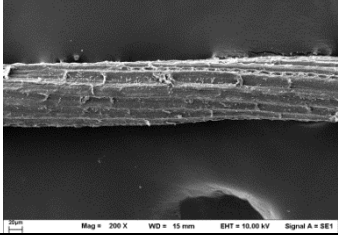
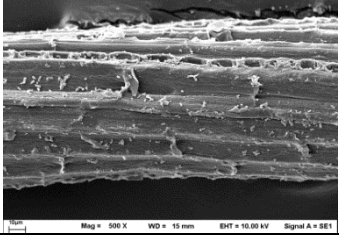
1.2 ลักษณะวิทยาบริเวณพื้นผิวของเส้นใยไบเตยปะหนั้น

จากตารางที่ 4-1 ลักษณะวิทยาบริเวณพื้นผิวของเส้นใยไบเตยปะหนั้นที่สกัดเชิงกล ที่สภาวะของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 0 นาที และลักษณะวิทยาบริเวณพื้นผิวของเส้นใยไบเตยปะหนั้นที่สกัดเชิงเคมีที่สภาวะของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5, 10, 15 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10, 20, 30 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า

ตารางที่ 4 -1 สัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของเส้นใยไบโอบีโตนที่สถานะของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาต่าง ๆ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า

สภาวะ		กำลังขยาย (เท่า)	
ความเข้มข้น (%wt)	เวลา (min)	200	500
0	0		
5	10		
5	20		
5	30		
10	10		

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

สภาวะ		กำลังขยาย (เท่า)	
ความเข้มข้น (%wt)	เวลา (min)	200	500
10	20		
10	30		
15	10		
15	20		
15	30		

2. กระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนโดยใช้วิธีฟั่นเคลือบประสาน

จากภาพที่ 4-3 แสดงแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ จากการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อน โดยนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่ได้จากการเตรียมเส้นใย ผ่านการฟั่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4-3 แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

ตอนที่ 2 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ และน้ำยางธรรมชาติ

1. สมบัติเชิงกายภาพ

1.1 ค่าความหนาแน่น

แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 144, 189 และ 218 kg/m³ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-2 ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูล ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1 นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า ที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามน้ำหนักของยางที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-2 ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนา (mm)	น้ำหนัก (kg)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
1 : 2	15.2	0.09	144
1 : 3	14.6	0.11	189
1 : 4	16.7	0.15	218

1.2 ค่าความชื้น

แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก มีค่าความชื้นเฉลี่ย 3.77% 3.34% และ 2.56% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-3 ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูล ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-2

ตารางที่ 4-3 ค่าความชื้นและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความชื้น (%)
1 : 2	144	3.77
1 : 3	189	3.34
1 : 4	218	2.56

จากตารางที่ 4-3 ตามมาตรฐาน (มอก. 876-2547) ค่าความชื้นเฉลี่ยในช่วง 4-13% ผลการทดสอบ พบว่า ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 โดยน้ำหนัก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลง

1.3 ค่าการพองตัวตามความหนา

แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ย 4.30%

3.62% และ 2.31% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-4 ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูล ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-3

ตารางที่ 4-4 ค่าการพองตัวตามความหนาและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโอบเตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m^3)	การพองตัวตามความหนา (%)
1 : 2	144	4.30
1 : 3	189	3.62
1 : 4	218	2.31

จากตารางที่ 4-4 ตามมาตรฐาน (มอก. 876-2547) ค่าการพองตัวตามความหนา ไม่เกิน 12% ผลการทดสอบ พบว่า ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ค่าการพองตัวตามความหนามีแนวโน้มลดลง

2. สมบัติเชิงกล

2.1 ค่าความต้านแรงดึง

แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโอบเตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ย 0.18 MPa 0.29 MPa และ 0.35 MPa ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-5 ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูล ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-4 แสดงให้เห็นว่า ที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-5 ค่าความต้านแรงดึงและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโอบเตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความต้านแรงดึง (MPa)
1 : 2	144	0.18
1 : 3	189	0.29
1 : 4	218	0.35

2.2 ค่าความต้านแรงคัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงคัดเฉลี่ย 2.14 MPa 2.22 MPa และ 2.53 MPa มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 35.08 MPa 41.83 MPa และ 41.80 MPa ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-6 ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูล ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-5 แสดงให้เห็นว่า ที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความต้านแรงคัดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-6 ค่าความต้านแรงคัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความต้านแรงคัด (MPa)	มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)
1 : 2	144	2.14	35.08
1 : 3	189	2.22	41.83
1 : 4	218	2.53	41.80

3. สมบัติเชิงความร้อน

ค่าการนำความร้อน

จากการทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C 177 โดยทำการทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า ฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ มีค่าการนำความร้อนต่ำ อยู่ในช่วง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ดังตารางที่ 4-7

พิจารณาในอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 โดยน้ำหนัก ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ จากการเตรียมเส้นใยด้วยการสกัดเชิงกล เท่ากับ 0.039-0.044 W/m.K ความหนาแน่น 139-149 kg/m³ และการสกัดเชิงเคมี เท่ากับ 0.059-0.060 W/m.K ความหนาแน่น 179-218 kg/m³ แสดงให้เห็นว่า แผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ จากการเตรียมเส้นใยด้วยการสกัดเชิงกล มี

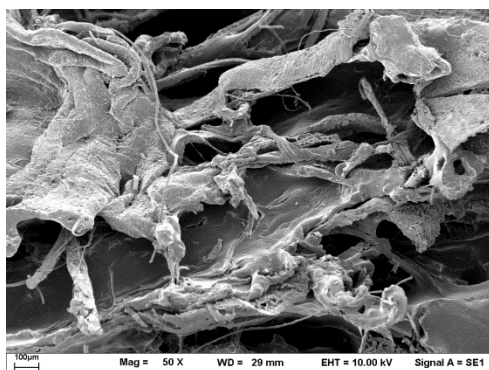
ค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นต่ำกว่าแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ จากการเตรียมเส้นใยด้วยการสกัดเชิงเคมี

ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ ที่ผลิตได้จากการเตรียมเส้นใยเชิงกลที่มีความหนาแน่นต่างกัน ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก พบว่า แผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 ความหนาแน่น 139-149 kg/m³ มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.039-0.044 W/m.K และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยางเป็น 1:3 และ 1:4 จะเห็นได้ว่า ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าการนำความร้อน ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยางเป็น 1:3 มีค่าใกล้เคียง อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยางเป็น 1:2 แต่ค่าการนำความร้อนเริ่มมีแนวโน้มลดลงที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยางเป็น 1:4

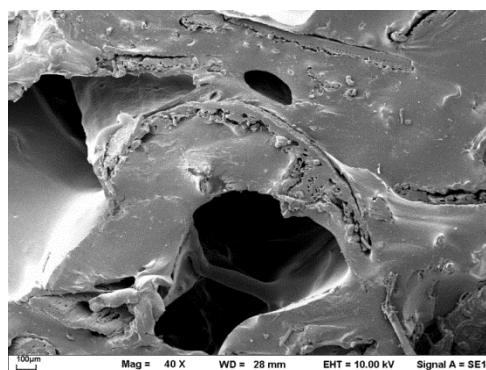
ตารางที่ 4-7 ค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

การสกัดเส้นใย	อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	การนำความร้อน (W/m.K)
เชิงเคมี	1 : 2	179	0.060
		218	0.059
	1 : 3	139	0.044
		143	0.039
		149	0.041
		194	0.043
เชิงกล	1 : 3	185	0.046
		187	0.045
	1 : 4	220	0.040
		207	0.040
		227	0.035

จากภาพที่ 4-4 (ก-ข) โครงสร้างภายในฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอทิลีนและน้ำยางธรรมชาติ โดยกระบวนการขึ้นรูปแบบแผ่นประสาน แสดงลักษณะช่องอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยที่เคลือบด้วยตัวประสาน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตได้



(ก)



(ข)

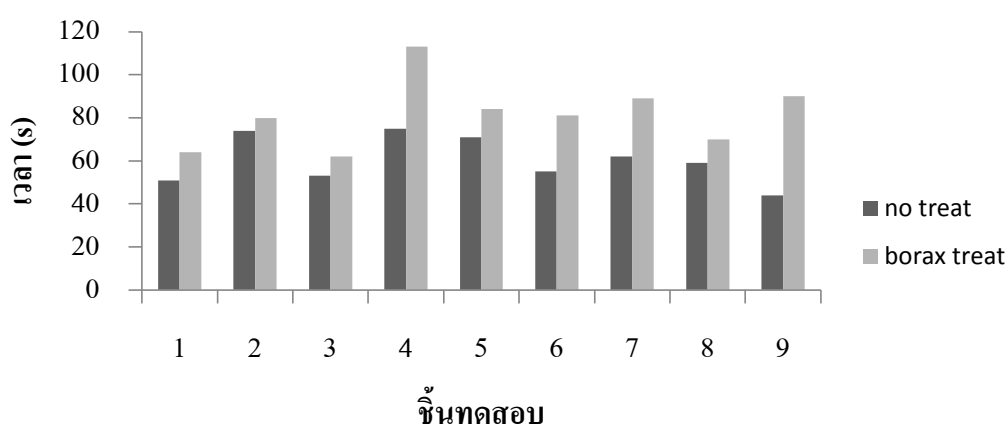
ภาพที่ 4-4 สัณฐานวิทยาโครงสร้างภายในแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอทิลีนและน้ำยางธรรมชาติ (ก) สกัคเซ็งกล (ข) สกัคเซ็งเคมี

ตอนที่ 3 การทดสอบและเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอทิลีนและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ

จากตารางที่ 4-8 เปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอทิลีนและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบ พบว่า แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอทิลีนและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมสารหน่วงไฟที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง ทั้งสามอัตราส่วน ใช้เวลาเฉลี่ยในการเผาไหม้มากกว่าซึ่งหมายถึงมีค่าการลามไฟต่ำกว่าแบบไม่เติมสารหน่วงไฟ ดังภาพที่ 4-5 ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูล ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-6 นำมาคำนวณค่าเฉลี่ยและสร้างกราฟ

ตารางที่ 4-8 การเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตน
ปะหนันและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	เวลา (s)	
		ไม่เติมสารหน่วงไฟ	เติมสารหน่วงไฟ
1 : 2	144	59.33	68.67
1 : 3	189	67.00	92.67
1 : 4	218	55.00	83.00



ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตนปะหนัน
และน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตน
ปะหนันและน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนและวัสดุชนิดอื่น ๆ

1. การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตน
ปะหนันและน้ำยางธรรมชาติ กับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น ๆ

เมื่อนำแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนปะหนันและน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้
เปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น ๆ พบว่า มีค่าการนำความร้อนที่
ใกล้เคียงกัน ที่ความหนาแน่นต่างกัน ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใยเตยปะหนั้น
และน้ำยางธรรมชาติ กับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น ๆ

แผ่นฉนวนความร้อน	ความหนาแน่น (kg/m ³)	การนำความร้อน (W/m.K)	ที่มา
เส้นใยใยเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติ	139-227	0.0350-0.0600	งานวิจัย
เส้นใยผักตบชวาและน้ำยางธรรมชาติ	465-646	0.0246-0.0305	Jaktorn and Jijajitsawat (2014)
เปลือกทุเรียนและน้ำยางธรรมชาติ	143	0.0260	Jintakosol and Kumfu (2012)
เส้นใยต้นกกช้าง	200-400	0.0438-0.0606	Luamkanchanaphan et al. (2012)

2. การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใยเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติ กับแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์

เมื่อนำแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใยเตยปะหนั้นและน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์ พบว่า มีค่าการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยใยเบเตย
ปะหนันและน้ำยางธรรมชาติ กับแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์

แผ่นฉนวนความร้อน	ความหนาแน่น (kg/m ³)	การนำความร้อน (W/m.K)	ที่มา
เส้นใยเบเตยปะหนันและน้ำยางธรรมชาติ	139-227	0.035-0.060	งานวิจัย
ใยแก้ว	100	0.036	สุนันท์ ศรีณยนิตย์ (2545)
ไฟเบอร์ของไม้	200	0.047	สุนันท์ ศรีณยนิตย์ (2545)
ไฟเบอร์กลาส	105	0.036	Incropera and Dewitt (2002)
เซลลูลาร์กลาส	145	0.058	Incropera and Dewitt (2002)
โพน โพลิสไตรีน (แบบแข็ง)	56	0.027	Incropera and Dewitt (2002)
โพนยูรีเทน	70	0.026	Incropera and Dewitt (2002)

3. การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเบเตย ปะหนันและน้ำยางธรรมชาติ กับวัสดุที่เกี่ยวข้องกับฉนวนที่ผลิตได้

จากตารางที่ 4-11 ด้วย แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ ผลิตจากเส้นใยของพืชและยางธรรมชาติ และเมื่อทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นแผ่นฉนวน ลักษณะโครงสร้างภายในเป็นโพรงอากาศเล็ก ๆ ในส่วนนี้จึงนำแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเบเตยปะหนันและน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้ มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.035-0.060 W/m.K เปรียบเทียบกับวัสดุที่เกี่ยวข้อง คือ ยาง(แข็ง) ไม้อัด ไม้(โอ๊ก) และอากาศ มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.160 W/m.K 0.109 W/m.K 0.170 W/m.K และ 0.026 W/m.K ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ไม้อัด ไม้(โอ๊ก) และยาง มีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกัน และแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเบเตยปะหนันและน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้ ซึ่งผลิตจากเส้นใยพืชและยาง ค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วงระหว่างค่าการนำความร้อนของไม้ ยาง และอากาศ มีค่าการนำความร้อนมากกว่าอากาศแต่น้อยกว่ากลุ่มไม้และยาง

ตารางที่ 4-11 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ปะหนันและน้ำยางธรรมชาติ กับวัสดุที่เกี่ยวข้องกับฉนวนที่ผลิตได้

ลักษณะฉนวน	ความหนาแน่น (kg/m ³)	การนำความร้อน (W/m.K)	ที่มา
แผ่นฉนวนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ปะหนันและน้ำยางธรรมชาติ	139-227	0.035-0.060	งานวิจัย
ยาง (แข็ง)	1190	0.160	Incropera and Dewitt (2002)
ไม้อัด	590	0.109	สุนันท์ ศรีณนิตย์ (2545)
ไม้ (โอ๊ก)	704	0.170	Hagen (1999)
อากาศ	1	0.026	Cengel (2003)

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนฉนวนจากเส้นใยไบโอดีเซล และน้ำยางธรรมชาติ การลวกไฟและเปรียบเทียบค่าการลวกไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจาก เส้นใยไบโอดีเซลและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ พร้อมการวิเคราะห์ เพิ่มเติม โดยการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบโอดีเซลและ น้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น ๆ แผ่นฉนวนความร้อนที่มี ขยายในเชิงพาณิชย์ และวัสดุที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

อภิปรายผล

ตอนที่ 1 กระบวนการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบโอดีเซลและน้ำยาง ธรรมชาติ

การเตรียมเส้นใยไบโอดีเซล

การเตรียมเส้นใยไบโอดีเซลด้วยการสกัดเชิงกลและเชิงเคมี พบว่า ลักษณะเส้นใย ไบโอดีเซลที่สกัดเชิงกลด้วยการร่อน เส้นใยที่ได้ มีสีน้ำตาลออกเทา เป็นเส้นใยเล็ก ยาวเรียว เบา และสะอาด ไม่เกาะตัวเป็นก้อน มีความยาวอยู่ในช่วง 1-4 เซนติเมตรลักษณะเส้นใยไบโอดีเซล ที่สกัดเชิงเคมีด้วยสารเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดย น้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เส้นใยที่ได้ มีสีน้ำตาลออกเหลือง เป็นเส้น ใยเล็ก ยาวเรียว เบาและสะอาด เส้นใยบางส่วนเกาะตัวกันเล็กน้อย และบางส่วนที่ยังคงเป็นแถบใย เล็กๆ แฉงๆ มีความยาวอยู่ในช่วง 1-3 เซนติเมตร

พิจารณาการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็น เวลา 10, 20 และ 30 นาที สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาช้า เส้นใยไบโอดีเซลยังมี ลักษณะเป็นชิ้นที่แข็ง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 และ 20 นาที สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาเร็วขึ้น เส้นใยที่ได้เริ่มมีความอ่อนตัวจากเดิมแต่ยังมีบางส่วนที่แข็ง และที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที เส้นใยที่ได้มีความนุ่ม ละเอียดมาก จนเป็นเส้นหยิกและเกาะตัวเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในการขึ้นรูป เนื่องจาก

น้ำยางในรูปตัวประสานไม่สามารถเคลือบบนผิวของเส้นใยได้ทั่วถึง ในขณะที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที เส้นใยที่ได้เริ่มมีความอ่อนตัวจากเดิม อ่อนนุ่มเป็นเส้นเรียวยาว มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) ที่มากขึ้น จึงเลือกเส้นใยในสถานะนี้ จากการสกัดเชิงเคมีเพื่อเตรียมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนแบบพ่นเคลือบประสาน

แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า การสกัดเส้นใยใบเตยปะหนันด้วยการสกัดเชิงเคมี โดยใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำสุดถึงสูงสุดและเวลาดำสุดถึงสูงสุด คือ ร้อยละ 5, 10, 15 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที พบว่าขนาดเส้นใยที่ได้มีความยาวลดลง เส้นใยมีขนาด เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของสารเคมีและความร้อน ทำให้เกิดสลายตัวของเส้นใยบางส่วน และจากทุกสถานะจากการสกัดเชิงเคมี สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถสกัดเส้นใยให้ สะอาด นุ่ม เฉพาะส่วนที่แตกออกเป็นเส้นใย เท่านั้น ในส่วนที่เป็นใบชิ้นเล็กๆ ยังคงมีลักษณะแถบหรือเป็น ชิ้นแข็งที่แข็ง แต่ไม่แตกออกเป็นเส้นใย จึงต้องนำมาคัดเลือกส่วนนี้ทิ้งบางส่วนก่อนที่จะนำไปขึ้นรูป

พิจารณาฐานฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของเส้นใยใบเตยปะหนันที่สกัดเชิงกลและสกัดเชิงเคมี ที่สถานะของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5, 10, 15 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10, 20, 30 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า แสดงลักษณะ พื้นผิวของของเส้นใย ด้วยการสกัดเชิงเคมี ลิกนินถูกละลายออกโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง และเป็นร่องตามแนวยาวมากขึ้น แปรผันโดยตรงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเส้นใย แต่อย่างไรก็ตาม จาก ฐานฐานวิทยาในทุกสถานะของการสกัดเชิงกลและการสกัดเชิงเคมี แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใย ในมีลักษณะหยาบขรุขระ ตามโครงสร้างพื้นผิวเส้นใยใบเตยปะหนัน ที่มีลักษณะเป็นรู เป็นช่อง ๆ ตามแนวยาวของเส้นใย ซึ่งส่งผลที่ดีในการเกาะเกี่ยวกันทางกลของเส้นใยกับตัวประสานในการขึ้นรูปแผ่นฉนวน และส่งผลดีโดยรวมต่อสมบัติความเป็นฉนวนความร้อน ช่องเล็ก ๆ ตามแนวยาวของเส้นใย สามารถเป็นที่อยู่ของอากาศ ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำ

การขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อน

การขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อน โดยนำเส้นใยใบเตยปะหนันที่ได้จากการเตรียมเส้นใย ผ่านการพ่นเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก พบว่า น้ำหนักของแผ่นฉนวนความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น และแผ่นฉนวนความร้อนทั้งสามอัตราส่วนมีลักษณะคล้ายกัน สามารถขึ้นรูปได้ มีการเกาะเกี่ยวกันได้ดี มีความยืดหยุ่นและตัดโค้งงอได้ แต่การพ่นเคลือบประสานของแผ่นฉนวนความร้อน

ด้วยเส้นใยที่สกัดเชิงกลจะทำได้ดีกว่า เนื่องจากเส้นใยที่ได้ไม่เกาะกลุ่มเป็นก้อน มีความเป็นอิสระต่อกันมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ได้จากการสกัดเชิงเคมี ทำให้ปั่นเคลือบน้ำยางลงบนเส้นใยได้อย่างทั่วถึงและกระจายได้ดีกว่า

ตอนที่ 2 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของ ฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบเตยปะหนั้น และน้ำยางธรรมชาติ

การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

จากการทดสอบค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และ ค่าการพองตัวตามความหนา พบว่า

1. อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามน้ำหนักของยางที่เพิ่มขึ้น

2. อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลง ด้วยปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น น้ำยางจะถูกปั่นเคลือบประสานลงบนพื้นผิวของเส้นใยได้มากขึ้น เป็นการลดอัตราการสัมผัสโดยตรงของพื้นผิวเส้นใยกับอากาศภายนอกที่มีไอน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดความชื้นภายในฉนวนได้ ด้วยการเคลือบประสานของน้ำยางทำให้เส้นใยรับปริมาณไอน้ำจากอากาศภายนอกลดลง เนื่องจากการรับไอน้ำหรือความชื้นผ่านทางที่เคลือบอยู่ ซึ่งยังมีคุณสมบัติของความชื้นน้อยกว่าเส้นใยและด้วยสภาพความเป็นโพรงอากาศเล็กๆ ที่มีขนาดอย่างพอเหมาะกระจายอยู่ในช่องว่างของการประสานของเส้นใยภายในฉนวน ในลักษณะเป็นโพรงอากาศที่มีโครงสร้างแบบเซลล์ปิด เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นขนาดโพรงอากาศเล็กกลงไอน้ำจากอากาศภายนอกซึมเข้าสู่บริเวณภายในฉนวนได้น้อยลง ความชื้นของแผ่นฉนวนที่ผลิตได้จึงลดลง

3. อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ค่าการพองตัวตามความหนามีแนวโน้มลดลง ด้วยความหนาแน่นของฉนวนความร้อนที่ผลิตได้แปรผกผันกับความพรุน ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นฉนวนความร้อนมีความพรุนน้อยลง และด้วยความพรุนที่น้อยลง ทำให้ความสามารถในการยอมให้น้ำไหลผ่านฉนวนความร้อนได้น้อยลง ซึ่งส่งผลทำให้การพองตัวตามความหนาลดลงด้วย นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับค่าความพรุนแล้ว ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นยังมีผลต่อขนาดของช่องว่างและความต่อเนื่องระหว่างช่องว่างด้วย ขนาดของช่องว่างที่เล็กมากและระบบโครงสร้างของฉนวนแบบเซลล์ปิด ทำให้น้ำเคลื่อนที่เข้าสู่ฉนวนได้น้อยลง ดังนั้นการพองตัวตามความหนาจึงลดลง

การทดสอบสมบัติเชิงกล

จากการทดสอบค่าความต้านแรงดึง ความต้านแรงดัดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่น พบว่า

1. อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ด้วยปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยเกาะติดเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นใยและน้ำยางได้แข็งแรงมากขึ้น และด้วยขนาดของช่องว่างที่เล็กลง เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผลที่ดีต่อคุณสมบัติเชิงกล ทำให้แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ทนแรงดึงได้ดี

2. อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความต้านแรงดัดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ด้วยปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยเกาะติดเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นใยและน้ำยางได้แข็งแรงมากขึ้น และด้วยขนาดของช่องว่างที่เล็กลง เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความพรุนลดลง ส่งผลที่ดีต่อคุณสมบัติเชิงกล ทำให้แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ทนความต้านแรงดัดและมีความยืดหยุ่นดีขึ้น

การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

จากการทดสอบค่าการนำความร้อน พบว่า ฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยไบเตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ มีค่าการนำความร้อนต่ำ อยู่ในช่วง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

พิจารณาในอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 โดยน้ำหนัก แผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบเตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ จากการเตรียมเส้นใยด้วยการสกัดเชิงกล มีค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นต่ำกว่าแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบเตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ จากการเตรียมเส้นใยด้วยการสกัดเชิงเคมี และพิจารณาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยไบเตยปะหนัสน้ำยางธรรมชาติ ที่ผลิตได้จากการเตรียมเส้นใยเชิงกลที่มีความหนาแน่นต่างกัน พบว่า ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าการนำความร้อนที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยางเป็น 1:3 มีค่าใกล้เคียง อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยางเป็น 1:2 แต่ค่าการนำความร้อนเริ่มมีแนวโน้มลดลงที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยางเป็น 1:4

ด้วยปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น มีปริมาณมากพอที่จะเชื่อมเส้นใยติดกันจนเกิดโพรงอากาศเล็กๆ ที่มีขนาดอย่างพอเหมาะกระจายอยู่ในช่องว่างของการประสานของเส้นใยภายในฉนวน ในลักษณะเป็นโพรงอากาศที่มีโครงสร้างแบบเซลล์ปิด ซึ่งส่งผลดีโดยรวมต่อสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ เนื่องจากอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี โพรงอากาศระหว่างเส้นใยเป็นตัวกักเก็บความร้อน และทำให้พลังงานความร้อนสูญเสีย เป็นสาเหตุการลดลงของการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนความร้อนที่ผลิตได้

ศึกษาฐานวิทยาศาสตร์โครงสร้างภายในฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ โดยกระบวนการขึ้นรูปแบบพ่นประสาน พบว่า มีช่องอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยที่เคลือบด้วยตัวประสาน ซึ่งส่งผลดีต่อคุณสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตได้ ความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนที่บรรจุเต็ม ไปด้วยช่องอากาศหรือก๊าซจากการพ่นตัวขึ้นตามสภาพเส้นใย หรือเซลล์ของวัสดุฉนวน จะมีอัตราการไหลที่ช้าลง โดยช่องอากาศหรือก๊าซเหล่านี้ หากมีขนาดเล็กรวมกันพอเหมาะจะทำให้การถ่ายเทความร้อนการพาจากด้านหนึ่งของเซลล์สู่อีกด้านหนึ่งมีปริมาณน้อยลง และด้วยเส้นทางการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านส่วนที่เป็นของแข็งเป็นเส้นทางที่ยาวและคดเคี้ยวทำให้จำกัดการนำความร้อน หากแต่เมื่อเส้นใยชิดกันเข้ามา ความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้การแผ่รังสีลดลง และการพาความร้อนลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องอากาศภายในฉนวนหยุดการเคลื่อนที่เมื่อเส้นใยชิดกันมาก คงเหลือแต่การนำความร้อนเท่านั้น (ตระการ ก้าวกลีกรรม, 2537)

ตอนที่ 3 การทดสอบการลามไฟและเปรียบเทียบค่าการลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมและไม่เติมสารหน่วงไฟ

จากการทดสอบการลามไฟ พบว่า แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมสารหน่วงไฟที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง ทั้งสามอัตราส่วน ใช้เวลาเฉลี่ยในการเผาไหม้มากกว่าซึ่งหมายถึงมีค่าการลามไฟต่ำกว่าแบบไม่เติมสารหน่วงไฟ เนื่องจากการเผาไหม้ บอแรกซ์ที่เคลือบเส้นใย จะเกิดปฏิกิริยาก่อตัวของสารโบรอนเป็นผิวเคลือบ สามารถยังยั้งการถ่ายเทมวลสารของอากาศ ทำให้สามารถลดการแพร่กระจายของเปลวไฟได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาแผ่นฉนวนความร้อนให้มีค่าการลามไฟที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การใช้งานได้

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนและวัสดุชนิดอื่น ๆ

จากการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นฉนวนความร้อนและวัสดุชนิดอื่น ๆ พบว่า

1. นำแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น ๆ พบว่า มีค่าการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ที่ความหนาแน่นต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ชนิดของเส้นใย ตัวเชื่อมประสาน อัตราส่วนเส้นใยต่อตัวเชื่อมประสาน วิธีการขึ้นรูป และปัจจัยอื่น ๆ ทั้งหมดส่งผลต่อค่าการนำความร้อนที่

ผลิตได้ ทั้งนี้ การออกแบบการผลิตฉนวนความร้อนที่ดีขึ้นอยู่กับการผลิตฉนวนความร้อนที่มีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

2. นำแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์ เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้จริง แสดงให้เห็นว่า แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ มีค่าการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกันกับแผ่นฉนวนความร้อนที่มีขายในเชิงพาณิชย์ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนเพื่อทดแทนฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อสุขภาพของคนงานที่ผลิต และมีผลต่อผู้บริโภค ในขณะที่ติดตั้งและนำมาใช้งาน เช่น ฉนวนใยแก้ว มีค่าการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกับฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติ แต่ข้อเสียของฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลส คือ ติดไฟได้ง่าย ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิปานกลาง และไม่ทนต่อความชื้น อย่างไรก็ตาม การวิจัยพัฒนาขั้นสูง เพื่อปรับปรุง คุณสมบัติเชิงกล และกายภาพของผลิตภัณฑ์ฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลส ให้เหมาะสมกับการใช้งาน เป็นสิ่งที่ควรได้รับการพัฒนา ต่อไป

3. นำแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับวัสดุที่เกี่ยวข้อง คือ ยาง(แข็ง) ไม้อัด ไม้(ไอล์ก) และอากาศ แสดงให้เห็นว่า ไม้อัด ไม้(ไอล์ก) กับและยาง มีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกัน และแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้ ซึ่งผลิตจากเส้นใยพืชและยาง ค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วงระหว่างค่าการนำความร้อนของไม้ ยาง และ อากาศ มีค่าการนำความร้อนมากกว่าอากาศ แต่น้อยกว่ากลุ่มไม้และยาง ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับอากาศมากกว่า ดังนั้น อากาศที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูประหว่างเส้นใยกับยาง จึงมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติที่ผลิตได้

สรุปผลการวิจัย

1. การเตรียมเส้นใยโบริเตนด้วยวิธีการสกัดเชิงกล ด้วยการร่อน เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเส้นใยจากโบริเตน เป็นการประหยัดพลังงาน สามารถลดความเสี่ยงอันตรายของผู้ผลิตและไม่ปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม

2. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนโดยวิธีการพ่นเคลือบประสาน เพื่อให้มีน้ำยางที่มีความหนืดและเวลาในการคงรูปอย่างที่เหมาะสม นำน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมีสูตรสำเร็จของ วราภรณ์ ขจรไชยกุล และวิภา เศรษฐกนิษฐ์ (2538) และแก้ไขเพิ่มเติมจาก บุญธรรม นิธิอุทัย (2532)

3. การขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อน โดยนำเส้นใยโบริเตนที่ได้ออกจากการเตรียมเส้นใย ด้วยการสกัดเชิงกลและเชิงเคมี ผ่านการพันเคลือบประสานด้วยน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำยาง 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก พบว่า น้ำหนักของแผ่นฉนวนความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น และแผ่นฉนวนความร้อนทั้งสามอัตราส่วนมีลักษณะคล้ายกัน สามารถขึ้นรูปได้ มีการเกาะเกี่ยวกันได้ดี มีความยืดหยุ่นและตัดโค้งงอได้

4. การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ คือ การทดสอบค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และ ค่าการพองตัวตามความหนา ผลการทดสอบสรุปได้ว่า

4.1 อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4.2 อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลง

4.3 อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นมากขึ้น ค่าการพองตัวตามความหนามีแนวโน้มลดลง

5. การทดสอบสมบัติเชิงกล คือ การทดสอบค่าความต้านแรงดึง ความต้านแรงตัดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ผลการทดสอบสรุปได้ว่า

5.1 อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.2 อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นมากขึ้น ค่าความต้านแรงตัดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

6. การทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติ มีค่าการนำความร้อน $0.035-0.060 \text{ W/m.K}$ ที่ความหนาแน่น $139-227 \text{ kg/m}^3$

7. แผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติ จากการเตรียมเส้นใยด้วยการสกัดเชิงกล มีค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นต่ำกว่าแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติ จากการเตรียมเส้นใยด้วยการสกัดเชิงเคมี

8. การลามไฟของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติ แบบเติมสารหน่วงไฟ ใช้เวลาเฉลี่ยในการเผาไหม้มากกว่าซึ่งหมายถึงมีค่าการลามไฟต่ำกว่าแบบไม่เติมสารหน่วงไฟ

9. ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนและน้ำยางธรรมชาติมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น ๆ แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะ

1. การตัดชิ้นงานทดสอบแผ่นฉนวนความร้อนที่เส้นใยโบริเตนปะหนัสน้ำยางธรรมชาติแบบอัดแผ่นอย่างหลวม เพื่อการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ นั้นทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากการทำลายโครงสร้างความเป็นฉนวนแบบเซลล์ปิด ดังนั้น ควรออกแบบขนาดของภาชนะในการขึ้นรูปเพื่อการทดสอบค่าต่าง ๆ โดยเฉพาะ ไม่ควรขึ้นรูปแผ่นฉนวนขนาดใหญ่แล้วนำมาตัดชิ้นงานเล็ก ๆ
2. การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยโบริเตนปะหนัสน้ำยาง ควรออกแบบให้มีค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันหลายๆค่า เพียงพอที่จะศึกษาโครงสร้างโพรงอากาศที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติความเป็นฉนวนความร้อน
3. แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโบริเตนปะหนัสน้ำยางธรรมชาติได้ มีค่าการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกันกับแผ่นฉนวนความร้อนที่มีขายในเชิงพาณิชย์ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยโบริเตนปะหนัสน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนเพื่อทดแทนฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ แต่ต้องได้รับการพัฒนา คุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ในระดับสูง เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน

บรรณานุกรม

- กนกวรรณ มะสุวรรณ และภูษิต เลิศวัฒนาภักษ์ (2556). การพัฒนาแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติเพื่อประสิทธิภาพในการกันเสียง. ใน *โครงการประชุมวิชาการ ประจำปี 2556 "Built Environment Research Associates Associates Conference, BERAC 4" 2013* (หน้า 44-49). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- กนกอร หั่นเจริญ. (2556). *การวัดค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยสับปรดด้วยวิธีการสอบกลับทางตรง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชามาตรวิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรรณิการ์ กัญจนกาญจน์. (2555). *การผลิตเส้นใยธรรมชาติจากกาบไผ่*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2538). *รูปแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมไทย*. กรุงเทพฯ: มูลนิธิช่างหัตถศิลป์ไทย.
- กิตติศักดิ์ บัวศรี. (2544). *การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จักรรินทร์ พิสุตรเสียง. (2548). *ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของฉนวนใยยางพารา*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฉันทนา เล็กใจเชื้อ. (2558). *การออกแบบและสร้างชุดสาธิตเพื่อหาสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อน*. งานนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- จิตติวัลค์ เลื่อมกาญจนพันธ์. (2555). *การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกชช้าง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ตระการ ก้าวกลีกรรม. (2537). *คู่มือฉนวนความร้อน*. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- ทะนง บุญมีมาพาสุข. (2549). *การผลิตฉนวนความร้อนหน่วงไฟจากเส้นใยผักตบชวาและน้ำยางธรรมชาติ*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมปลอดภัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ทรงเกียรติ สนวนแก้ว. (2554). *การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์กับน้ำยาล้างจาน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.
- ทัศนีย์ ทองก้านเหลือง. (2548). *การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นปรกติเกิดจากทะเลสาบปรุมน้ำมัน*. รายงานการวิจัย วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.
- ชนัญชัย ปทุมวรกิจ. (2548). *การพัฒนาฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ชนัญชัย ปทุมวรกิจ, พันธดา พุฒิปาโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, และพรรณจิรา ทิศาวิภาต. (2549). ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 4, 3-13.
- บุญธรรม นิธิอุทัย (2532). *คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง*. ปัตตานี: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บริษัท ริจิดโฟม อินชูลเซชั่น จำกัด. (2553). *ความหมายของฉนวนกันความร้อน*. เข้าถึงได้จาก <http://www.rf-foam.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538764890>
- ปิตินันต์ ตรีวงศ์. (2554). การประยุกต์ใช้แผ่นใยไม้อัดเป็นฝ้าเพดานเพื่อกันความร้อน. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 8(1), 32-45.
- ประยูร สุรินทร์. (2544). *การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปลื้มจิตต์ เตชธรรมรักษ์, อำนวย ลากเกษมสุข และขวัญชัย จ้อยเจริญ. (2550). การประยุกต์ใช้กากกล้วยเป็นฉนวนความร้อนสำหรับบรรจุภัณฑ์รักษาอุณหภูมิของอาคาร. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชภัฏบุรีรัมย์*, 10, 5-9.
- พิตส์ อาร์ โดแนลด์. (2539). *ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์ การถ่ายเทความร้อน* (ชนาคม สุนทรชัย นาคแสง, แปล). กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์ อิงค์.
- ผ่องศรี ศิวราศักดิ์. (2554). *การถ่ายโอนความร้อน*. กรุงเทพฯ: ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.

- เมทินี ชัดสี. (2554). *การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยแก้วกันรูปและน้ำยางธรรมชาติ*.
 วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อม,
 คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิษฐ์.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ์. (2538). *เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร เรื่อง
 ผลิตภัณฑ์จากยางพารา*. กรุงเทพฯ: ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ
 เกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. (2554). *ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี (Rubber Product:
 Manufacturing & Technology)*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
 (สกว.).
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. (2555). *เทคโนโลยีน้ำยาง (Latex Technology)*. กรุงเทพฯ: สำนักงาน
 กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. (2543). *วิทยาศาสตร์เส้นใย*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิศิษฐ์ โล้เจริญรัตน์. (2549). การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยฟางข้าวและน้ำยางธรรมชาติ.
วารสารวิศวกรรมสารมก, 19(57), 32-45.
- ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (2559). *อุณหภูมิของโลก ปีพ.ศ. 2558 (ค.ศ.2015)*.
 เข้าถึงได้จาก [www.tmd.go.th/.../%5Cuploads%5Cweatherclimate%5C
 Global%20Temp](http://www.tmd.go.th/.../%5Cuploads%5Cweatherclimate%5C

 Global%20Temp)
- สมเจตน์ พัชรพันธ์, พัฒนะ รักความสุข, นุชนาฏ ณ ระนอง, ศกุนตี สมบูรณ์วิทย์ และรุ่งอรุณ
 ประเสริฐศักดิ์. (2550). การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยาง
 ธรรมชาติ. *วารสารวิศวกรรมสารมก*, 20(61), 87-94.
- สุดินัย ยามศรีสุข. (2554). *ทำการศึกษาระสิทธิภาพในการใช้หญ้าสตาบหลวงเป็นฉนวนกันความ
 ร้อนเข้าสู่อาคาร*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชา
 สถาปัตยกรรม, คณะสถาปัตยกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สุปราณี แก้วภิมย์ และศิริเดช บุญแสง. (2557). *คอมโพสิตส์รักษ์สิ่งแวดล้อมจากพอลิแลคติกแอซิด
 และเส้นใยสับปะรด*. รายงานการวิจัย, สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัย
 บูรพา.
- สุรพล จันทร์เรือง. (2551). เหยหนามจากท้องถิ่นสู่อินเตอร์. *น.ส.พ. กลีกร*, 81(3), 29-37.
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. (2545). *การถ่ายเทความร้อน*. กรุงเทพฯ: ส.ส.ท.

- สุนทร เกร็งคำ. (2551). *การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากเยื่อสาดขาว*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรม-
ศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
มอก 876-2547 แผ่นฉนวนใยอัดชนิดราบ*. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2557). *ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์*. เข้าถึงได้จาก
<http://www.dnp.go.th/botany/ThaiPlantName/Default.aspx>
- อภิชาติ สนธิสมบัติ. (2545). *กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ*. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.
- อภิชาติ สุขใจทัย. (2556). *การศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของผู้นั่งก่อนเชื้อเห็ด
โดยการใช้ฉนวนความร้อนจากเศษวัสดุธรรมชาติเหลือทิ้งในท้องถิ่น*. รายงานการวิจัย
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อม
และวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อุษาวดี ต้นติวานุรักษ์ และฉันทนา เล็กใจเชื้อ. (2560). สมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความ
ร้อนจากต้นปุด. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 35(1), 102-108.
- อำนาจ อมฤต. (2554). การศึกษาสมบัติของฉนวนความร้อนผลิตจากเส้นใยกชช้าง. ใน *การประชุม
วิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554* (หน้า 1136-1139). ปทุมธานี:
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Asta Nicolajsen. (2005). Thermal transmittance of a cellulose loose-fill insulation material.
Building and Environment, 40, 907-914.
- American Society for Testing and Materials. (2002). ASTM C 168-01 Standard Terminology
Relating To Thermal Insulation. In *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.06*
(pp. 15-16). U.S.A.: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2002). ASTM C 177-97 Standard Test Method
for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by
Means of the Guarded-Heat-Flux Apparatus. In *Annual Book of ASTM Standards,
Vol. 04.06* (pp. 21-32). U.S.A.: ASTM.
- Cengel, Y. A. (2003). *Heat transfer: a practical approach* (2nd ed.). America: McGraw-Hill.
- Hagen, K. P. (1999). *Heat transfer: with application*. America: Prentice-Hall.

- Holman, J. P. (2002). *Heat transfer*. America: McGraw-Hill.
- Incropera, F.P., & Dewitt, D. P. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.
New York: John Wiley & Sons.
- Jaktorn, C., & Jiajitsawat, S. (2014). Production of Thermal Insulator from Water Hyacinth
Fiber and Natural Rubber Latex. NU. *International Journal of Science*, 11(2), 31-41.
- Jintakosol, T., & Kumfu, S. (2012). Properties of Thermal Insulation from Durian Peel
Fiber and Natural Rubber Latex. *Advanced Materials Research*, 506, 571-574.
- Luamkanchanaphan, T., Chotikaprakhan, S., & Jarusombati, S. (2012). A Study of Physical,
Mechanical and Thermal Properties for Thermal Insulation from Narrow-leaved
Cattail Fibers. *APCBEE Procedia*, 1, 46-52.
- Tangjuank, S. (2011). Thermal insulation and physical properties of particleboards from
pineapple leaves. *International Journal of Physical Sciences*, 6(19), 4528-4532.
- Tangjuank, S., & Kumfu, S. (2011). Particle Boards from Papyrus Fibers as Thermal Insulation.
Journal of Applied Sciences, 11(14), 2640-2645.
- .

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน
การลามไฟ ของฉนวนความร้อนจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ และน้ำยางธรรมชาติ

ตารางที่ ก-1 ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนา (mm)	น้ำหนัก (kg)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
1 : 2	14.4	0.08	139
1 : 2	15.7	0.09	143
1 : 2	15.5	0.09	149
1 : 3	15.0	0.12	194
1 : 3	14.0	0.10	185
1 : 3	14.9	0.11	187
1 : 4	17.0	0.15	220
1 : 4	16.3	0.13	207
1 : 4	16.9	0.16	227

ตารางที่ ก-2 ค่าความชื้นและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความชื้น (%)
1 : 2	139	3.94
1 : 2	143	3.54
1 : 2	149	3.83
1 : 3	194	3.76
1 : 3	185	3.17
1 : 3	187	3.09
1 : 4	220	2.51
1 : 4	207	2.63
1 : 4	227	2.54

ตารางที่ ก-3 ค่าการพองตัวตามความหนาและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจาก
เส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	การพองตัวตามความหนา (%)
1 : 2	139	3.79
1 : 2	143	4.91
1 : 2	149	4.20
1 : 3	194	3.25
1 : 3	185	4.23
1 : 3	187	3.38
1 : 4	220	1.73
1 : 4	207	2.63
1 : 4	227	2.56

ตารางที่ ก-4 ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่
ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (MPa)
1 : 2	139	3.94
1 : 2	143	3.54
1 : 2	149	3.83
1 : 3	194	3.76
1 : 3	185	3.17
1 : 3	187	3.09
1 : 4	220	2.51
1 : 4	207	2.63
1 : 4	227	2.54

ตารางที่ ก-5 ค่าความต้านแรงดัด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความต้านแรงดัด (Mpa)	มอดุลัสยืดหยุ่น (Mpa)
1 : 2	143	1.59	33.20
1 : 2	149	1.89	39.75
1 : 3	194	2.49	46.23
1 : 3	185	2.22	39.26
1 : 3	187	1.95	39.99
1 : 4	220	3.28	45.82
1 : 4	207	2.47	34.99
1 : 4	227	1.85	44.58

ตารางที่ ก-6 ค่าการลามไฟและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์และน้ำยางธรรมชาติ

อัตราส่วนเส้นใย : น้ำยาง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	เวลาเฉลี่ย (s)	
		ไม่เต็มสารหน่วงไฟ	เต็มสารหน่วงไฟ
1 : 2	139	51	64
1 : 2	143	74	80
1 : 2	149	53	62
1 : 3	194	75	113
1 : 3	185	71	84
1 : 3	187	55	81
1 : 4	220	62	89
1 : 4	207	59	70
1 : 4	227	44	90

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการนำความร้อน ความหนาแน่น ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า
ความต้านแรงคดและมอดูลัสยืดหยุ่น โดยสำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์ 0-2470-9671-3, 0-2470-9664-7 โทรสาร 0-2428-3374 <http://www.kmutt.ac.th>

ที่ ศร 5810/59775

22 เมษายน 2559

เรื่อง แจ้งผลการวิเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง T1 และ T2 จำนวน 2 ตัวอย่าง

เรียน นางสาวอามิณา คำที (มหาวิทยาลัยบูรพา)

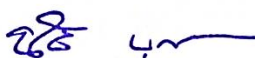
สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการวิเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะตัวอย่าง T1 และ T2 จำนวน 2 ตัวอย่าง เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังรายงานผลในเอกสารแนบท้าย

ลำดับที่	รายการวิเคราะห์/ทดสอบ	เอกสารมาตรฐาน	หน่วย	ผลการตรวจสอบ	
				T1	T2
1	การนำความร้อน (K value)	ASTMC 177	W/m ² *K	0.0595	0.0588
2	ค่าความหนาแน่น (Density)	ASTM D 1622	Kg/m ³	178.06	217.94

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ


(นายอ๋องสา นนทพล)
ผู้วิเคราะห์/นักวิทยาศาสตร์


(ผศ. นิธิ ปุณณจันทร์)
ผู้อำนวยการ
สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี


(นายอ๋องสา นนทพล)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบ

รายงานผลที่สมบูรณ์จะต้องมีประทับตราของมหาวิทยาลัยและลายมือชื่อจริงของผู้มีอำนาจ
รายงานนี้ใช้ได้กับชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบตามรายการนี้ใช้ไม่ได้กับวัสดุอื่น หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ แม้จะผลิตจากบริษัทเดียวกัน



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

126 ถนนประชากรทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์ 0-2470-9671-3, 0-2470-9664-7 โทรสาร 0-2428-3374 <http://www.kmutt.ac.th>

ที่ ศร 5810/591040

16 พฤศจิกายน 2559

เรื่อง แจ้งผลการวิเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง ฉนวน (T) จำนวน 9 ตัวอย่าง

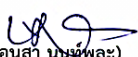
เรียน นางสาวอามิณา คำทิ

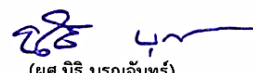
สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการวิเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะตัวอย่าง ฉนวน (T) จำนวน 9 ตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM C 177 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังรายงานผลในเอกสารแนบท้าย

ลำดับที่	รายการตัวอย่าง	ผลการตรวจสอบ	
		ค่าความหนาแน่น (Kg/m ³)	การนำความร้อน (K value)
1	T ₁₁ (หนา 14.4 มม)	139.35	0.0442
2	T ₁₂ (หนา 15.7 มม)	142.77	0.0388
3	T ₁₃ (หนา 15.5 มม)	149.46	0.0409
4	T ₂₁ (หนา 15.0 มม)	193.85	0.0430
5	T ₂₂ (หนา 14.0 มม)	185.38	0.0460
6	T ₂₃ (หนา 14.9 มม)	186.60	0.0446
7	T ₃₁ (หนา 17.0 มม)	219.56	0.0392
8	T ₃₂ (หนา 16.3 มม)	207.00	0.0402
9	T ₃₃ (หนา 16.9 มม)	227.40	0.0347


จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ


(นายอ่อนสา นนทพงษ์)
ผู้วิเคราะห์/นักวิทยาศาสตร์


(ผศ. นิธิ ปุรณจันทร์)
ผู้อำนวยการ

สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี


(นายอ่อนสา นนทพงษ์)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบ

รายงานผลที่สมบูรณ์จะต้องมีประทับตราคุณของมหาวิทยาลัยและลายมือชื่อจริงของผู้มีอำนาจ
รายงานนี้ใช้ได้กับชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบตามรายการนี้ใช้ไม่ได้กับวัสดุอื่น หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ แม้จะผลิตจากบริษัทเดียวกัน



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

126 ถนนประชากรูทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์ 0-2470-9671-3, 0-2470-9664-7 โทรสาร 0-2428-3374 <http://www.kmutt.ac.th>

ที่ ศธ 5810/60091

20 กุมภาพันธ์ 2560

เรื่อง แข็งผลการทดสอบแรงดึงและแรงค้ำ

เรียน คุณอามีนา คำหิ

สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการทดสอบชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วดังรายงานผลในเอกสารแนบท้าย ดังนี้

ชิ้นงาน : ชิ้นงาน ABS จำนวน 5 ชิ้นงาน

เครื่องทดสอบ : Universal Testing Machine (LLOYD LR50K)


เงื่อนไขการทดสอบ : ขนาด Gauge length = 50 mm. ความเร็วทดสอบ = 5 mm/min

ผลการทดสอบแรงดึง

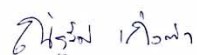
Specimens	Tensile Strength, MPa	Picture of Tensile Testing
11	0.25	
12	0.17	
13	0.13	
21	0.25	
22	0.32	
23	0.30	
31	0.37	
32	0.23	
33	0.45	
Average	0.27	

รายงานผลที่สมบูรณ์จะต้องมีประทับตราครุฑของมหาวิทยาลัยและลายมือชื่อจริงของผู้มีอำนาจ
รายงานนี้ใช้ได้กับชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบตามรายการนี้ใช้ไม่ได้กับวัสดุอื่น หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ แม้จะผลิตจากบริษัทเดียวกัน

ชิ้นงาน : ชิ้นงาน ABS จำนวน 5 ชิ้นงาน
 เครื่องทดสอบ : Universal Testing Machine (LLOYD LR50K)
 เงื่อนไขการทดสอบ : ความเร็วทดสอบ = 5 mm/min, Support span = 60 mm
 ผลการทดสอบแรงดัด

Specimens	Flexural Strength, MPa	Flexural Modulus, MPa	Remark	Picture of Flexural Testing
11	2.94	32.30	Non-Break	
12	1.59	33.20	Non-Break	
13	1.89	39.75	Non-Break	
21	2.49	46.23	Non-Break	
22	2.22	39.26	Non-Break	
23	1.95	39.99	Non-Break	
31	3.28	45.82	Non-Break	
32	2.47	34.99	Non-Break	
33	1.85	44.58	Non-Break	
Average	2.30	39.57	-	

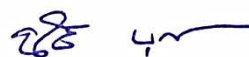
จึงเรียนมาเพื่อทราบ



(นางสาวณัฐรัตน์ เก่งกล้า)

ผู้ทดสอบ

ขอแสดงความนับถือ



(ผศ. นธิ บูรณจันทร์)

ผู้อำนวยการ

สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รายงานผลที่สมบูรณ์จะต้องมีประทับตราของมหาวิทยาลัยและลายมือชื่อจริงของผู้มีอำนาจ
 รายงานนี้ใช้ได้กับชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบตามรายการนี้ใช้ไม่ได้กับวัสดุอื่น หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ แม้จะผลิตจากบริษัทเดียวกัน