การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ

โดย

นางสาวอนุภา สกุลพาณิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ

โดย

นางสาวอนุภา สกุลพาณิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE DEVELOPMENT OF BUILDING THERMAL INSULATION FROM CORNCOB AND NATURAL RUBBER LATEX

By

Miss Anupa Sakulpanich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2015

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ ” เสนอโดย นางสาวอนุภา สกุลพาณิชย์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

……..

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.สัทธา ปัญญาแก้ว)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์)

...../...../.....

57054228 : สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คำสำคัญ : ฉนวนกันความร้อน / ซังข้าวโพด / น้ำยาง

อนุภา สกุลพาณิชย์ : การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์. 209 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซังข้าวโพดที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อทดแทนฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากใยสังเคราะห์และใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวเชื่อมประสานเพื่อลดปริมาณการใช้กาวสังเคราะห์ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 4 ขั้นตอนหลักคือ (1) การทดลองผลิตแผ่นฉนวน (2) การทดสอบหาค่าคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อนตามมาตรฐานJIS A 5905 (3) ทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลองเปรียบเทียบกับฉนวนตามท้องตลาด (4) ประเมินต้นทุนการผลิต สำหรับการผลิตฉนวนได้ใช้น้ำยางธรรมชาติผสมกับน้ำในสัดส่วนที่แตกต่างกัน 4 แบบได้แก่ น้ำยางธรรมชาติต่อน้ำ 1:0, 1:1, 2:1 และ 1:2 โดยแบ่งความหนาแน่นเป็น 2 แบบคือ 200 kg/m³ และ 300 kg/m³ ขึ้นรูปด้วยการนำซังข้าวโพดมาจุ่มในน้ำยางแล้วใส่ในแม่พิมพ์และอบที่อุณหภูมิ100°C เป็นเวลา1ชั่วโมง30นาที

จากการทดสอบพบว่า (1)ฉนวนสัดส่วนน้ำยางต่อน้ำ 1:0 และ 2:1ทั้งความหนาแน่น 200 kg/m³ และ 300 kg/m³ นั้นมีการจับยึดกันระหว่างน้ำยางธรรมชาติและซังข้าวโพดดีกว่าฉนวนแบบอื่นๆ แต่ทั้งนี้แผ่นฉนวนสัดส่วน1:0 มีน้ำหนักมากกว่าแบบสัดส่วน2:1 (2)จากการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของแผ่นฉนวนพบว่ามีค่าความหนาแน่น, ค่าปริมาณความชื้น,ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำและค่าต้านทานความร้อนผ่านตามมาตรฐาน JIS A 5905 ยกเว้นค่ามอดุลัสแตกร้าว และแผ่นฉนวนสัดส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำ 1:0, 1:1 และ 2:1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.068W/mK (ความหนาแน่น391.4 kg/m³), 0.067W/mK (ความหนาแน่น222.02 kg/m³), และ 0.066W/mK (ความหนาแน่น310.36 kg/m³) ตามลำดับ (3)ทดสอบการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลองเปรียบเทียบฉนวนซังข้าวโพดขนาด 40x40 เซนติเมตร สัดส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำ2:1 หนา1.5 เซนติเมตรกับฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีนหนา 1 เซนติเมตรพบว่าลดความร้อนได้ใกล้เคียงกัน (4)ฉนวนจากซังข้าวโพดมีราคาต่ำกว่าฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีน49.11% โดยไม่รวมค่ากำไรและค่าแรงอื่นๆ และต้นทุนส่วนใหญ่อยู่ที่น้ำยางธรรมชาติ

ภาควิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา..... ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ .....

57054228 : MAJOR : ARCHITECTURE
KEY WORD : THERMAL INSULATION / CORNCOB / RUBBER LATEX
ANUPA SAKULPANICH : THE DEVELOPMENT OF BUILDING THERMAL INSULATION FROM CORNCOB AND NATURAL RUBBER LATEX. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.PANTUDA PUTHIPIROJ, Ph.D. 209 pp.

The objective of this research is to explore the way of reusing corncob; the agricultural leftover materials, as a part of the production of producing 'Thermal Insulation' instead of using synthetic fabrics. The insulation produced from bonding by natural rubber latex in order to reduce synthetic adhesives that affect health and the environment.

In the experiment, they can be separated into 4 steps. (1) casting insulation board (2) Testing for physical, mechanical and thermal qualifications. (3) Comparative testing of thermal reduction between corncob insulation board and other material with test boxes. (4) Estimating production cost. The process of casting by testing of 4 mixing ratio between natural rubber latex and water by 1:0, 1:1, 2:1, and 1:2 and also with different densities, 200 kg/m^3 and 300 kg/m^3. Producing corncob insulation board by dipping corncob in natural rubber latex and then putting in the mould plate and being done in the hot oven at 100°C for 1 hour 30 minutes.

According to the experiments, (1) the ratio of natural latex: water as 1:0 and 2:1 occurs the most adhesive bonding between water and corncob. However, using only natural latex without water increase the weight more than the ratio of 2:1. (2) According to the testing for the qualifications of insulation, the test indicated that the insulations combined with JIS A 5905 in term of the density, moistness, swelling in thickness after immersion in water and thermal resistance except modulus of rupture. The corncob insulation with the ratio of natural latex and water 1:0, 1:1 and 2:1 had the conductivity 0.068 W/mK (density 391.4 kg/m^3), 0.067 W/mK (density 222.02 kg/m^3) and 0.066 W/mK. (density 310.36 kg/m^3) (3) Comparative testing of thermal reduction found that corncob insulation ratio 2:1 with size 40x40 cm. and 1.5 cm. thick reduced temperatures similar to 1 cm. thick polyethylene foam. (4) The cost of corncob insulation (not include wage and others) had the cost 49.11% lower than the price of polyethylene foam most portion of cost belongs to natural rubber latex.

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University
Student's signature ..... Academic Year 2015
Thesis Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนแล้วเสร็จ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สมเจตน์ พัชรพันธ์ ที่แนะนำขั้นตอนวิธีการต่างๆในการผลิตแผ่นฉนวนจากซังข้าวโพดรวมไปถึงการเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สัทธา ปัญญาแก้ว ที่สอนให้เรียนรู้วิธีการเตรียมวัสดุเพื่อขึ้นรูปแผ่นฉนวนในรูปแบบการอัดร้อน และอาจารย์ ดร. โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์ที่สอนและให้ข้อคิดเห็นในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงคุณณัฐธิดา, คุณนุชรัตน์ ตันตระกูล และคุณมานิตา แก้วการะเวก ที่ช่วยเหลือในขั้นตอนการผลิตแผ่นฉนวน และเพื่อนของคุณอา ที่ช่วยเหลือในการติดต่อและแนะนำแหล่งวัตถุดิบซังข้าวโพดให้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติสนิท ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในหลายๆอย่างจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฐ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฒ
บทที่
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
ขอบเขตการศึกษา 3
ขั้นตอนของการศึกษา 4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
คำจำกัดความสำหรับงานวิจัย 5
2 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
ความหมายของฉนวนกันความร้อน 6
ฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารสิ่งก่อสร้าง 6
หลักการถ่ายเทความร้อน 7
การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน 7
ประเภทของฉนวน 10
คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน 12
ระบบฉนวนกันความร้อนและการประยุกต์ใช้งาน 17
การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนและมวลสาร 18
ความหมายของแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ด (Particle board) และส่วนประกอบ 20
กรรมวิธีการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ด 21
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติของแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ด 24
เส้นใย 27
องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืช 27

บทที่ หน้า
คุณสมบัติของเส้นใยเซลลูโลส ... 31
ข้อดีของการพัฒนาเส้นใยเซลลูโลสเป็นวัสดุก่อสร้าง ... 33
คุณสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยเซลลูโลส ... 33
ข้าวโพด ... 34
ซังข้าวโพด ... 37
น้ำยางธรรมชาติ ... 38
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ... 42
สรุปการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ... 47
3 การดำเนินงานวิจัย ... 49
ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย ... 49
การเตรียมองค์ประกอบในการผลิตแผ่นฉนวน ... 50
วัสดุในการผลิตแผ่นฉนวน ... 51
อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย ... 54
การทดลองผลิตแผ่นฉนวน ... 57
การกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นของแผ่นฉนวนความร้อนจากซังข้าวโพด ... 59
การคำนวณหาปริมาณของซังข้าวโพดที่ขึ้นรูปด้วยการจุ่ม ... 59
ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีการจุ่ม ... 64
การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวน ... 67
สมบัติเชิงกายภาพ ... 70
สมบัติเชิงกล ... 72
สมบัติเชิงความร้อน ... 73
การทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลอง ... 74
เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตกับฉนวนตามท้องตลาด ... 77
สถานที่ในการทำวิจัย ... 79
4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล ... 81
ผลการเตรียมซังข้าวโพด ... 81
ผลการผลิตแผ่นฉนวนซังข้าวโพด ... 81
ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ... 83
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ ... 83

บทที่ หน้า
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล ... 85
ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน ... 86
ผลการทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลอง ... 87
ผลการประเมินต้นทุน ... 111
การอภิปรายผล ... 113
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ... 117
สรุปผลการวิจัย ... 117
การขึ้นรูปแผ่นฉนวนชังข้าวโพด ... 117
การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ... 117
เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต ... 120
ปัญหาที่พบในงานวิจัย ... 121
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ... 122
ประโยชน์ในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ ... 122
รายการอ้างอิง ... 123
ภาคผนวก ... 125
ภาคผนวก ก การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties tests) ... 126
ภาคผนวก ข การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties tests) ... 135
ภาคผนวก ค การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน (Thermal conductivity properties tests) ... 138
ภาคผนวก ง ข้อมูลอุณหภูมิในการทดสอบกับกล่องทดลอง ... 145
ประวัติผู้วิจัย ... 209

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปี2552	2
2	แสดงปริมาณองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและวัชพืช	2
3	แสดงคุณสมบัติของฉนวนแบบเส้นใย	12
4	แสดงคุณสมบัติของฉนวนทั่วไปและมาตรฐานASTM	14
5	แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของวัสดุฉนวน	15
6	แสดงสมบัติทางกายภาพของวัสดุและฉนวนอาคาร	16
7	แสดงปริมาณเซลลูโลสในเศษวัสดุจากอุตสาหกรรมและการเกษตร	30
8	แสดงส่วนประกอบต่างๆในน้ำยาง	39
9	แสดงตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยใช้ซัลเฟอร์	41
10	แสดงตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยไม่ใช้ซัลเฟอร์	41
11	วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยาง	52
12	สรุปมวลของซังข้าวโพดที่ใช้ในการผลิตแผ่นฉนวน1แผ่น	63
13	แสดงการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อน	67
14	แสดงขนาดชิ้นงานและมาตรฐานอ้างอิงในการทดสอบคุณสมบัติ	67
15	แสดงจำนวนชิ้นงานในการทดสอบคุณสมบัติ	68
16	แสดงรายละเอียดมาตรฐาน JIS A 5905 สำหรับฉนวนกันความร้อน	74
17	แสดงลักษณะทางกายภาพของแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยสัดส่วนน้ำยางต่อน้ำที่แตกต่างกัน	83
18	แสดงค่าต้านทานความร้อนและค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด	86
19	แสดงการให้คะแนนแผ่นฉนวนจากคุณสมบัติต่างๆเพื่อนำไปทดสอบกับกล่องทดลอง	87
20	การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายนอกกล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน	95
21	การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง	95
22	การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายในกล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน	102
23	การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของผิวผนังภายในกล่องทดลอง	102
24	การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน	109
25	การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของอากาศภายในกล่องทดลอง	109

ตารางที่ หน้า

26 แสดงราคาต้นทุน 112

27 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดกับวัสดุฉนวนในท้องตลาดโดยคิดที่ขนาด 40x40เซนติเมตร 112

28 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดกับฉนวนในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 115

29 แสดงสรุปคุณสมบัติของฉนวนซังข้าวโพดเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม 120

30 แสดงการเปรียบเทียบราคาของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดกับวัสดุฉนวนในท้องตลาด 121

31 ข้อมูลหาค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด 127

32 ค่าความชื้นของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น300 Kg/m^3 129

33 ค่าความชื้นของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น200 Kg/m^3 130

34 ค่าดูดซึมน้ำของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น300 Kg/m^3 131

35 ค่าดูดซึมน้ำของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น200 Kg/m^3 132

36 ค่าพองตัวเมื่อแช่น้ำของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น300 Kg/m^3 133

37 ค่าพองตัวเมื่อแช่น้ำของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น200 Kg/m^3 134

38 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 146

39 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 153

40 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 160

41 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 167

42 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 174

43 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 181

44 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 188

45 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 195

ตารางที่ หน้า
46 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน .....
2557 202

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ซังข้าวโพด	2
2	แสดงฉนวนกันความร้อนที่นิยมใช้ในต่างประเทศ	6
3	รูปแสดงการไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน	8
4	รูปแบบการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนผิวสะท้อนรังสี	9
5	แสดงการจำแนกประเภทเส้นใย (Fibers)	28
6	แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	29
7	โครงสร้างผนังเซลล์พืช (plant cell wall structure)	30
8	ปริมาณผลผลิตข้าวโพด	35
9	ส่วนประกอบของฝักข้าวโพด	37
10	ซังข้าวโพดและลำต้นข้าวโพด	38
11	ซังข้าวโพดหลังการคัดเมล็ดออกในโกดัง อ.ท่าวุ้ง จ.ลพบุรี	38
12	โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	39
13	สมการแอมโมเนียรวมตัวกับแมกนีเซียมอิออน	40
14	การคัดแยกขนาดของซังข้าวโพดที่ผ่านการบด	52
15	ขั้นตอนการเตรียมซังข้าวโพด	53
16	เครื่อง Crusher	54
17	เครื่อง Dryer Hopper	54
18	ตู้อบลมร้อน ระบบแก๊ส12ชั้น	55
19	ตะแกรงร่อน	55
20	แม่พิมพ์แผ่นฉนวน	56
21	เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล	56
22	Vernier Caliper	56
23	Micrometer	57
24	การฉีดพ่นน้ำยางลงบนซังข้าวโพดที่ผ่านการบดแล้ว	58
25	แผ่นฉนวนซังข้าวโพดที่ไม่สามารถยึดติดเป็นแผ่นได้	58
26	การจุ่มซังข้าวโพดลงในน้ำยาง	64
27	ใส่ซังข้าวโพดที่ผ่านการจุ่มน้ำยางลงในแม่พิมพ์	65

ภาพที่		หน้า
28	การอบแผ่นฉนวนในเครื่อง Dryer Hopper ให้ยางคงรูป	65
29	แผ่นฉนวนหลังอบเสร็จแล้ว	66
30	แผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยสัดส่วนน้ำยางต่อน้ำทั้ง 4 สัดส่วน	66
31	แสดงตำแหน่งการวัดความกว้าง ยาว และหนาของชิ้นทดสอบ	70
32	แสดงการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว	72
33	แสดงการจับยึดชิ้นทดสอบเพื่อหาค่าแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	73
34	แสดงลักษณะหลังการดึงจากการหาค่าแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	73
35	ส่วนประกอบของผนังทดสอบ	75
36	แปลนกล่องทดลองและแสดงตำแหน่งติดตั้ง Thermocouple	76
37	รูปตัดกล่องทดลองและแสดงตำแหน่งติดตั้ง Thermocouple	76
38	ผังการจัดวางกล่องทดลอง	77
39	การทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลอง	77
40	อุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ	79
41	แสดงลักษณะทางกายภาพของฉนวนซังข้าวโพด	82
42	ตำแหน่งติดตั้งสาน Thermocouple ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ	88
43	ตำแหน่งการวางกล่องทดลองโดยหันหน้าไปทางทิศใต้	88

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1	ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	50
2	แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด	83
3	แสดงค่าปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด	84
4	แสดงค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด	84
5	แสดงค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด	85
6	แสดงค่ามอดุลัสแตกร้าวของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด	85
7	แสดงค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด	85
8	แสดงอุณหภูมิอากาศภายนอกและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน 2557	89
9	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลองระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน 2557	91
10	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลองในวันที่14 เมษายน 2557	92
11	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลองในวันที่15 เมษายน 2557	93
12	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลองในวันที่16 เมษายน 2557	94
13	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายนอกกล่องทดลองระหว่างวันที่14-16 เมษายน 2557	96
14	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลองระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน 2557	98
15	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลองในวันที่14 เมษายน 2557	99
16	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลองในวันที่15 เมษายน 2557	100
17	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลองในวันที่16 เมษายน 2557	101
18	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายในกล่องทดลองระหว่างวันที่14-16 เมษายน 2557	103
19	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน 2557	105
20	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในวันที่14 เมษายน 2557	106
21	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในวันที่15 เมษายน 2557	107
22	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในวันที่16 เมษายน 2557	108
23	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในกล่องทดลองระหว่างวันที่14-16	

แผนภูมิที่ หน้า

เมษายน 2557 110

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฉนวนกันความร้อนคือวัตถุหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกัน สกัดกั้น หรือชะลอความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้โดยง่าย เพื่อให้อุณหภูมิคงอยู่ในสภาพที่ต้องการ การติดตั้งฉนวนความร้อนกับอาคารอย่างถูกวิธีไม่ว่าจะเป็นอาคารที่พักอาศัยหรือโรงงานนั้นมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงาน ที่เห็นได้ชัดคือลดภาระจากการใช้ระบบปรับอากาศ

ในปัจจุบันฉนวนกันความร้อนส่วนมากที่มีอยู่ตามท้องตลาดนั้นผลิตมาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่นใยแก้ว โฟม อลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมักนำเข้ามาจากต่างประเทศ เป็นวัสดุที่มีมูลค่าในการนำเข้าสูงจึงก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองงบประมาณ และมักมีคำถามหรือข้อกังวลว่าอาจจะส่งผลต่อสุขภาพเมื่อนำมาใช้งาน ด้วยเหตุผลในด้านการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ การใช้พลังงานในปริมาณมาก ทรัพยากรทางธรรมชาติถูกทำลายและถูกใช้อย่างไม่คุ้มค่า ในหลายๆหน่วยงานจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาทางพัฒนากระบวนการผลิตต่างๆให้มีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่นการพัฒนาวัสดุใหม่จากวัสดุเหลือใช้เพื่อช่วยลดปริมาณขยะและมลภาวะ ประจวบกับในแต่ละปีประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมจะมีผลพลอยได้หรือสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตรมากถึงหลายล้านตัน จึงได้มีการวิจัยเพื่อนำสิ่งเหลือใช้เหล่านี้มาผลิตเป็นวัสดุใหม่ นอกเหนือจากการนำไปเป็นอาหารสัตว์และเชื้อเพลิง หนึ่งในนั้นคือฉนวนป้องกันความร้อน เพราะในโครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติมีลักษณะเป็นโพรงอากาศ ทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำและมีสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้วัสดุทางการเกษตรซึ่งเป็นพืชที่มีเส้นใยจะมีโครงสร้างประกอบด้วยสารอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส(Cellulose) เฮมิเซลลูโลส(Hemi-Cellulose) และลิกนิน(Lignin)โดยเฉพาะเซลลูโลสมีปริมาณที่สูงถึงร้อยละ60-80ของสารประกอบทั้งหมดสามารถนำมาทำเป็นฉนวนได้เป็นอย่างดี หาได้ง่าย ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ได้เลือกซังข้าวโพดซึ่งเป็นหนึ่งในวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตรมาทำการทดสอบผลิตเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนสู่อาคาร เนื่องจากข้าวโพดมีปริมาณการผลิตสูงในแต่ละปี ซึ่งหลังจากการแปรรูปฝักข้าวโพดในอุตสาหกรรมการเกษตรโดยการคัดเมล็ดออกแล้วจะมีส่วนเหลือทิ้งเป็นซังข้าวโพดจำนวนมาก

ภาพที่ 1 ซังข้าวโพด

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปี2552

ชนิด	ผลผลิต(ตัน)	ส่วนของพืช	ปริมาณเหลือใช้(ตัน)
อ้อย	66,816,446	ชานอ้อย	4,190,794.31
ข้าว	31,508,364	ฟางข้าว	25,646,547.96
ข้าวโพด	4,616,119	ซังข้าวโพด	584,539.15
ปาล์มน้ำมัน	8,162,379	ใย	162,970.06
มันสำปะหลัง	30,088,025	ลำต้น	2,439,236.19
มะพร้าว	1,380,980	กาบ	464,250.95

ที่มา: กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, **วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปี2552**, เข้าถึงเมื่อ 20 พฤษภาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=486

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและวัชพืช

ชนิดวัสดุ	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
หญ้าสลาบหลวง	63	8.7	9.6
เปลือกทุเรียน	60.45	13.09	4.35
ฟางข้าว	55	14	21
ซังข้าวโพด	42	39	14

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและวัชพืช (ต่อ)

ชนิดวัสดุ	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
แกลบ	36	15	19
ชานอ้อย	33	30	29

ที่มา: สุตินัย ยามศรีสุข, “การศึกษาประสิทธิผลในการใช้หญ้าสลาบหลวงเป็นฉนวนกันความร้อนเข้าสู่อาคาร” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554), 3.

นอกจากนี้จากการวิจัยเพื่อการพัฒนาแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของธนัญชัย ปคุณวรกิจ(2548) ระบุว่าเส้นใยจากซังข้าวโพดยังมีคุณลักษณะของฉนวนกันป้องความร้อนที่ดี เมื่อพิจารณาแล้วมีความเป็นไปได้ที่จะนำซังข้าวโพดมาทำเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ผนวกกับความต้องการที่จะลดปริมาณการใช้กาว ลง จากการวิจัยการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติของสมเจตน์ พัชรพันธ์และคณะ(2550) พบว่าน้ำยางธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนแทนการใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นสารจำพวกฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งมีผลกระทบกับสุขภาพได้

จึงนับว่าเป็นแนวทางที่ดีในการพัฒนาฉนวนป้องกันความร้อนจากวัสดุทางธรรมชาติเพื่อความยั่งยืนในการอนุรักษ์พลังงานต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนสู่อาคารของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดกับแผ่นฉนวนที่มีขายตามท้องตลาด
3. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดกับแผ่นฉนวนที่มีขายตามท้องตลาด
4. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาหรือปรับปรุงฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานต่อไปในอนาคต

ขอบเขตการศึกษา

1. ทดสอบการขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากซังข้าวโพดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แปซิฟิคและน้ำยางธรรมชาติ
2. ทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากซังข้าวโพดภายใต้มาตรฐานJIS A 5905

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดกับแผ่นฉนวนที่มีขายตามท้องตลาดด้วยกล่องทดลอง

ขั้นตอนของการศึกษา

1. รวบรวมและศึกษาเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนและกระบวนการผลิตฉนวนป้องกันความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

2. ศึกษาวิธีและขั้นตอนในการเตรียมซังข้าวโพดรวมไปถึงคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น การกำหนดขนาด, กำหนดความหนาแน่น ฯลฯ

3. ทำการผลิตแผ่นฉนวนจากซังข้าวโพดโดยหาความเหมาะสมในการขึ้นรูปเช่นอัตราส่วนผสมวัตถุดิบต่างๆ

4. นำแผ่นฉนวนที่ผลิตได้มาทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อนเพื่อหาแผ่นที่มีสัดส่วนการผลิตดีที่สุดแล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลอง

5. เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงทางกล และเชิงความร้อนรวมไปถึงต้นทุนของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดที่ผลิตได้กับแผ่นฉนวนที่มีขายตามท้องตลาด

6. สรุปผลการวิจัย นำเสนอข้อดีและข้อเสียรวมไปถึงข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงขั้นตอนและวิธีการในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ

2. ได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากซังข้าวโพด เช่น ลักษณะของซัง, ตัวประสาน, ความหนาแน่น, วิธีการขึ้นรูป ฯลฯ จนถึงความสามารถในการป้องกันความร้อน

3. สามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรและลดต้นทุนในการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ

คำจำกัดความสำหรับงานวิจัย

1. เซลลูโลส (Cellulose) หมายถึง สารประกอบคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซ็กคาไรด์ชนิดที่ซับซ้อน มีสูตรเคมี ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสมากมายเชื่อมโยงกัน

เป็นองค์ประกอบสำคัญของเนื้อไม้[1]

2. ฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation) หมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย[2]

3. ซังข้าวโพด (Corncob) หมายถึง ส่วนแกนของฝักข้าวโพด

4. น้ำยาง (Rubber Latex) หมายถึง คือของเหลวที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นยางพารา มีส่วนประกอบสำคัญ 2ส่วนคือส่วนเนื้อยาง(Rubber Content) และส่วนที่เป็นตัวกลางหรือส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง(Non Rubber Content)[3]

---

[1] ราชบัณฑิตยสถาน, ศูนย์สารสนเทศ, **พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2552**, เข้าถึงเมื่อ 22 พฤษภาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://rirs3.royin.go.th/dictionary.asp

[2]กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, **การใช้ฉนวน** (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม**,** 2543), 42.

[3]ทนง บุญมีมาพาสุข, “การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนหน่วงไฟจากเส้นใยผักตบชวาและน้ำยางธรรมชาติ” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549), 14.

บทที่ 2
การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อน หรือฉนวนความร้อน คือวัตถุหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกัน สกัดกั้น หรือชะลอความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้โดยง่าย เพื่อให้อุณหภูมิคงอยู่ในสภาพที่ต้องการ

ภาพที่ 2 แสดงฉนวนกันความร้อนที่นิยมใช้ในต่างประเทศ

ที่มา: Understand What Kind of Insulation Is in Your New Home, accessed October 3, 2013, available from http://www.wellhome.com/blog/2012/01/important-energy-efficiency-steps-to-take-when-buying-a-new-home

2. ฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารสิ่งก่อสร้าง

สำหรับอาคารสิ่งก่อสร้างในที่นี้จะรวมถึงบ้าน โรงเรียน โรงแรม สำนักงาน ห้องทดลอง และอาคารทางอุตสาหกรรมอื่นๆ ฉนวนกันความร้อนนับว่าเป็นส่วนที่จำเป็นต่ออาคารสิ่งก่อสร้างในปัจจุบันนี้ มีผลต่อค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้งานอาคารเพราะฉนวนกันความร้อนเป็นตัวช่วยในการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก ทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารมีความสบายมากขึ้น การใช้งานฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมกับพื้น ห้อง ผนัง และหลังคาจะช่วยลดภาระความร้อนและความเย็น ทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์ทำความร้อนและความเย็นลงได้ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลงเนื่องจากการใช้กำลังผลิตและค่าปฏิบัติการลดลง

นอกจากความจำเป็นต่อพื้นห้อง ผนัง และเพดานอาคารแล้วยังมีผลต่อระบบเชิงกลในอาคารด้วย เช่นระบบทำความร้อน ทำความเย็น สุขภัณฑ์ และระบบปรับอากาศ นับว่าฉนวนกันความร้อนมีส่วนสำคัญที่ทำให้การใช้งานอาคารสิ่งก่อสร้างนั้นๆมีความประหยัด และใช้พลังงานในการรักษาอุณหภูมิที่น้อยกว่าเดิมมาก

3. หลักการการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน(Heat Transfer) โดยธรรมชาติจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า วิธีการถ่ายเทความร้อนแบ่งเป็น 3 วิธีหลักคือ

3.1 การนำความร้อน(Thermal Conduction) คือการที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุๆหนึ่ง หรือระหว่างที่วัตถุสัมผัสกัน

3.2 การพาความร้อน(Thermal Convection) คือการที่พลังงานความร้อนถ่ายเทพลังงานโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของมวลสารของของไหล หรือก๊าซ ที่มีพลังงานบรรจุอยู่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

3.3 การแผ่รังสีความร้อน(Thermal Radiation) คือการถ่ายเทพลังงานความร้อนโดยอาศัยสเปคตรัมการแผ่รังสี คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งออกมาจากพื้นผิวของวัตถุที่ถูกกระตุ้นทางความร้อน รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะกระจายออกทุกทิศทาง และเมื่อรังสีไปกระทบอีกวัตถุหนึ่งบางส่วนอาจจะสะท้อนกลับ บางส่วนอาจส่งผ่านทะลุไป และบางส่วนอาจถูกดูดกลืนไว้ กรณีที่รังสีนั้นคือรังสีความร้อน รังสีที่ถูกดูดกลืนไว้จะปรากฏเป็นความร้อนภายในวัตถุที่ดูดกลืนรังสีนั้นไว้

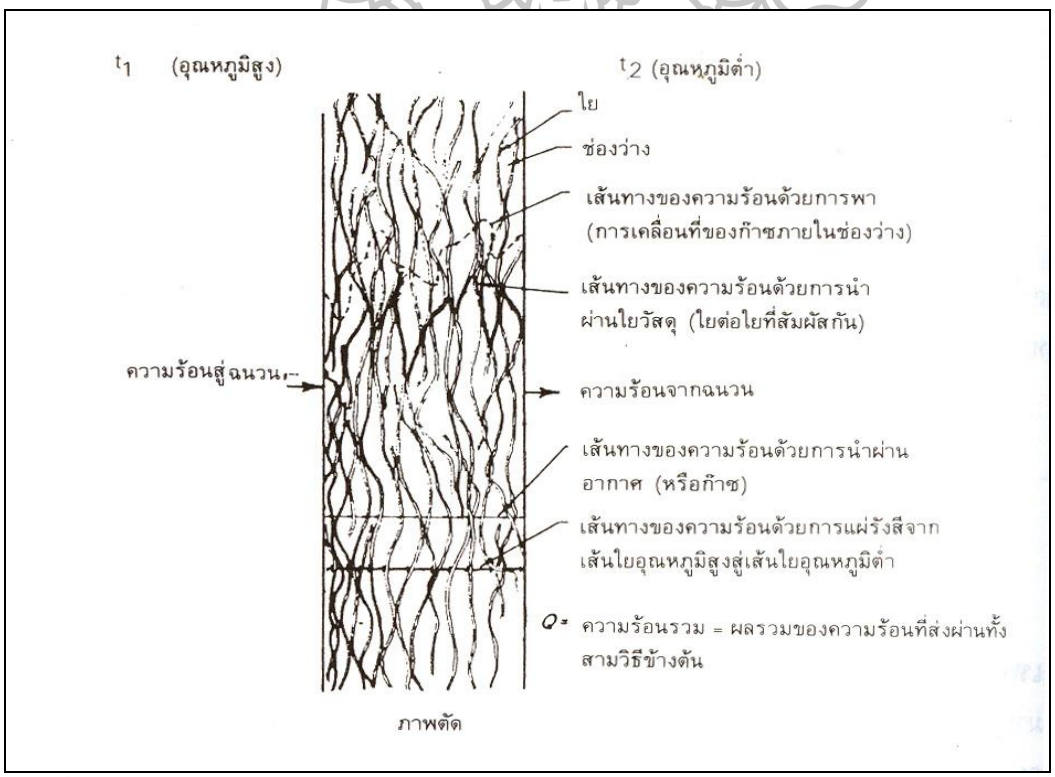
แต่ในความเป็นจริง การถ่ายเทความร้อนมักไม่ปรากฏเป็นวิธีใดวิธีหนึ่งโดยเฉพาะ แต่จะเป็นในรูปแบบผสมของวิธีข้างต้นรวมกัน ขึ้นกับว่าวิธีการถ่ายเทความร้อนแบบไหนจะสำคัญมากกว่า ซึ่งเป็นกรณีๆไป

4. การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน

จุดมุ่งหมายของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนคือการสกัดกั้นการถ่ายเทความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด หรือก็คือการเก็บรักษาพลังงานไม่ให้มีการถ่ายเทออกไป หรือไม่ให้เข้ามาภายในบริเวณที่ต้องการ แต่การถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบ แม้ว่าโดยปกติจะพิจารณาว่าฉนวนกันความร้อนส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างเป็นของแข็ง และคาดว่าฉนวนจะถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อน จึงกำหนดคุณสมบัติของฉนวนด้วยสภาพการนำความร้อน ในความเป็นจริงกลไกการถ่ายเทความร้อนในฉนวนไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะการนำความร้อนเท่านั้น แต่

การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนก็เกิดขึ้นด้วย จึงมักใช้คำสภาพนำความร้อนปรากฏ (Apparent Thermal Conductivity) แทน

หากพิจารณาพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสภาพแวดล้อมอันหนึ่ง ถูกนำมาไว้กลางแจ้ง การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบ ถ้านำแผ่นกั้นชนิดหนึ่งมาวางใกล้กับพื้นผิวที่ร้อน เราสามารถลดการแผ่รังสีความร้อนลงได้ นอกจากนี้การพาความร้อนจะถูกจำกัดลงด้วยอากาศที่มีปริมาตรเพียงเล็กน้อย ดังนั้นถ้าวางแผ่นกั้นจำนวนมากชั้นขึ้นใกล้กับพื้นผิวที่ร้อน แผ่นกันเหล่านี้จะทำให้เกิดช่องเล็กๆขึ้น ซึ่งจะทำให้การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนถูกขัดขวาง หากการกระจายแผ่นกั้นเป็นไปอย่างเหมาะสม การสูญเสียความร้อนจากพื้นผิวที่ร้อนจะลดลง จนถึงจุดที่เกือบจะเท่ากับการนำความร้อนสุทธิผ่านช่องอากาศนิ่งอย่างสมบูรณ์ เพราะอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีแต่มีความเป็นฉนวนที่ดี ซึ่งทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลงกว่าเดิมมาก และจากสภาพการนิ่งทำให้การพาความร้อนไม่เกิดขึ้นด้วย



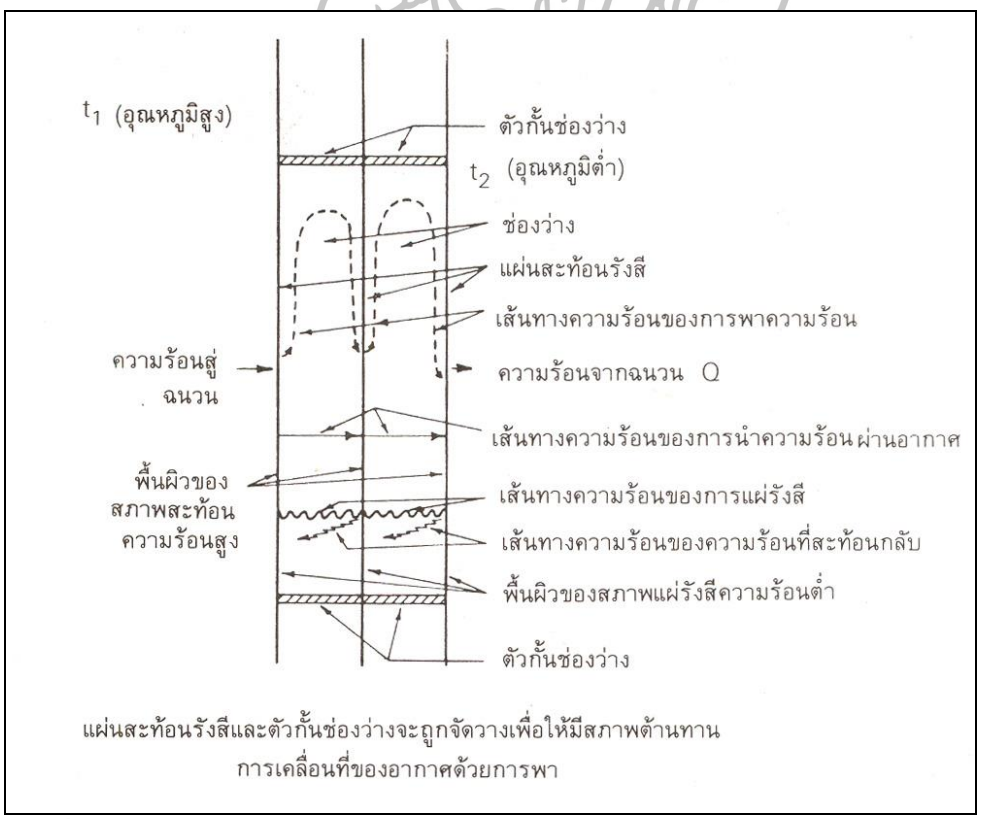
ภาพที่ 3 รูปแสดงการไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน

ที่มา: ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน** (กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2537), 26.

จากกลไกการถ่ายเทความร้อนภายในฉนวนกันความร้อน(ดูภาพที่3) ผิวทางด้านซ้ายมือของฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวด้านขวามือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะไหล

จากผิวทางซ้ายมือไปยังขวามือ ซึ่งความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนที่เต็มไปด้วยช่องอากาศหรือก๊าซจากการก่อตัวขึ้นตามสภาพเส้นใยหรือเซลล์ของวัสดุฉนวน จะมีอัตราการไหลที่ช้าลง หากช่องอากาศหรือก๊าซเหล่านี้มีขนาดที่เล็กอย่างพอเหมาะจะทำให้การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนมีปริมาณน้อยลง และการให้การนำความร้อนไหลผ่านส่วนของแข็งที่มีเส้นทางที่ยาวและคดเคี้ยวจะทำให้การนำความร้อนถูกจำกัดลง วัสดุที่เป็นของแข็งควรมีความทึบอย่างเพียงพอหรือเป็นวัสดุที่มีผิวสะท้อนรังสี เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี

ในการออกแบบวัสดุฉนวนเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีโดยเฉพาะอย่างยิ่งการแผ่รังสีแบบพื้นผิวสู่พื้นผิว จะออกแบบในลักษณะฉนวนผิวสะท้อนรังสี(Reflective Insulation) ซึ่งเป็นฉนวนที่ต้านทานการถ่ายเทความร้อนด้วยวัสดุแผ่นที่มีค่าการแผ่รังสีและดูดกลืนรังสีต่ำเป็นหลัก ตัวแผ่นกั้นเหล่านี้ต้องจัดช่องให้มีการพาความร้อนต่ำที่สุด และต้องออกแบบการค้ำยันแผ่นกั้นให้มีการนำความร้อนน้อยที่สุดด้วย ฉนวนที่มีผิวสะท้อนรังสีมักจะมาจากการประกอบเป็นระบบของวัสดุมากกว่าจะเป็นวัสดุเนื้อเดียว



ภาพที่ 4 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนผิวสะท้อนรังสี

ที่มา: ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน** (กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2537), 28.

5. ประเภทของฉนวน

การจำแนกประเภทของฉนวนกันความร้อนมีหลายวิธี ขึ้นกับคุณสมบัติที่นำมาอ้างอิง เช่น

5.1 จำแนกตามโครงสร้างและหลักการทำงาน

5.1.1 ฉนวนชั้นอากาศหรือฟิลม์อากาศ (Air)

เป็นฉนวนพื้นผิวเดียวหรือพื้นผิวหลายชั้นซึ่งมีอากาศคั่นอยู่ระหว่างชั้นของพื้นผิว ความต้านทานความร้อนจะเกิดจากชั้นของพื้นผิวเองและชั้นของอากาศ ในลักษณะนำความร้อนหรือพาความร้อนคร่อมระหว่างชั้นอากาศ

5.1.2 ฉนวนแบบเซลล์ (Cellular Material)

เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยเซลล์เล็กๆที่ผลึกติดกับเซลล์อื่นๆ ฉนวนแบบนี้ผลิตจากแก้ว พลาสติก และยาง ตัวอย่างเช่น เซลลูลาร์กลาส(Cellular Glass) ยางอีลาสโตเมอร์ (Elastomer)แบบขยายตัว โฟมโพลีสไตรีน โฟมโพลีไอโซไซยานูเรต โฟมโพลียูรีเทน และโฟมยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น

5.1.3 ฉนวนแบบเส้นใย (Fibrous Material)

เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆจำนวนมาก เส้นใยเหล่านี้อาจทำมาจากวัสดุอินทรีย์ เช่น เส้นผม ใยพืชต่างๆ หรือทำจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยหิน ใยขี้โลหะ ใยอลูมินาซิลิกา แอสเบสทอส(Asbestos) และใยคาร์บอน เป็นต้น

5.1.4 ฉนวนแบบเกล็ด (Flake Material)

เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก โดยอนุภาคหรือเกล็ดเหล่านี้อาจถูกเทเข้าไปในช่องอากาศหรือทำให้เกาะตัวเข้าด้วยกันเพื่อทำเป็นรูปทรงฉนวนที่แข็ง ฉนวนกันความร้อนแบบเกล็ดมีรูปทรงแข็ง สามารถใช้งานเป็นฉนวนท่อหรืองานด้านอื่นๆที่มีลักษณะเป็นบล็อกหรือแผ่นอัด ฉนวนแบบเกล็ดที่รู้จักกันดี ได้แก่ ฉนวนเพอร์ไลต์และเวอร์มิคูไลต์ เป็นต้น

5.1.5 ฉนวนแบบกรานูลาร์ (Granular Material)

เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็นโพรงหรือกลวง ซึ่งช่องกลวงเหล่านี้สามารถถ่ายเทอากาศระหว่างกันและกันได้จึงแตกต่างจากฉนวนแบบเซลล์ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนชนิดนี้อาจเป็นแมกนีเซียม แคลเซียมซิลิเกต ดินไดอะตอมเมเชียส(Diatomaceous Earth) ไม้คอร์ก (Cork Board) วัสดุ 3 ชนิดแรกส่วนใหญ่จะใช้เป็นฉนวนในระบบท่อด้านอุตสาหกรรม ส่วนไม้คอร์กจะใช้กับการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ

5.1.6 ฉนวนแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี (Reflective Foils)

เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยแผ่นบางขนานที่มีสภาพการสะท้อนรังสีความร้อนสูงหรือสภาพการแผ่รังสีต่ำ โดยแผ่นบางเหล่านี้จะเป็นช่องเพื่อสะท้อนรังสีความร้อนกลับ เนื่องจากแต่ละแผ่นแยกจากกันทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อนและการพาความร้อนลดลง การประยุกต์ใช้ฉนวนแผ่นบางส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นระบบมากกว่าการใช้วัสดุชนิดเดียว โดยใช้งานกับวัตถุที่อุณหภูมิสูงเมื่อการถ่ายเทความร้อนชนิดแผ่รังสีความร้อนมีปริมาณมากกว่าการนำและการพาความร้อน

5.2 จำแนกตามสารเคมีของวัสดุ

คือจำแนกตามชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

5.2.1 สารอินทรีย์ ได้แก่ ไม้คอร์ก (Cork Board)

5.2.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ ใยแก้ว (Glass Wool) ใยหิน (Rock Wool) และแคลเซียมซิลิเกต

5.2.3 โลหะ ได้แก่ อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil)

5.3 จำแนกตามหลักฟิสิกส์

คือจำแนกตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฉนวนกันความร้อน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

5.3.1 เซลล์ปิด (Closed Cell) เช่น ฉนวนยางต่างๆ

5.3.2 เซลล์เปิด (Open Cell) เช่น ใยแก้ว ใยหิน เซรามิก

5.3.3 สะท้อนแสง (Reflective) เช่น อลูมิเนียมฟอยล์ และฟิลม์กรองแสงต่างๆ

5.4 จำแนกตามอุณหภูมิการใช้งาน

คือจำแนกตามการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนให้เหมาะสมกับอุณหภูมิเพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดียิ่งขึ้น สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

5.4.1 อุณหภูมิต่ำมาก (Cryogenic Range) ใช้งานระหว่างอุณหภูมิ -230°C ถึง-65°C

5.4.2 อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Range) ใช้งานระหว่างอุณหภูมิ -65°C ถึง 100°C

5.4.3 อุณหภูมิปานกลาง(Medium Temperature Range) ใช้งานระหว่างอุณหภูมิ 100°C ถึง 550°C

5.4.4 อุณหภูมิสูง(High Temperature Range**)** ใช้งานระหว่างอุณหภูมิ 550°C ถึง 1,400°C

6. คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

6.1 คุณสมบัติของฉนวนแบบเส้นใย

ฉนวนกันความร้อนแบบเส้นใยประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจำนวนมาก เป็นได้ทั้งเส้นใยที่มาจากวัสดุอินทรีย์ เช่น ใยพืช ฯลฯ และวัสดุสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยหิน ฯลฯ

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของฉนวนแบบเส้นใย

คุณสมบัติ	เส้นใยแก้ว		เส้นใยแร่		เส้นใยเซลลูโลส
	แบบอัดเป็นแผ่น	แบบลูสฟิลล์ (Loose Fill)	แบบอัดเป็นแผ่น	แบบลูสฟิลล์ (Loose Fill)	แบบลูสฟิลล์ (Loose Fill)
สภาพนำความร้อนปรากฏ (k), W/m.K	0.045	0.05	0.045	0.046	0.04-0.045
สภาพต้านทานความร้อนปรากฏ (R), m^2.K/W	22.4	20	22.4	21.7	25-22.22
ความหนาแน่น ρ, kg/m^3	16.02	16.02	32.04	27.23	41.65-48.06
ความร้อนจำเพาะ (C_p), kJ/kg°C	0.84	0.84	0.837	0.837	1.38
สภาพการแพร่กระจายความร้อน (α), m^2/s	$0.33x10^{-5}$	$0.38x10^{-5}$	$1.68x10^{-6}$	$2.01x10^{-6}$	$5.93\ x10^{-7}$
อุณหภูมิใช้งานสูงสุด, °C	190	540	205	650	82
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน, m/m°C	-	-	-	-	-
ความจุของเซลล์ที่ชิดกัน, %	-	-	-	-	-
ค่าดูดซึมน้ำ, เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	1	1	2	2	98
การกัดกร่อนวัสดุที่ถูกฉนวนหุ้ม	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	อาจกัดเหล็ก ,อลูมิเนียม, ทองแดง

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของฉนวนแบบเส้นใย (ต่อ)

คุณสมบัติ	เส้นใยแก้ว		เส้นใยแร่		เส้นใยเซลลูโลส
	แบบอัดเป็นแผ่น	แบบลูสฟิลล์ (Loose Fill)	แบบอัดเป็นแผ่น	แบบลูสฟิลล์ (Loose Fill)	แบบลูสฟิลล์ (Loose Fill)
- ระดับการกระจายของเปลวไฟ	15-20	15-20	15	0	15-40
- ระดับการมีส่วนเป็นเชื้อเพลิง	5-15	5-15	0	0	0-40
- ระดับการเกิดควัน	0-20	0-20	0	0	0-45
การเสื่อมสภาพจากผลของ					
- อุณหภูมิที่เป็นวัฏจักร	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการยุบตัว
- สัตว์จำพวกหนู แมลง ฯลฯ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ขึ้นอยู่กับการกระทำของสัตว์
- ความชื้น	ชั่วคราว	ชั่วคราว	ชั่วคราว	ชั่วคราว	สมรรถนะทางความร้อนลดลง
- ฟังไจ/แบคทีเรีย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	อาจเจริญเติบโต
- สภาพอากาศ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่นำออกมาสัมผัส
- ลม	ปานกลาง	พอสมควร	ปานกลาง	พอสมควร	เล็กน้อย
ปัจจัยที่กระทบต่อคน					
- การเป็นพิษ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
- กลิ่น	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
การดูดซับเสียง	ดี	ดี	ดี	ปานกลาง	ดี
ผลกระทบของอายุต่อ:					
- เสถียรภาพของขนาด	ไม่มี	จะยุบตัว	ไม่มี	ไม่มี	จะยุบตัว

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของฉนวนแบบเส้นใย (ต่อ)

คุณสมบัติ	เส้นใยแก้ว		เส้นใยแร่		เส้นใยเซลลูโลส
- สมรรถนะทางความร้อน	ไม่มี	การยุบตัวเป็นสาเหตุให้เสื่อมสภาพลงบ้าง	ไม่มี	การยุบตัวเป็นสาเหตุให้เสื่อมสภาพลงบ้าง	ลดลงเมื่อยุบตัว
- สภาพการติดไฟ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ขึ้นอยู่กับการจัดการในตอนแรก

ที่มา: ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน** (กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2537), 58.

6.2 คุณสมบัติของฉนวนตามมาตรฐาน ASTM

ASTM (The American Society for Testing Materials) หรือมาตรฐานของสมาคมทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา ได้สรุปและเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน(R), ค่าการนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อน (ρ)

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติของฉนวนทั่วไปและมาตรฐานASTM

ลักษณะฉนวน	ค่าต้านทานความร้อน (R) $m^2.K/W$	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	0.039-0.045	35.2-51.3	C734
-ใยแก้ว	19.8	0.05	9.9-16.0	C734
-ใยแร่	21.7	0.046	24.0	C734

ที่มา: ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน** (กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2537), 72.

6.3 การเปรียบเทียบวัสดุฉนวน

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของวัสดุฉนวน

วัสดุฉนวน	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อจำกัด
ใยเซลลูโลส	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ราคาต่ำถึงปานกลาง -ไม่เป็นพิษ	-ติดไฟได้ แต่ความสามารถในการสันดาปลดลงเมื่อใช้สารหน่วงไฟ -การซึมของน้ำสูง -อาจยุบตัวตามอายุ	-สารหน่วงไฟที่ใช้อาจกัดกร่อนเหล็กกล้า อลูมิเนียม และทองแดง -ไม่เหมาะกับการใช้งานในอาคารสาธารณะ
โฟมยืดหยุ่น (ยาง)	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ราคาต่ำ ติดตั้งและผนึกง่าย -การซึมของไอน้ำต่ำ -เสถียร และไม่เป็นพิษ	-ติดไฟได้ เมื่อลุกไหม้จะมีระดับการเกิดควันสูง -ไวต่อแสงอุลตราไวโอเลต	-อุณหภูมิในการใช้งานสูงสุดไม่เกิน 105°C -เป็นวัสดุติดไฟ มีข้อบังคับในการใช้งานในอาคาร
เซลลูลาร์กลาส	-ไม่ติดไฟ -ความชื้นแทรกซึมไม่ได้ -ทนแรงกดสูง -ไม่เป็นพิษในการใช้งานที่อุณหภูมิสูง	-สภาพการนำความร้อนปานกลาง -ราคาแพง	-เกิดวัฏจักรการแข็งตัวและละลายของน้ำที่มีอยู่ในช่องฉนวน
ใยแก้ว	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -เส้นใยอัดแผ่นแบบคลุม, แบบลูสฟิลล์,แบบสำหรับฉนวนหุ้มท่อมีราคาต่ำ -เสถียร และไม่เป็นพิษ -การดูดซึมน้ำต่ำ	-วัสดุฉาบของแบบเส้นใยอัดแผ่นอาจติดไฟและตัวประสานอาจลุกไหม้ -ถ้าไม่มีเปลือกหุ้มสมรรถนะอาจลดลงจากการแทรกซึมของอากาศ -แผ่นแข็งมีราคาปานกลางถึงสูง	-การซึมผ่านของไอน้ำสูง ต้องใช้เปลือกหุ้มกันไอน้ำ -เมื่อใช้กับวัสดุฉาบ หรือตัวประสานจำกัดอุณหภูมิเพียงปานกลาง
ใยแร่	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -เส้นใยอัดแผ่นแบบคลุม, แบบลูสฟิลล์มีราคาต่ำ -ถ้าไม่มีวัสดุฉาบจะไม่ติดไฟ -เสถียร และไม่เป็นพิษ	-วัสดุฉาบของแบบเส้นใยอัดแผ่นอาจติดไฟและตัวประสานอาจลุกไหม้ -ถ้าไม่มีเปลือกหุ้มสมรรถนะอาจลดลงจากการแทรกซึมของอากาศ -แบบแผ่นแข็งมีราคาปานกลางถึงสูง	-การซึมผ่านของไอน้ำสูง ต้องใช้เปลือกหุ้มกันไอน้ำ -เมื่อใช้กับวัสดุฉาบ หรือตัวประสานจำกัดอุณหภูมิเพียงปานกลาง

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของวัสดุฉนวน (ต่อ)

วัสดุฉนวน	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อจำกัด
โฟมโพลีสไตรีน	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -อาจใช้เป็นตัวผนึกหรือกันซึม -การดูดซึมน้ำต่ำ -เสถียร และไม่เป็นพิษ	-ราคาปานกลาง -ติดไฟ -อุณหภูมิใช้งานต่ำ	-อุณหภูมิในการใช้งานสูงสุดไม่เกิน 82°C
โฟมโพลียูรีเทน / โพลีไอโซไซยานูเรต	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -อาจใช้เป็นตัวผนึกหรือกันซึม -การดูดซึมน้ำต่ำ	-ราคาปานกลางถึงสูง -ติดไฟ -ต้องการเปลือกหุ้มกันไฟเมื่อติดตั้งในอาคารบังคับ	-ต้องการอุปกรณ์บรรจุทางกายภาพ

ที่มา: ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน** (กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2537), 73.

6.4 สมบัติทางกายภาพของวัสดุและฉนวนอาคาร

ตารางที่ 6 แสดงสมบัติทางกายภาพของวัสดุและฉนวนอาคาร

ประเภทวัสดุ	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
แผ่นยิบซัมบอร์ด	801	0.16
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นต่ำ	593	0.08
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง	801	0.14
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นสูง	1001	0.17
แผ่นชิ้นไม้อัดใช้รองรับ	641	0.31
ไม้อัด	545	0.14
แผ่นหุ้มความหนาแน่นปานกลาง	352	0.06
แผ่นหุ้มความหนาแน่นปานกลาง	288	0.05
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นสูงภายใต้อุณหภูมิใช้งาน	881	0.12
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นสูงภายใต้อุณหภูมิมาตรฐาน	1009	0.14
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นปานกลาง	801	0.09
เซลลูลาร์กลาส	136	0.055
ใยแก้ว แบบเส้นใยอัดเป็นแผ่น	16	0.045
ใยแก้วแบบลูสฟิลล์	16	0.05
ใยแร่ แบบเส้นใยอัดเป็นแผ่น	32	0.045
ใยแร่แบบลูสฟิลล์	27	0.047

ตารางที่ 6 แสดงสมบัติทางกายภาพของวัสดุและฉนวนอาคาร (ต่อ)

ประเภทวัสดุ	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
โพลีสไตรีนแบบโฟมอัดรีด ผิวเรียบ	29	0.029
โพลีสไตรีนแบบโฟมหล่อ	24	0.036
โพลียูรีเทน R-11 แบบโฟม	32	0.023

ที่มา: ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน** (กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2537), 76.

7. ระบบฉนวนกันความร้อนและการประยุกต์ใช้งาน

ระบบฉนวนกันความร้อนและการประยุกต์ใช้งานสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบใหญ่ๆ คือ ระบบฉนวนอาคาร ระบบฉนวนอุปกรณ์เชิงกล และระบบฉนวนในการประยุกต์ใช้งานเป็นพิเศษ

7.1 ระบบฉนวนอาคาร (Building Systems)

คือระบบฉนวนที่ติดตั้งกับอาคารหรือภายในอาคารที่ปิดมิดชิด เช่นใช้กับหลังคา เพดาน ผนัง หน้าต่าง-ประตู พื้นและฐานรากอาคาร ความร้อนที่สูญเสียหรือได้รับมาผ่านอาคารจะซับซ้อนกว่าการคิดเฉพาะฉนวนเพียงอย่างเดียว โดยปกติชิ้นส่วนโครงสร้างตัวอาคารเองจะมีการนำความร้อนมากกว่าอาคารที่มีการหุ้มฉนวน ฉนวนที่หุ้มอาจจัดวางไว้ระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างหรือผิวด้านในหรือผิวด้านนอกของชิ้นส่วนเหล่านี้ และการจัดวางฉนวนด้านนอกโครงจะช่วยลดผลกระทบของการลัดวงจรของการถ่ายเทความร้อนผ่านชิ้นส่วนโครงสร้าง

7.2 ระบบฉนวนอุปกรณ์เชิงกล (Mechanical Systems)

คือระบบฉนวนทางอุตสาหกรรม เช่นระบบท่อปรับอากาศทั้งทำความเย็นและร้อน ระบบท่อน้ำเย็นและร้อน ถังเก็บต่างๆ และอุปกรณ์ทางกลอื่นๆ ระบบนี้จะแตกต่างจากระบบฉนวนภายในอาคาร คือเลือกใช้โดยยึดหลักพื้นฐานที่อุณหภูมิการใช้งานฉนวนที่เหมาะสมกับงานที่ใช้หุ้มหรือบุในแต่ละลักษณะงาน เนื่องจากความสามารถในการใช้งานฉนวนแต่ละชนิดมีข้อจำกัดโดยทั่วไปที่อุณหภูมิสูงสุดหรือต่ำสุดตามสภาพของฉนวน หากใช้งานเกินข้อจำกัดของอุณหภูมิโครงสร้างฉนวนจะไม่มีเสถียรภาพหรือไม่มีสภาพความเป็นฉนวนอีกต่อไป

7.3 **ระบบฉนวนในการประยุกต์ใช้งานเป็นพิเศษ**

คือระบบนอกเหนือจากระบบทั้งสองที่กล่าวข้างต้น ได้แก่ สิ่งอำนวยความสะดวกในการเก็บรักษาความเย็น ห้องปรับสภาพแวดล้อม และงานเรือ เป็นต้น

8. การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนและมวลสาร

การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือการเลือกใช้วัสดุซึ่งสามารถกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร สิ่งที่ต้องคำนึงในเบื้องต้นสำหรับการเลือกใช้ฉนวนคือวัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน โดยการเลือกใช้ฉนวนมีข้อพิจารณาดังนี้

8.1 รูปแบบทางกายภาพ (Physical forms)

ฉนวนกันความร้อนมีรูปแบบทางกายภาพให้เลือกใช้งานได้หลายหลายตามความต้องการ เช่น ฉนวนแบบคลุม แบบแผ่น แบบพ่น แบบฉีด ฯลฯ การเลือกใช้ฉนวนต้องคำนึงถึงลักษณะของการใช้งาน, ตำแหน่งที่ติดตั้ง, ปัจจัยค่าใช้จ่ายและความคงทนแข็งแรงร่วมด้วย

8.2 ความหนาแน่นและความจุความร้อน (Bulk density and Heat capacity)

ความหนาแน่นและความจุความร้อนเป็นสมบัติที่ขึ้นกับกระบวนการผลิต ฉนวนที่มีคุณภาพดีจะมีความหนาแน่นและความจุความร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น ซึ่งฉนวนแต่ละชนิดจะมีค่าเหล่านี้แตกต่างกันออกไป ในทางปฏิบัติจะได้จากผู้ผลิต

8.3 อุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสม (Suitability for service temperature)

อุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสมเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญในการเลือกใช้ฉนวน เนื่องจากฉนวนแต่ละชนิดมีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิในการใช้งานแตกต่างกัน หากเลือกใช้ไม่เหมาะสมอาจเกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของฉนวนได้ ระดับอุณหภูมิในการใช้งานของฉนวนสามารถแบ่งได้ดังนี้

8.3.1 ฉนวนสำหรับอุณหภูมิตั้งแต่ -270 ถึง 100°C ได้แก่ กลาสโฟม (Glass Foam) เซลลูโลส (Cellulose Foam) ฯลฯ

8.3.2 ฉนวนสำหรับอุณหภูมิมากกว่า 100 ถึง 500°C ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกต กลาสโฟม ใยแร่ ฟอยล์ ฯลฯ

8.3.3 ฉนวนสำหรับอุณหภูมิมากกว่า 500°C ได้แก่ ฉนวนสารอนินทรีย์ประเภทคาร์บอนหรือโลหะ เช่น ฟอยล์ เซรามิก (Ceramics Foam) ใยเซรามิก (Ceramics Fiber) ใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ฯลฯ

8.4 การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal expansion)

การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของฉนวนอาจทำให้ประสิทธิภาพของฉนวนเปลี่ยนแปลงไป การเลือกใช้ฉนวนจึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากอุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสม โดยเลือกใช้ฉนวนที่มีช่วงอุณหภูมิใช้งานตรงตามความต้องการ เพื่อให้ฉนวนมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุดและมาอายุการใช้งานที่ยาวนาน

8.5 ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Thermal resistivity)

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฉนวนดูได้จากค่าต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R-Value) โดยฉนวนที่มีค่าต้านทานความร้อนสูงจะกันความร้อนได้ดี แต่ในการเลือกใช้ฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสำหรับอาคารต้องพิจารณาสมบัติอื่นๆในการใช้งานร่วมด้วย

8.6. การต้านทานความชื้น (Resistance to water penetration)

การต้านทานความชื้นของการใช้ฉนวนสำหรับอาคารโดยเฉพาะอาคารที่มีการปรับอากาศ หากเกิดความชื้นในฉนวนจะทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพหรือสูญเสียสมบัติความเป็นฉนวน การใช้ฉนวนที่เหมาะสมสำหรับอาคารจะสามารถช่วยป้องกันความชื้นให้กับอาคารได้ด้วย หากฉนวนที่ใช้ไม่มีการป้องกันความชื้น ควรใช้วัสดุหุ้มเพื่อกันความชื้น เช่น แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ แผ่นโพลีเอทีลีน แผ่นพีวีซี เป็นต้น ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดมีสมบัติในการกันความชื้นแตกต่างกัน

8.7 การต้านทานแรงอัด (Resistance to compaction)

ความต้านทานแรงอัดเป็นสมบัติที่ใช้เลือกฉนวนเพื่อให้เกิดความคงทนแข็งแรงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยเฉพาะฉนวนในส่วนที่ต้องรับแรงอัดสูง เช่น ฉนวนพื้น ฉนวนที่ขอบประตู-หน้าต่าง ฉนวนท่อและอุปกรณ์ ฯลฯ ฉนวนที่ต้องรับแรงอัดสูงอาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย ดังนั้นการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงความต้านทานแรงอัดด้วย ฉนวนที่มีสมบัติต้านทานแรงอัดสูงได้แก่ ฉนวนประเภทโฟม และโพลีเมอร์บางชนิด

8.8 ความแข็งแรงทางกล (Mechanical strength)

ความแข็งแรงทางกลของฉนวน หมายถึงความสามารถของฉนวนในการทนต่อแรงต่างๆ เช่น การรับน้ำหนักและแรงอัด การต้านทานแรงดึงและแรงเฉือน การทนต่อการกระแทกและการสั่นสะเทือน การทนต่อแรงบิด ความสามารถของฉนวนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ความหนาแน่น ขนาดของเซลล์ ขนาดและการจัดเรียงตัวของเส้นใยฉนวน ชนิดและปริมาณของตัวประสาน รวมไปถึงอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในการใช้งานด้วย

8.9 อันตรายจากไฟไหม้ (Fire Hazard)

อันตรายจากไฟไหม้มีผลสำคัญต่อฉนวนภายในอาคาร เพราะฉนวนที่กันความร้อนได้ดีมีสมบัติการป้องกันไฟไม่ดี สำหรับบางส่วนของอาคารที่มีอุปกรณ์ความร้อน การกันไฟไหม้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

8.10 การต้านทานต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to vermin and fungus)

ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อราเป็นสมบัติสำคัญในการเลือกใช้ฉนวน สภาพความชื้นสูงส่งผลให้ฉนวนเสื่อมสภาพได้ง่าย ทำให้สภาพความเป็นฉนวนลดต่ำลงและเป็นแหล่ง

เติบโตของเชื้อรา โดยเฉพาะฉนวนพวกสารอินทรีย์ เช่น ใยเซลลูโลส เป็นแหล่งอาหารและที่อยู่ของแมลงบางชนิด อาจทำให้ฉนวนเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย

8.11 การป้องกันเสียง (Acoustical resistance)

การป้องกันเสียงสำหรับบางส่วนของอาคารที่ต้องการลดการรบกวนจากเสียง จำเป็นต้องเลือกใช้ฉนวนที่มีสมบัติในการกันเสียงที่ดี ได้แก่ ฉนวนซึ่งมีความเป็นรูพรุน หรือฉนวนที่มีช่องว่างอากาศมาก

8.12 การปลอดจากกลิ่น (Freedom from odour)

การปลอดจากกลิ่นสำคัญต่อการใช้ฉนวน โดยเฉพาะฉนวนที่ติดตั้งภายในอาคาร ฉนวนที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบ หากเกิดการเสื่อมสภาพหรือเกิดการเผาไหม้จะเกิดไอสูดดมของสารเคมี

8.13 การต้านทานต่อการกัดกร่อนและสารเคมี (Corrosion and Chemical resistance)

ในการใช้งานฉนวน การเสื่อมสภาพของฉนวนด้วยสารเคมีและสภาพอากาศจะส่งผลให้ฉนวนมีประสิทธิภาพลดต่ำลง การต้านทานต่อการกัดกร่อนและสารเคมีจึงมีความสำคัญต่อการพิจารณาเลือกใช้ฉนวน

8.14 การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษาจะส่งผลถึงค่าใช้จ่ายหลังการติดตั้งฉนวน จึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

9. ความหมายของแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ด (Particle board) **และส่วนประกอบ**

จากนิยามความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2547 ระบุความหมายของแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดและส่วนประกอบอื่นๆไว้ดังนี้

9.1 แผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดชนิดอัดราบ (Flat pressed particle board)

หรือแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่น ทำจากชิ้นไม้ หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส(Lignocellulosic material) อัดในเครื่องอัดร้อนให้ยึดติดกันด้วยกาว ให้ทิศทางของแรงอัดตั้งฉากกับระนาบของแผ่น อาจทำเป็นแผ่นๆหรือทำต่อเนื่อง ชิ้นไม้ส่วนใหญ่นอนตัวขนานกับระนาบของแผ่น แผ่นชิ้นไม้อัดอาจทำให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นเดียว สามชั้น หลายชั้น หรือโครงสร้างที่มีชิ้นไม้ขนาดลดหลั่นกันก็ได้ มีความหนาแน่นในช่วง 400 kg/m^3 ถึง 900 kg/m^3

9.2 ปาร์ติเกิ้ล (Particle)

หรือชิ้นไม้ หมายถึงชิ้นหรือส่วนของเนื้อไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักร ชิ้นไม้อาจมีลักษณะต่างๆอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนี้

9.2.1 เกล็ด (Flake) หมายถึง ชิ้นไม้บางๆ มีทิศทางของเสี้ยนไม้ขนานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเสี้ยนไม้ แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย

9.2.2 เกล็ดใหญ่ (Wafer) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า

9.2.3 แถบ (Strand) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้างและมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ

9.2.4 ขี้กบ (Planer shaving) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็ก มีความหนาไม่เท่ากัน คือหนาที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบางและมีลักษณะเป็นแฉกขนนกและมักจะโค้งงอด้วย ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน (rotary cutterhead)

9.2.5 แท่ง (Splinter or Sliver) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่อมองทางหน้าตัด และมีความยาวตามแนวเสี้ยนไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา

9.2.6 เม็ด (Granule) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อย ซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน

9.2.7 ไม้บาง (Veneer) หมายถึง แผ่นเนื้อไม้บางๆที่ได้จากการปอกหรือฝาน

9.2.8 วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic material) หมายถึง วัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไม้และพืชต่างๆ ได้แก่ ชานอ้อย ป่าน ปอ เป็นต้น

9.2.9 กาว หมายถึง สารอินทรีย์ที่ใช้ติดชิ้นไม้ในแผ่นชิ้นไม้อัด โดยปกติเป็นกาวเรซินสังเคราะห์

9.2.10 สารเติมแต่ง หมายถึง สารที่ใช้เติมในการทำแผ่นชิ้นไม้อัด เพื่อให้มีสมบัติพิเศษขึ้น ซึ่งรวมทั้งสารรักษาเนื้อไม้ด้วย

10. กรรมวิธีการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ด

ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ด นอกเหนือจากการคัดเลือกวัสดุไม้และเศษวัสดุทางการเกษตรที่ใช้เป็นวัตถุดิบแล้ว ยังต้องอาศัยกระบวนการผลิตที่เป็นขั้นตอน หลายๆขึ้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการผลิตนั้นต้องอาศัยเครื่องมือ เครื่องจักรที่แตกต่างกันออกไป การเลือกใช้เครื่องมือและเครื่องจักรที่ถูกต้องตามจุดประสงค์ย่อมทำให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตและผลผลิตที่ได้รวมถึงต้นทุนการผลิตด้วย สำหรับขั้นตอนการผลิตจำแนกไว้เป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

10.1 เตรียมชิ้นส่วนวัสดุไม้หรือเศษวัสดุทางการเกษตร (Particle preparation)

คือการตัดทอนหรือลดขนาดวัตถุดิบให้มีรูปร่างและขนาดที่เหมาะสมสำหรับการผลิต สำหรับเครื่องมือเครื่องจักรที่นิยมใช้ในการตัดทอนหรือลดขนาดวัตถุดิบ ได้แก่ เครื่องชิปเปอร์(Chippers) เครื่องตัดไม้สั้น(Cutter Mills) เครื่องย่อยหยาบ(Hogs Mills) เครื่องย่อยตอกทุบและตีชิ้นไม้(Hammer mills & Wing-beater Mills) เครื่องกระแทกชิ้นไม้(Impact Mills) หรือเครื่องบดเสียดสีชิ้นไม้(Attrition Mills) เป็นต้น

10.2 การคัดแยกขนาด (Particle Classification)

คือขั้นตอนคัดขนาดของชิ้นวัตถุดิบหลังจากการตัดทอนหรือลดขนาดแล้ว เพื่อให้มีขนาดสม่ำเสมอกันโดยตลอด ทั้งนี้จะทำให้แผ่นบอร์ดที่ผลิตได้มีโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ดี การคัดแยกขนาดชิ้นวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตแผ่นบอร์ดจำแนกได้ 3 วิธี คือ

10.2.1 วิธีการร่อน(Screening) เป็นการคัดแยกด้วยเครื่องร่อนชนิดต่างๆ เช่น เครื่องร่อนชนิดถาดเอียง เครื่องร่อนชนิดหมุน เครื่องร่อนชนิดระบบสั่นสะเทือน ฯลฯ

10.2.2 คัดแยกโดยใช้อากาศ(Air Classification) เป็นการคัดแยกตามน้ำหนักพื้นผิวของวัตถุดิบ โดยนำวัตถุดิบที่จะทำการคัดแยกไปผ่านถังอากาศหมุนวนที่มีความเร็วสูง

10.2.3 วิธีร่อนและผ่านอากาศหมุน(Screening and Air Classification) เป็นการใช้เครื่องคัดแยกที่ผสมผสานกันระหว่างตะแกรงร่อนและผ่านถังอากาศ

10.3 อบชิ้นเศษวัสดุไม้หรือเศษวัสดุทางการเกษตร (Particle Drying)

หลังจากการเตรียมวัตถุดิบได้ขนาดและชนิดตามต้องการแล้ว จะนำเศษวัสดุไม้หรือเศษวัสดุทางการเกษตรไปทำการอบแห้งเสียก่อนเพื่อไล่ความชื้นออกจากเนื้อวัตถุดิบหรือให้ความชื้นหลงเหลือน้อยที่สุดและมีความแห้งที่สม่ำเสมอกันทั้งหมด ก่อนที่จะนำไปผสมการประสาน เครื่องอบที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติในการป้อนชิ้นวัตถุดิบได้อย่างรวดเร็วในกระแสของอากาศร้อน และมีการหมุนเวียนของอากาศได้อย่างรวดเร็วเพื่อลดระยะเวลาการอบให้สั้นที่สุด ให้ความชื้นออกไปจากชิ้นไม้ได้อย่างรวดเร็ว ทั้งยังป้องกันการลุกไหม้หรือติดไฟของชิ้นเศษไม้ด้วย เครื่องอบที่นิยมใช้กันมีหลายรูปแบบ เช่น เครื่องอบแบบหมุนแนวตั้ง(The Horizontal rotating type) เครื่องอบแบบอยู่กับที่ (The Horizontal fixed type) ฯลฯ

10.4 ผสมกาวประสานและสารเติมแต่ง (Blending)

เป็นการรวมกาว ขี้ผึ้ง และสารผสมอื่นๆ เข้ากับวัตถุดิบที่นำมาทำแผ่นบอร์ด เป็นวิธีผสมคลุกเคล้าโดยการฉีดสเปรย์กาวน้ำ และขี้ผึ้งอิมัลชันไปบนชิ้นวัตถุดิบขณะที่เคลื่อนที่ผ่าน

การคลุกในเครื่องผสม ให้กาว ขี้ผึ้งและสารเติมแต่งกระจายผสมผสานอย่างสม่ำเสมอ จึงจะทำให้แผ่นบอร์ดมีคุณสมบัติที่ดี สำหรับเครื่องผสมที่นิยมใช้กันทั่วๆไป ได้แก่

10.4.1 เครื่องผสมแบบใช้เวลาผสมนาน(Long retention) มีทั้งแบบชนิดกวนด้วยใบพาย (Paddle-type blending) และแบบหมุนผสม (Rotary blending)

10.4.2 เครื่องผสมแบบใช้เวลาสั้น(Short retention) โดยทั่วไปเครื่องผสมแบบนี้จะมีขนาดเล็กกว่าแบบแรก ใช้ความเร็วรอบในการผสมสูง มีใช้อยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น Blow-line blending, Attrition-mill blending, Vertical blending เป็นต้น

10.5 ขึ้นรูปแบบแผ่นวัสดุก่อนอัด (Mate formation)

เป็นการนำวัตถุดิบที่เป็นวัสดุเศษไม้ซึ่งผสมกาวและสารเติมแต่งแล้วมาโรยลงในแบบที่เตรียมไว้ การโรยต้องโรยให้มีความหนาอย่างสม่ำเสมอกันโดยตลอดทั่วแบบที่เตรียมไว้ หากชิ้นวัสดุเศษไม้มีการกระจายไม่สม่ำเสมอแล้วจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพผันผวนได้ ความหนาแน่นในแผ่นจะไม่เท่ากันและเกิดการคืนตัวหดตัวทางความหนาไม่เท่ากัน มีผลให้แผ่นบอร์ดเกิดการโค้งงอได้ ในการโรยชิ้นวัสดุเศษไม้สามารถโรยโดยใช้มือโรยเองลงในแบบที่เตรียมไว้หรือใช้เครื่องโรยก็ได้ เครื่องโรยที่นิยมใช้มีอยู่หลายชนิด เช่น เครื่องโรยแบบฟาร์นิ(Fahrni spreaders) เครื่องโรยแบบเช็งค์ (Schenck spreaders) เครื่องโรยแบบDurand microfelter เครื่องโรยแบบ Wurtex เครื่องโรยแบบเรียงตัวตามเสี้ยน(Orienting formers) ฯลฯ

10.6 อัดวัสดุที่เตรียมไว้แล้ว (Pressing operation)

เป็นขั้นตอนสำคัญในการอัดวัตถุดิบให้เป็นแผ่นแข็งตัวขึ้น โดยขบวนการอัดร้อนซึ่งความร้อนและแรงอัดจะทำให้กาวหลอมละลายแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของวัสดุเศษไม้ ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกัน ในขณะเดียวกันก็จะเริ่มแข็งตัว(เกิดปฏิกริยาโพลีเมอร์ไรเซชั่นของกาว) ในขั้นตอนอัดร้อนนี้จะต้องใช้เครื่องอัดร้อน เครื่องอัดร้อนที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบใหญ่ๆ คือเครื่องอัดร้อนแบบแท่นอัด(Platen presses) และเครื่องอัดร้อนแบบอัดรีดต่อเนื่อง (Continuous presses) สำหรับเครื่องอัดร้อนแบบแท่นอัด มีใช้อยู่ 2 ชนิดคือ เครื่องอัดร้อนช่องอัดช่องเดียว (Single-opening) และเครื่องอัดร้อนชนิดหลายชั้น (Multiple-opening)

หลังจากขั้นตอนอัดขึ้นรูปแผ่นบอร์ดแล้วจะต้องนำแผ่นบอร์ดที่ได้ไปผึ่งให้แห้งรอการแข็งตัวของแผ่นบอร์ดอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปตกแต่ง เช่น การตัดขอบ แต่งผิวหน้า เคลือบผิวหน้า เครื่องมือที่ใช้ในการตกแต่งแผ่นบอร์ด ได้แก่ เครื่องขัดผิว เลื่อยวงเดือน เครื่องพ่นเคลือบผิว ฯลฯ

11. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติของแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ด

11.1 ชนิดของไม้ (Wood species)

ชนิดของไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของแผ่นบอร์ด การเลือกชนิดชนิดของไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะเกี่ยวเนื่องไปถึงตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต เช่น การเลือกใช้ชนิดและปริมาณของตัวประสาน การใช้สารเติมแต่งพิเศษ ปริมาณและการกระจายความชื้นของแผ่นที่เตรียมอัด การเรียงเสี้ยนของชนิดไม้ ความถ่วงจำเพาะของแผ่นไม้บอร์ดที่อัดได้ เป็นต้น นอกจากนี้ตัวแปรคุณสมบัติของไม้ต่างชนิดกันย่อมทำให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดที่ได้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เช่น ความหนาแน่นของเนื้อไม้ ความสามารถในการจับยึดของไม้ ความเป็นกรด-ด่างของเนื้อไม้ ความสามารถในการเปียกตัวของไม้ สารแทรกในไม้ เป็นต้น

11.2 ลักษณะขนาดรูปร่างของชิ้นไม้ (Morphology of particle)

ขนาดรูปร่างของชิ้นไม้นับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดที่ผลิตได้ เช่น ขนาดความกว้าง ความยาว ความหนาของชิ้นไม้ สำหรับค่าคุณสมบัติการต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดจะลดลงเมื่อเพิ่มความหนาของชิ้นไม้ แต่ค่านี้จะเพิ่มขึ้นตามความยาวที่เพิ่มขึ้นของชิ้นไม้ ส่วนค่าในการพองตัวด้านความหนาและการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของชิ้นไม้ที่เพิ่มขึ้น

11.3 กาวและสารเติมแต่ง (Resin and application)

กาวประสานเป็นวัตถุดิบที่สำคัญเพราะใช้เป็นตัวประสานยึดเหนี่ยวให้เศษชิ้นไม้ยึดติดกันเป็นแผ่น การใช้กาวและสารเติมแต่งผสมกับเศษชิ้นไม้ที่มีประสิทธิภาพจะทำให้ได้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ดที่มีคุณภาพดี สำหรับตัวแปรที่ทำให้การผสมกาวและสารเติมแต่งกับเศษชิ้นไม้เกิดประสิทธิภาพดีมาจากหลายปัจจัย เช่น

11.3.1 ชนิดของกาวและสารเติมแต่ง โดยทั่วไปนิยามใช้กาวเป็นตัวประสานอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

11.3.1.1 กาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์(PF, Phenol Formaldehyde) ใช้ผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ต้องการความแข็งแรงมาก คงสภาพได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง

11.3.1.2 กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์(UF, Urea Formaldehyde) ใช้ผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ประโยชน์ภายในอาคาร ความแข็งแรงปานกลาง คงสภาพได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่ไม่รุนแรงนัก

11.3.1.3 กาวเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์(MF, Melamine Formaldehyde) และ**กาวเมลามีน ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์**(MUF, Melamine Urea Formaldehyde) ใช้ผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีคุณสมบัติในการต้านทานน้ำสูงและแข็งตัวรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง

11.3.2 ปริมาณของกาวและสารเติมแต่ง ปริมาณของกาวและสารเติมแต่งที่ใช้ผลิตจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของแผ่นที่ผลิต โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ4-12% โดยเทียบจากน้ำหนักกาวต่อชิ้นไม้แห้ง

11.3.3 การผสมกาวกับชิ้นเศษไม้ การผสมกาวกับชิ้นไม้ในเครื่องผสมการต้องมีการกระจายของกาวอย่างสม่ำเสมอทั่วชิ้นไม้ ขนาดละอองกาวไม่ควรเกิน 8-35 ไมครอน เพราะหากละอองกาวเป็นฝอยละเอียดมากขึ้นจะช่วยให้ค่ายึดเหนี่ยวภายในสูงขึ้น แต่ถ้าละอองกาวใหญ่ขึ้นค่ายึดเหนี่ยวภายในจะลดน้อยลง นอกจากนี้ต้องพิจารณาถึงระยะเวลาในการพ่นกาว แรงดันลมในการพ่นกาว ความหนืดของกาว ขนาดของชิ้นไม้ที่สม่ำเสมอ อุณหภูมิของชิ้นไม้ รวมถึงความเร็วในการหมุนคลุกของถังผสมกาวด้วย

11.4 การควบคุมความชื้น (Moisture control)

ความชื้นในชิ้นเศษไม้ที่จะนำมาผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดต้องไม่สูงกว่า 50-60% หากความชื้นในวัสดุเศษไม้มีมากเกินไป เมื่อนำแผ่นมาอัดร้อนจะเกิดไอน้ำปริมาณมากเกินไป ทำให้เกิดปฏิกริยาโพลีเมอร์ไรเซชั่นลดลง ตัวประสานยึดตัวกาวกับชั้นผิวเศษไม้ก็จะลดลงด้วย ทำให้ใช้เวลาในการแข็งตัวของกาวนานขึ้นส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการอัดร้อนนานขึ้น เมื่อใช้ความร้อนขณะอัดแผ่นบอร์ดสูงขึ้นและนานขึ้นย่อมมีผลกับผิวหน้าชั้นนอกของแผ่นบอร์ดที่จะได้รับความร้อนมากกว่าชั้นไส้ใน ทำให้กาวส่วนผิวหน้าเกิดการยึดตัวหรือแข็งตัวก่อนชั้นไส้ใน ปริมาณความชื้นหรือละอองไอน้ำจะแผ่กระจายออกมาตามผิวหน้าชั้นนอกได้ยาก การปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์เมื่อได้รับความร้อนจะแผ่กระจายออกได้ยาก อาจเกิดการประทุที่ผิวหน้าของแผ่นบอร์ดขณะปลดออกจากการอัด และจะทำให้ความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดลดลง

11.5 การเรียงชั้นตามขนาดชิ้นไม้ (Layering by particle size)

การผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดชนิด 3 ชั้น หรือหลายชั้น มักใช้การฟอร์มแผ่นโดยใช้ชิ้นไม้ขนาดละเอียดโรยเป็นชั้นผิวหน้า เพื่อให้ได้แผ่นบอร์ดที่มีผิวหน้าราบเรียบมากที่สุด สามารถนำไปปิดเคลือบทับหน้าด้วยแผ่นเมลามีนและโพลีเอสเตอร์ หรือเคลือบพ่นสี แลกเกอร์ ยูรีเทน ให้เกิดความเงางามได้ดี นอกจากนี้แผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดชนิด 3 ชั้น มีความแข็งแรงระหว่างผิวชั้นนอกกับไส้ชั้นในต่างกัน คือผิวชั้นนอกจะมีความแข็งแรงด้านแรงดัดและความแข็งตึงผิวที่สูงกว่า การใช้กาวของชั้นผิวจะให้การยึดเกาะที่ดี แผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดหลายชั้นจะให้คุณสมบัติที่ดีกว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดชั้นเดียว

11.6 การเรียงตัวของชิ้นไม้ (Particle alignment)

โดยทั่วไปแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดมีชั้นไม้เรียงตัวกันแบบสุ่ม คือขวางบ้าง ตั้งบ้าง ขนานบ้าง ขนานในแนวราบ ตามแนวยาวของแผ่นบ้าง ขึ้นอยู่กับวิธีการฟอร์มแผ่นและลักษณะของชิ้นไม้ที่นำมาใช้ แผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ดที่ผลิตโดยให้ชิ้นไม้เรียงตัวขนานในแนวราบไปในทิศทางเดียวกันมากที่สุดจะทำให้คุณสมบัติของแผ่นบอร์ดมีความแข็งแรงมากกว่าแผ่นบอร์ดที่ที่มีชิ้นไม้เรียงตัวแบบสุ่ม ชิ้นไม้ที่มีความเพรียวมากจะเรียงตัวกันดี การขนานสลับกันระหว่างชั้น เมื่อทำเป็นแผ่นแล้วจะได้ความแข็งแรงเทียบเท่าไม้อัด หากผลิตให้มีขนาดใหญ่หรือหนาขึ้นโดยใช้ชิ้นไม้ที่มีความยาวและเพรียวมากๆ สามารถนำไปใช้ทดแทนไม้ได้

11.7 การควบคุมการอัดร้อน (Hot pressing control)

การควบคุมการอัดร้อนโดยเฉพาะเวลาที่แท่นอัดบีบอัดแผ่นจนถึงความหนาที่กำหนด เป็นสิ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความหนาของแผ่นที่กำหนด การใช้เวลาในการปิดแท่นอัดที่ช้า(ระยะเวลาในการบีบอัดจนถึงความหนาที่กำหนด) จะส่งผลให้ความหนาแน่นมีการกระจายตัวจากชั้นไส้ในถึงผิวชั้นนอกได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ต้องระวังการแข็งตัวของชั้นผิวนอกก่อนชั้นไส้ใน หากใช้ระยะเวลาในการบีบอัดที่เร็วขึ้นจะต้องใช้แรงดันอัดที่สูงขึ้นด้วย อีกทั้งต้องใช้อุณหภูมิในการอัดร้อนสูงกว่าปกติ

11.8 ความหนาแน่นของแผ่นบอร์ด (Board density)

โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มความหนาแน่นของแผ่นที่ผลิตจะส่งผลให้ชิ้นไม้ที่ผสมกาวแล้วเกิดการยึดจับระหว่างกันได้ใกล้ชิดมากขึ้น คุณสมบัติด้านความแข็งแรงจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อแช่น้ำจะมีการการพองตัวน้อย และการดูดซึมความชื้นก็น้อยด้วยเช่นกัน

11.9 การปรับสภาวะของแผ่นก่อนการใช้งาน (Condition)

หลังจากขั้นตอนการอัดร้อนจะต้องนำแผ่นบอร์ดมาผึ่งเพื่อให้เย็นตัว ในทางปฏิบัติอาจนำไปเข้าชั้นรองรับแผ่นบอร์ดเพื่อระบายความร้อนออกโดยอาศัยอากาศเป็นตัวระบายพัดผ่าน หรือนำไปเข้าเครื่องวงล้อตะแกรงหมุน หรือนำไปกองสุมไว้ก็ได้แต่การกองสุมต้องไม่ให้อุณหภูมิของการกองสุมร้อนเกิน 50-60°C การผึ่งระบายความร้อนออกจากแผ่นบอร์ดที่ผลิตได้ใช้เวลาประมาณ1-4วัน (24-96ชั่วโมง) จึงนำไปใช้ตกแต่งในขั้นตอนต่อไปได้ การระบายความร้อนต้องปล่อยให้ความร้อนค่อยๆระบายออกไปเอง การระบายความร้อนแบบเร่งรีบอาจทำให้แผ่นบอร์ดบิดงอและแตกแยกได้ง่าย และความชื้นก็มีโอกาสแทรกลงไปในเนื้อแผ่นบอร์ด การระบายความร้อนแบบกองสุมน่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดแต่ต้องระวังรักษาอุณหภูมิการสุมร้อนไม่ให้ร้อนเกินไป เพราะแผ่นบอร์ดที่กองสุมอาจเกิดการลุกไหม้ได้

12. เส้นใย (Fibers)

สามารถแยกประเภทเส้นใยได้หลายแบบตามลักษณะเฉพาะ ในกรณีแบ่งตามการเกิดขึ้นหรือแหล่งกำเนิดของเส้นใยจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

12.1 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers)

เป็นอินทรีย์วัตถุที่พบได้ตามธรรมชาติ มีปริมาณมากและสามารถเกิดขึ้นใหม่ได้เรื่อยๆ มีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ จึงนิยมใช้เป็นสารตัวเติมและสารเสริมแรงในพลาสติกโดยขึ้นอยู่กับชนิดเส้นใย องค์ประกอบที่สำคัญในโครงสร้างทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติได้แก่ เซลลูโลส(Cellulose) เฮมิเซลลูโลส(Hemicelluloses) ลิกนิน(Lignin) และสารประกอบอื่นๆ สำหรับเส้นใยธรรมชาติสามารถแบ่งย่อยเป็นเส้นใยพืช (จำพวก Cellulose) เช่น ฝ้าย นุ่น ปอ ป่าน ลินิน เส้นใยสัตว์(จำพวกProtein) เช่น ขนสัตว์ ไหม เส้นผม และเส้นใยจำพวกแร่ เช่นแร่ใยหิน (Asbestos)

12.2 เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made Fibers)

เป็นเส้นใยที่เกิดจากการประดิษฐ์และสังเคราะห์ขึ้น แบ่งย่อยเป็นที่ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เช่น เรยอน อะซิเทต ไตรอะซิเทต เส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไนลอน โพลีเอสเทอร์ และแร่เหล็ก เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก กราไฟต์

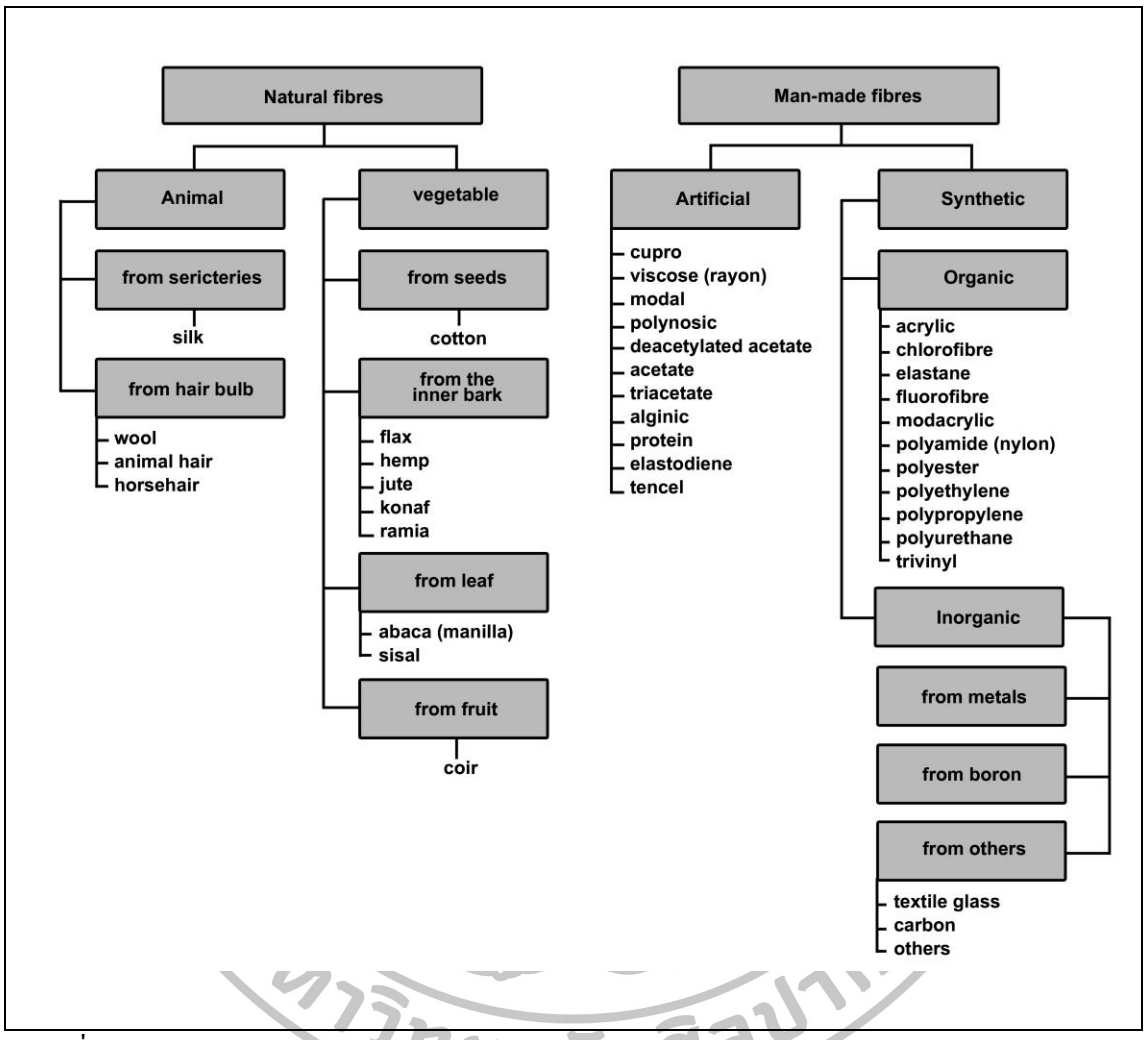
โครงสร้างกายภาพของเส้นใยสมารถเห็นได้จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 250-1000 เท่า โดยโครงสร้างทางกายภาพนั้นรวมในส่วนของความยาว ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง รูปร่างภาคตัดขวาง ลักษณะรูปร่างผิว และความหยักของเส้นใย

เส้นใยมีทั้งชนิด เส้นใยสั้น(Staple Fibers) ที่เป็นกลุ่มเส้นใยธรรมชาติ และ เส้นใยยาว (Filament Fibers) เป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องจากวิธีการผลิต ลักษณะเส้นใยสั้น-ยาวนั้นมีผลต่อการใช้งานและคุณสมบัติของ ผลิตภัณฑ์ สำหรับขนาดใหญ่-เล็กของเส้นใยก็มีผลด้วยเช่นกัน เส้นใยที่มีขนาดใหญ่จะมีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า แต่เส้นใยธรรมชาติมักมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ

13. องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืช

เส้นใยพืชจัดเป็นเส้นใยธรรมชาติ องค์ประกอบหลักทางเคมีของเส้นใยพืชสามารถแบ่งออกเป็น เซลลูโลส(Cellulose) เฮมิเซลลูโลส(Hemicelluloses) ลิกนิน(Lignin) และสารแทรกอื่นๆ เช่น ในกรณีของ องค์ประกอบทางเคมีของไม้(Chemical components of wood) จะ

มีเซลลูโลสประมาณ 40-50% เฮมิเซลลูโลสประมาณ 20-35% ลิกนินประมาณ 15-35% และสารแทรก (Extractives)ประมาณ 3-10%



ภาพที่ 5 แสดงการจำแนกประเภทเส้นใย (Fibers)

ที่มา: **Classification of Fibers**, accessed July 6, 2011, available from http://qwikstep.eu/search/fibres-textiles.html

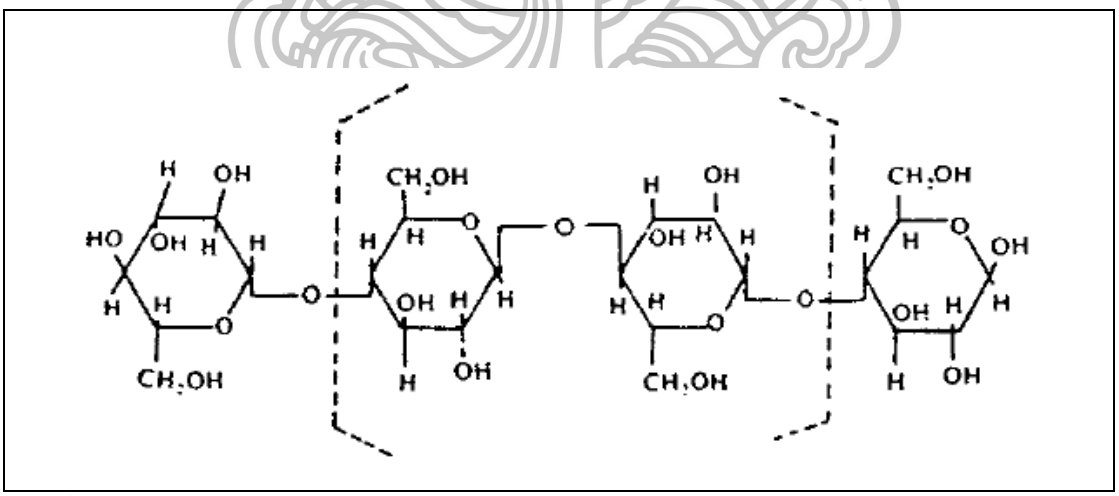
13.1 โพลีซัคคาไลด์ (Polysaccharides)

เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเส้นใยที่มีอยู่ประมาณ 60-80% ของเนื้อไม้ เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรต(Carbohydrate) เมื่อทำปฏิกิริยา Hydrolyzed กับกรดเจือจางจะได้น้ำตาลกลูโคส (Glucose) แมนโนส(Mannose) และไซโลส(Xylose) โพลีซัคคาไลด์แบ่งเป็นเซลลูโลส(Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส(Hemicelluloses) รวมเรียกว่า โฮโลเซลลูโลส

(Holocelluloses) โดยสามารถใช้วิธีอ็อกซิไดซ์(Oxidized) เพื่อสกัดเอาลิกนินและสารแทรกออกไป ให้เหลือแต่โฮโลเซลลูโลส จากนั้นจึงนำโฮโลเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับด่างเจือจาง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) 17.5% หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) 10-24% จะทำละลายกับเฮมิเซลลูโลสออกมา 15-30% จะเหลือเพียงเซลลูโลสที่ไม่ละลายในด่างเจือจาง

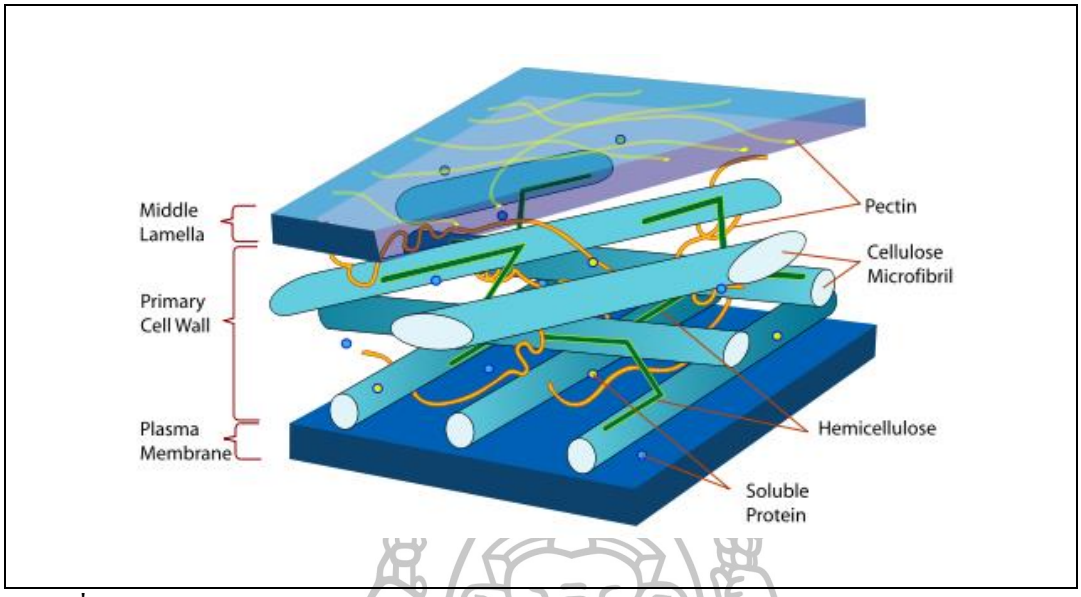
13.2 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็น สารประกอบโพลีซัคคาไลด์เชิงเส้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของผนังเซลล์พืช โดยมีสารอื่นร่วมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น เฮมิเซลลูโลส(Hemicelluloses) ลิกนิน(Lignin) โดยเซลลูโลสจะอยู่ชั้นในสุดของผนังเซลล์พืช เรียงตัวขนานกันและรวมกลุ่มด้วยพันธะไฮโดรเจนอยู่ในชั้นไมโครไฟบริล(Micro fibril) ที่หุ้มด้วยร่างแหของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินซึ่งมีลักษณะแข็งหุ้มอยู่ชั้นนอกสุดของผนังเซลล์พืช ซึ่งเซลลูโลสจะทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับพืช โดยเซลลูโลสในพืชชนิดเดียวกันอาจจะแตกต่างกันไปตามการจัดการ อายุการเก็บเกี่ยวและสายพันธุ์ เซลลูโลสนั้นมีความเหนียว น้ำหนักโมเลกุลสูง มีความเป็นผลึกสูง สามารถทำการแยกเอาสารแทรกลิกนินออกจากไม้ได้โดยที่เซลลูโลสยังคงอยู่เพราะเซลลูโลสไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้ต้มเยื่อไม้และไม่ถูกอ็อกซิไดซ์โดยสารเคมีฟอกเยื่อไม้



ภาพที่ 6 แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: University of Helsinki, **Structural formula of microcrystalline cellulose**, accessed July 6, 2011, available from http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/farma/vk/westermarck/ch2.html



ภาพที่ 7 โครงสร้างผนังเซลล์พืช (plant cell wall structure)

ที่มา: The University of Adelaide, **What is a Plant Cell Wall**, accessed July 6, 2011, available from http://www.adelaide.edu.au/plant-cell-walls/what

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณเซลลูโลสในเศษวัสดุจากอุตสาหกรรมและการเกษตร

วัตถุดิบ	ปริมาณเซลลูโลส (%)
ฝ้าย	8.00
เนื้อไม้	12.00
กระดาษหนังสือพิมพ์	75.00
ข้าวสาลี	25.00
ข้าวเจ้า	25.00
ข้าวบาร์เลย์	12.00
ข้าวโอ๊ต	25.00
ข้าวไรย์	25.00
ชานอ้อย	12.00
เส้นใยชานอ้อย	25.00
ชานอ้อยส่วนแกน	12.00
เปลือกถั่วเหลือง	25.00

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณเซลลูโลสในเศษวัสดุจากอุตสาหกรรมและการเกษตร (ต่อ)

วัตถุดิบ	ปริมาณเซลลูโลส (%)
ซังข้าวโพด	25.00
เปลือกข้าวโพด	12.00

ที่มา: จุฑารัตน์ พงษ์โนรี. “การสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดและการประยุกต์ใช้ในอาหาร” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2547.

13.3 **เฮมิเซลลูโลส(Hemicelluloses)**

เป็นโพลีซัคคาไลด์ชนิดหนึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส(Glucose) กาแลคโทส(Galactose) แมนโนส(Mannose) ไซโลส (Xylose) อะราบิโนส(Arabinose) รวมทั้งกรดกลูคูโรนิค(glucuronic acid) และกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืช โดยรวมอยู่การสารอื่นๆ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ซังข้าวโพด เฮกโซแซน ในส่วนของเฮมิเซลลูโลสนั้นมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $(C_6H_{10}O_5)_{2n}$ มีโครงสร้างซับซ้อนและเป็นผลึกมากกว่าเซลลูโลส

13.4 ลิกนิน(Lignin)

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบรวมอยู่กับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติในการยืดหยุ่น พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทานเพราะลิกนินมีหน้าที่คล้ายกาวเชื่อมเส้นใยเข้าด้วยกัน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส(Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์สำคัญในรา นอกจากนี้ลักษณะของลิกนินจะไม่เป็นผลึก มีความสมารถในการดูดซึมสูงและเมื่อถูกความร้อนจะอ่อนตัวลง

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งสูงและในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินมาก

14. คุณสมบัติของเส้นใยเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ทนต่อการเน่าเปื่อยและแรงบด ทนต่อสารเคมีที่เป็นด่างหรือกรดอ่อนๆ ไม่ละลายในตัวทำละลายส่วนใหญ่ ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ แต่เซลลูโลสสามารถดูดซับน้ำไว้ที่บริเวณผิวจึงเกิดการพองตัว

เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจับตัวหนาทึบเป็นเส้นหยาบ มีโมเลกุลที่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและสวนทางกันทำให้เส้นใยแข็งแรงไม่เปราะง่าย แต่ในบางส่วนที่โมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ จับกันไม่แน่น จะดูดซับน้ำทำให้เกิดการพองตัวได้ โดยความสามารถในการพองตัวทั้งในน้ำและสารละลายจะแตกต่างกันไป

ความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสในสารละลายโดยเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ < น้ำ < เกลือ < กรด < ด่าง

14.1 การละลาย

จากสมบัติของเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายกรดอ่อนและด่างอ่อน แต่จะละลายในกรดแก่และด่างแก่ จึงใช้ลักษณะการละลายในกรดหรือด่างนี้เป็นตัวจำแนกชนิดของเซลลูโลส โดยแบ่งเป็น 3 ชนิด

14.1.1 แอลฟาเซลลูโลส (α-cellulose) ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮ-ดรอกไซด์ร้อยละ 17.5

14.1.2 เบต้าเซลลูโลส (β-cellulose) สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 17.5

14.1.3 แกมมาเซลลูโลส (γ-cellulose) สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 17.5 และสารละลายกรดเจือจาง

14.2 ความหนืด

เป็นสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลส ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ความหนืดจะเพิ่มขึ้นทำให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

14.3 การดูดซับความชื้น

เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับ การคายไอน้ำหรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัว จนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยสมดุลความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพในบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่าต้านทานแรงดึง(Tensile Strength) จะเพิ่มขึ้น

14.4 **ความหนาแน่น**

เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยวจะไม่มีค่าความหนาแน่นที่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มา หรืออาจเปลี่ยนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

พืชที่มีศักยภาพในการนำเส้นใยมาผลิตเซลลูโลสเพื่อนำไปใช้ในประโยชน์อื่นๆ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

14.4.1 กลุ่มปลูกเพื่ออุตสาหกรรม (Industrial Crops) ได้แก่ ฝ้าย ป่านศรนารายณ์ ปอชนิดต่างๆ และไม้โตเร็ว

14.4.2 กลุ่มส่วนเหลือจากการทำการเกษตร (Agricultural By-products) ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด ซังข้าวโพด ชานอ้อย ใบสับปะรด ใยมะพร้าว กล้วยและธัญพืชต่างๆ

14.4.3 กลุ่มวัชพืช (Natural Grow Crops) ได้แก่ หญ้าแฝก หญ้าคา ต้นอ้อ และผักตบชวา

15. ข้อดีของการพัฒนาเส้นใยเซลลูโลสเป็นวัสดุก่อสร้าง

15.1 เส้นใยเซลลูโลสไม่เป็นสารพิษหรือเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะที่เส้นใยหินที่ใช้ผลิตกระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องแผ่นเรียบ เป็นวัสดุที่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจเมื่อใช้ไปนานๆ

15.2 เป็นวัสดุที่ใช้ได้ไม่มีวันหมดไป ในพืชและต้นไม้ทุกชนิดมีเส้นใยเซลลูโลส จึงมีเส้นใยเซลลูโลสอยู่รอบตัว สามารถเกิดใหม่ได้ตลอดเวลา

15.3 เป็นวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) ด้วยคุณสมบัติของเส้นใยเซลลูโลสหากใช้กรรมวิธีที่เหมาะสมก็จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ปัจจุบันมีการนำกระดาษที่ใช้แล้ว ซึ่งเยื่อกระดาษนั้นเป็นเซลลูโลสของต้นไม้ มาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น วัสดุผิวพื้นและแผ่นไฟเบอร์อัดแน่น

15.4 ช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาส่วนเหลือใช้จากการเกษตร

15.5 มีน้ำหนักเบาและความหนาแน่นต่ำ แม้เส้นใยธรรมชาติจะมีความแข็งแรงไม่สูงเท่ากับใยสังเคราะห์ แต่เมื่อนำมาผลิตเป็นวัสดุผสม(Composite) ก็จะได้วัสดุที่มีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง เนื่องจากมีสมบัติด้านความหนาแน่นต่ำ

15.6 ไม่ขัดสีและสร้างความสึกหรอให้เครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูป

15.7 ใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าการผลิตใยสังเคราะห์

16. คุณสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยเซลลูโลส[1]

ฉนวน หมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจาก

---

[1]กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, **การใช้ฉนวน** (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543), 42.

ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุหรือการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ระหว่างวัตถุ สามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้ง 2 ด้านมีความแตกต่างกัน

วัสดุประเภทเส้นใยธรรมชาติ (Organic Fibrous Material) เช่น ไม้ ชานอ้อย ฝ้าย ขนสัตว์ และเส้นใยเซลลูโลส ฯลฯ จะมีคุณสมบัติของวัสดุที่มีความเป็นฉนวนหรือมีค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ วัสดุที่เป็นฉนวนจะมีการแบ่งเป็นประเภทต่างๆ โดยการแยกตามลักษณะทางกายภาพของวัสดุ หรือจะแบ่งตามลักษณะคุณสมบัติของส่วนประกอบหลักที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับทำฉนวนความร้อน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

16.1 ประเภทที่เป็นเส้นใย (Fiber) ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ จำนวนมาก

16.2 ประเภทที่เป็นช่องหรือเซลล์ (Cell) โดยแต่ละช่องผลึกแยกออกจากกัน

16.3 ประเภทที่วัสดุเป็นโพรง หรือช่องกลวง (Granule) ซึ่งอากาศสามารถถ่ายเทผ่านช่องเหล่านั้นได้

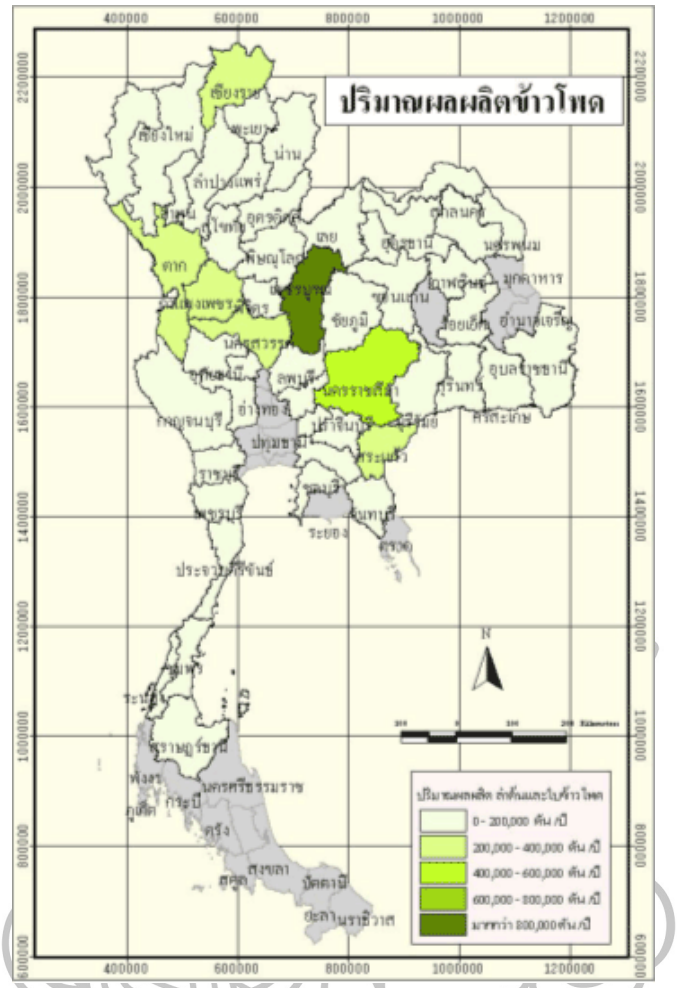
16.4 ประเภทวัสดุที่เป็นเกล็ดหรือแผ่นเล็กๆ (Flake)

16.5 ประเภทที่เป็นแผ่นบางๆ (Sheet)

จากคุณสมบัติที่กล่าวมา เส้นใยธรรมชาติจากส่วนเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัสดุที่มีสมบัติในทางฉนวนหรือมีค่าความต้านทานความร้อนโดยอยู่ในรูปของเส้นใยเซลลูโลส สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฉนวนความร้อนซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้

17. ข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่สำคัญมากชนิดหนึ่งของโลก เดิมมีถิ่นกำเนิดจากแถบประเทศตะวันตก ปัจจุบันนิยมปลูกในแถบอเมริกา แคนาดา ฯลฯ ข้าวโพดเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของทั้งมนุษย์และสัตว์ ในประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดเพื่อบริโภคและใช้ในการเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนมาก จัดว่าเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศ สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ส่วนของซังข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งหลังจากการนำเมล็ดข้าวโพดไปใช้ประโยชน์แล้วมาพัฒนาเป็นฉนวนความร้อน



ภาพที่ 8 ปริมาณผลผลิตข้าวโพด

ที่มา: กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, **ปริมาณผลผลิตข้าวโพด**, เข้าถึงเมื่อ15 กุมภาพันธ์ 2553, เข้าถึงได้จาก http://dede.go.th/dede/index.php?=96

ชื่อภาษาอังกฤษ : Corn, Maize

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Zea mays

ข้าวโพดเป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลเดียวกับหญ้า ลำต้นตั้งตรงคล้ายต้นอ้อย มีลักษณะเป็นข้อปล้อง ตั้งแต่ 8-20 ปล้อง มีความสูงแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ อาจมีความสูงตั้งแต่ 0.30-6.0 เมตรแต่โดยเฉลี่ยจะมีความสูงประมาณ 2.2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 0.5-2.0 นิ้ว แหล่งเพาะปลูกข้าวโพดในประเทศไทยได้แก่

ภาคเหนือ : จังหวัดเพชรบูรณ์ นครสวรรค์ พิษณุโลก

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ : จังหวัดนครราชสีมา ศรีสะเกษ ชัยภูมิ

ภาคตะวันออก : จังหวัดสระแก้ว จันทบุรี

ภาคตะวันตก : จังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี

ภาคกลาง : จังหวัดสระบุรี ลพบุรี

17.1 ประเภทของข้าวโพด

17.1.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (Field Corn)

17.1.1.1 ข้าวโพดหัวบุ๋มหรือหัวบุบ (Dent Corn) เมล็ดของข้าวโพดชนิดนี้เมื่อแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบุ๋มซึ่งเป็นส่วนของแป้งสีขาว นิยมปลูกกันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา มีหลายสายพันธุ์ มีโปรตีนน้อยกว่าข้าวโพดหัวแข็ง สีของเมล็ดมีตั้งแต่สีขาวจนถึงสีเหลือง

17.1.1.2 ข้าวโพดหัวแข็ง (Fint Corn) ส่วนบนสุดของเมล็ดมีสีเหลืองจัด เมล็ดแห้งมีความแข็งมาก ภายในเมล็ดมีสารให้สีชื่อ Cruptoxanthin จึงทำให้มีสีเหลืองจัด ช่วยเสริมสีแดงเข้มให้กับไข่แดงและเสริมสีเหลืองให้กับผิว เนื้อ ปาก แข้งของไก่ เป็นที่นิยมของตลาดโดยเฉพาะแถบอเมริกา

17.1.2 ข้าวโพดรับประทานฝักสด

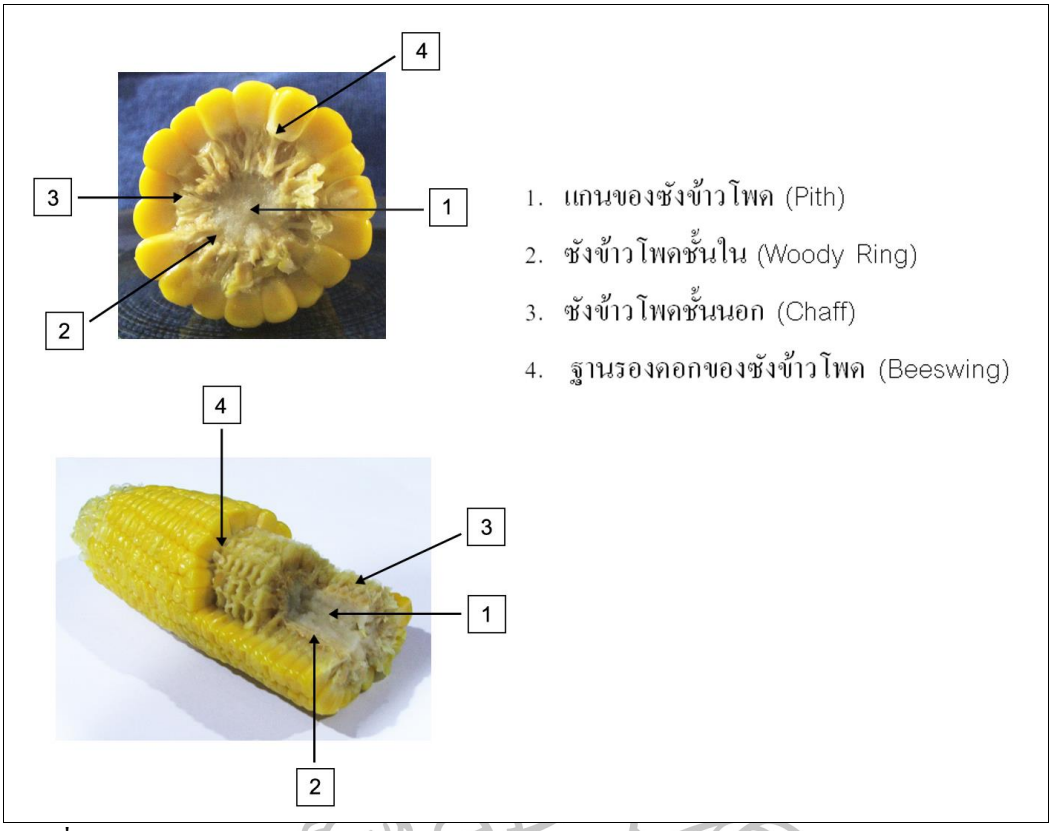
17.1.2.1 ข้าวโพดหวาน (Sweet Corn) เป็นข้าวโพดที่คนนิยมรับประทาน มีน้ำตาลกลูโคสอยู่มากในรูปของแป้งจึงมีรสหวานมากกว่าข้าวโพดชนิดอื่นๆ ไม่มีการแปรรูปเมล็ด เมื่อแก่ฝักจะแห้งและเมล็ดเหี่ยวย่น มีหลายสายพันธุ์

17.1.2.2 ข้าวโพดเทียน (Waxy Corn) เป็นข้าวโพดที่คนรับประทาน ต้นมีขนาดเล็ก ฝักเล็กเรียว เมล็ดกลมมน สีเหลืองอ่อน แป้งมีความเหนียวหนุ่มเพราะประกอบด้วยแป้งจำพวก Amylopectin

17.1.2.3 ข้าวโพดข้าวเหนียว (Glutinous Corn) มีฝักและเมล็ดใหญ่กว่าข้าวโพดเทียน เมล็ดสีขาว เมื่อต้มฝักสดจะมีลักษณะเหนียวคล้ายข้าวเหนียวเพราะมี Amylopectin มาก

17.1.3 ข้าวโพดฝักอ่อน (Baby Corn) เป็นข้าวโพดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ใช้เวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวฝักอ่อนใช้เวลาประมาณ 60-75 วัน สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี นิยมขายเป็นฝักสดหรือบรรจุกระป๋อง

17.1.4 ข้าวโพดคั่ว (Pop Corn) เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน เมล็ดค่อนข้างแข็ง มีสมบัติแตกฟูได้ดีเมื่อถูกความร้อน อาจเป็นเพราะ Endosperm หรือส่วนในของเมล็ดไม่มีเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat) นิยมบริโภคเป็นข้าวโพดคั่ว โดยส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศ



ภาพที่ 9 ส่วนประกอบของฝักข้าวโพด

18. ซังข้าวโพด

ใน 1 ฝักจะประกอบด้วยเมล็ดและซังข้าวโพด ซึ่งปริมาณซังข้าวโพดคิดเป็น 1 ใน 3 ของผลผลิตข้าวโพด ซังข้าวโพดประกอบด้วยเซลลูโลสและสารเพนโตซาน(Pentosans) ซึ่งเป็นสารประกอบของแป้งและน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ มีการนำซังข้าวโพดซึ่งเหลือทิ้งจากการนำเมล็ดข้าวโพดออกไปแล้วมาใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น ผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา ใช้เป็นวัสดุเพาะเห็ด เป็นส่วนประกอบในการผลิตยาที่เกี่ยวกับโรคผิวหนัง เป็นส่วนประกอบในการทำแป้งฝุ่นโรยตัว ใช้ผสมเป็นอาหารสัตว์ เช่น โค กระบือ และใช้ผสมปุ๋ยหรือหมักยีสต์

ซังข้าวโพดที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้เป็นซังข้าวโพดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่สายพันธุ์แปซิฟิคที่ได้จากอำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ซึ่งเป็นหนึ่งในแหล่งปลูกข้าวโพดที่สำคัญของภาคกลาง

ภาพที่ 10 ซังข้าวโพดและลำต้นข้าวโพด

ที่มา: มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, **ประเภทของชีวมวล**, เข้าถึงเมื่อ6 กรกฎาคม 2554, เข้าถึงได้จาก http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=content&mid=hGtTu8zx7jWvD4by&doc=Bgqtvz94LrZj7Hf2

ภาพที่ 11 ซังข้าวโพดหลังการคัดเมล็ดออกในโกดัง อ.ท่าวุ้ง จ.ลพบุรี

19. น้ำยางธรรมชาติ

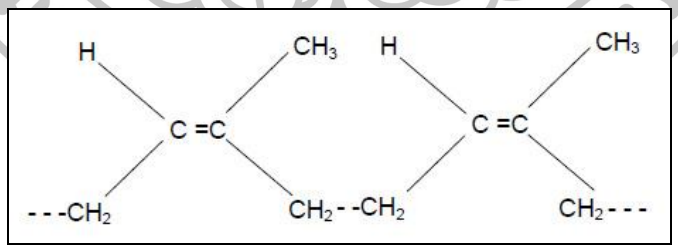
น้ำยาง (Latex) คือของเหลวที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นยางพารา มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนเนื้อยาง(Rubber Content) และ ส่วนที่เป็นตัวกลางหรือส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง(Non Rubber Content) โดยส่วนที่เป็นเนื้อยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.92 กรัม/มิลลิลิตร รูปร่างของเม็ดยางเป็นรูปกลมและรูปกลมรีคล้ายลูกแพรที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.02-3ไมครอน ไม่ละลายในน้ำ ผิวรอบนอกหุ้มด้วยชั้นสารโปรตีนและไขมัน มีประจุไฟฟ้าเป็นลบจึงมีผลให้เม็ดยางเกิดการผลักกันแขวนลอยกระจัดกระจายคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางธรรมชาติสภาพน้ำยางสดมีไม่แน่นอน คือตั้งแต่20-45% แต่ถ้าน้ำยางสดผ่าน

กรรมวิธีปั่นเหวี่ยงจะได้น้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้ง60% จะเรียกว่าน้ำยางข้น สำหรับส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง เป็นส่วนที่มีความหนาแน่นประมาณ1.02 กรัม/มิลลิลิตร เรียกว่า “Serum” ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางมีอัตราส่วนดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงส่วนประกอบต่างๆในน้ำยาง

ส่วนประกอบ	**เปอร์เซ็นต์**
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	22 - 48
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	20 - 45
สารพวกโปรตีน	1.8
สารพวกเรซิน	2
อินทรีย์สาร	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า Cis-1, 4 Polyisoprene มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_5H_8)_n$ โดยมีอะตอมของไอโซพรีนที่มีสูตรเคมีเป็น C_5H_8 ต่อกันเป็นจำนวนมาก โดยปรกติน้ำยางธรรมชาติจะมีค่า n ตั้งแต่ 15 ถึง 20,000 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ1,000,000 มีการเชื่อต่อแบบ Cis-Configuration อนุภาคของยางมีสัณฐานรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.02-3 ไมครอน ส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วจึงละลายได้ดีในสารละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน และ เฮกเซน เป็นต้น



ภาพที่ 12 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

น้ำยางข้น คือน้ำยางสดจากต้นยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20-45 % หรือโดยเฉลี่ย 35 % ในขณะที่การผสมสารเคมีเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำยางเพื่อใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆจำเป็นต้องใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้นเพียงพอ และเป็นการลดการสิ้นเปลืองในการขนถ่ายน้ำยางสดไปยังโรงงานที่อยู่ไกลๆ วิธีการสำคัญสำหรับการผลิตยางข้นมีด้วยกัน 4 วิธี คือ การระเหยน้ำ

(Evaporation) การทำให้เกิดครีม(Creaming) การปั่น(Centrifuging) และการแยกด้วยไฟฟ้า (Electro Decantation) ซึ่งวิธีการที่สำคัญและใช้อย่างแพร่หลายกว่า90% คือวิธีการปั่น

น้ำยางสดที่ได้มาจากต้นยางพารามีส่วนที่ไม่ใช่ยางหลายชนิดที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ กลูโคส และฟรุกโทส เมื่อกรีดน้ำยางจากต้นยาง จุลินทรีย์ในอากาศจะปะปนในน้ำยางเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดการทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางทำให้ยางจับตัวกันเป็นก้อน เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า “การจับตัวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ” (Natural or Spontaneous Coagulation) โดยการเกิดในลักษณะนี้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความเสถียรของน้ำยาง พันธุ์ยาง เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของน้ำยางก่อนเวลาใช้งานจึงต้องมีการเติมสารรักษาสภาพน้ำยาง

สารเคมีที่นิยมใช้ในการรักษาสภาพของน้ำยางข้นคือ แอมโมเนีย เนื่องจากแอมโมเนียเป็นตัวทำลายแบคทีเรีย และแอมโมเนียสามารถรวมตัวกับแมกนีเซียมอิออนที่อยู่ในน้ำยาง ซึ่งแมกนีเซียมอิออนนี้เป็นตัวกลางทำให้น้ำยางเสียสถานะของการเป็นยาง เมื่อแอมโมเนียรวมตัวกับแมกนีเซียมอิออนแล้วจะกลายเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตตกตะกอนออกจากน้ำยาง

$$Mg^{2+} + NH_3 + HPO_4^{2-} \longrightarrow MgNH_4PO_4$$

ภาพที่ 13 สมการแอมโมเนียรวมตัวกับแมกนีเซียมอิออน

แอมโมเนียเป็นสารที่กำจัดได้ง่ายจึงเป็นข้อได้เปรียบในกระบวนการผลิตที่จำเป็นต้องกำจัดแอมโมเนียออกก่อนการใช้งาน ข้อดีอีกประการคือเมื่อแอมโมเนียระเหยออกจากน้ำยางแล้วจะไม่มีอะไรตกค้างในเนื้อยาง แต่ข้อเสียของแอมโมเนียคือการมีกลิ่นฉุนและในบางกระบวนการมีความจำเป็นต้องลดปริมาณของแอมโมเนีย เช่น การผลิตยางฟองน้ำจำเป็นต้องลดแอมโมเนียให้เหลือประมาณ 0.2% ของน้ำยางเพื่อช่วยในการเกิดเจล(Gelation) จนทำให้เกิดการคิดค้นที่จะลดปริมาณของแอมโมเนียในการรักษาสภาพยาง จากปริมาณปกติ0.7%ของน้ำยางให้น้อยลงพร้อมกับหาสารเคมีอื่นๆที่ช่วยรักษาสภาพน้ำยางข้น น้ำยางข้นที่รักษาสภาพไว้โดยใช้ปริมาณแอมโมเนียสูง (0.7%) เรียกว่า High Ammonia Latex Concentrate (HA) ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียน้อยเรียกว่า Low Ammonia Latex Concentrate (LA) การใช้ปริมาณแอมโมเนียน้อยมักจะใช้ร่วมกับสารเคมีอื่นๆ ซึ่งเรียกสารเคมีเหล่านี้ว่า Secondary Conservative ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมเพนตะคลอโรฟีเนต(Sodium Pentachlorophenate, SPP) กรดบอริก(Boric Acid) กรดลูริก(Luric Acid) และเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์(Tetramethylthiuram Disulphide) เป็นต้น

การใช้น้ำยางธรรมชาติในการผลิตฉนวนกันความร้อนจำเป็นต้องใช้ยางที่ผ่านการผสมสารเคมี เมื่อผ่านการอบให้ความร้อนแก่น้ำยางจะเกิดพันธะเคมี เรียกว่า ยางวัลคาไนซ์(Vulcanize) ส่วนน้ำยางที่ได้ผ่านการผสมสารเคมีที่จำเป็นเพื่อให้เกิดยางวัลคาไนซ์จะเรียกว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ (น้ำยางคงรูป) หรือ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์

น้ำยางผสมสารเคมี (Compounded Latex) หมายถึงน้ำยางที่ได้ผสมสารเคมีต่างๆ โดยส่วนมากจะใช้สารเคมีช่วยให้ยางคงรูป(Accelerator) พวกไดทิโอคาร์บาเมต(Dithiocabamate)อยู่ด้วย โดยปกติจะบ่มหรือเก็บน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้ว(Maturation) ก่อนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากน้ำยางผสมสารเคมีส่วนใหญ่จะผสมสารทำให้ยางคงรูปไว้แล้ว ดังนั้นยางจะคงรูปมากน้อยเพียงใดขึ้นกับสภาวะการเก็บรักษาน้ำยางและความไวของสารเร่งที่ช่วยให้น้ำยางคงรูป สำหรับการทำน้ำยางให้คงรูปหรือเป็นน้ำยางวัลคาไนซ์นั้นสำคัญต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ยางประเภทจุ่มแบบพิมพ์(Dipping) และประเภทหล่อเบ้าพิมพ์(Casting) เพราะน้ำยางคงรูปมีข้อได้เปรียบ คือ สามารถจับตัวกันโดยไม่ต้องใช้ความร้อนสูงเข้าช่วยและสามารถเติมสารเคมีได้อีกเล็กน้อย เช่น สารป้องกันยางเสื่อม หรือสีต่างๆ

วิธีการผลิตน้ำยางคงรูปมีหลักการสำคัญคือ การผสมสารเคมีที่จำเป็นในการเกิดยางคงรูปกับน้ำยางที่ได้ผ่านการเติมสารช่วยความคงตัวที่เป็นของเหลวแล้วให้ความร้อนประมาณ50-70°C หรืออาจทำให้น้ำยางคงรูปโดยการใช้สารซัลเฟอร์หรือไม่ใช้สารซัลเฟอร์ก็ได้

ตารางที่ 9 แสดงตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยใช้ซัลเฟอร์

ส่วนประกอบ	**น้ำหนัก (g)**
น้ำยางข้น 60% รักษาด้วยแอมโมเนียความเข้มข้นสูง	167
ซิงค์ออกไซด์ + ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาบาเมต + ซัลเฟอร์	8
โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10%)	3
สารช่วยคงตัว (10%)	2

ตารางที่ 10 แสดงตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยไม่ใช้ซัลเฟอร์

ส่วนประกอบ	**น้ำหนัก (g)**
น้ำยางข้น 60% รักษาด้วยแอมโมเนียความเข้มข้นสูง	167
สารละลายเคซีอีน (Casein) (10%)	5
สารช่วยคงตัว (25%)	2

ตารางที่ 10 แสดงตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยไม่ใช้ซัลเฟอร์ (ต่อ)

โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10%)	2.5
ซิงค์ออกไซด์ (50%)	2
เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) (33%)	9
ซิงค์ไดบิลทิลไดไทโอคาร์บาเมต (50%)	2
สารละลายไทโอยูเรีย (10%)	10

20. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมเจตน์ พัชรพันธ์ และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษาการกระบวนการผลิตและสมบัติทางความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกสายพันธุ์ราชบุรีเพื่อทดแทนฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากใยสังเคราะห์ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสาน ในการทดลองนี้ได้นำหญ้าแฝกแห้งมาลดขนาดด้วยเครื่องตีหญ้า เพื่อย่อยขนาดชิ้นส่วนแล้วนำไปกวนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) เพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสม โดยการกวนเส้นใยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น15%wt ที่อุณหภูมิ100°C เป็นเวลา 30 นาที จะได้สภาพเส้นใยที่เหมาะสมที่สุด

การขึ้นรูปแผ่นฉนวนทำโดยนำเส้นใยโรยลงในแม่พิมพ์สลับด้วยการพ่นน้ำยางธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวประสานจนได้ความหนาที่ต้องการ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเส้นใยหญ้าแฝกต่อน้ำยางธรรมชาติเท่ากับ 3 ต่อ 1 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ100°C เป็นเวลา45นาทีเพื่อให้ยางคงรูป โดยแผ่นฉนวนที่ทำการทดลองมีขนาด 20 x 20 เซนติเมตร หนา1.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 180 kg/m^3 ได้ผลค่าการนำความร้อน(k) 0.0564 W/m.K ทดสอบตามมาตรฐานASTM C177

ฉันท์ทิพ คำนวณทิพย์ และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติทางความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากใยมะพร้าวกับน้ำยางธรรมชาติชนิด High Ammonia (HA) 60% เป็นตัวประสาน โดยนำใยมะพร้าวมาปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น5%wt และ 10%wt ที่อุณหภูมิ100°C เป็นเวลา 30 นาที

งานวิจัยนี้แบ่งอัตราส่วนระหว่างน้ำยางธรรมชาติต่อใยมะพร้าวโดยน้ำหนักเป็น 2:1 และ 3:1 และการขึ้นรูปแผ่นฉนวนด้วยวิธีใช้เตาอบความร้อน (hot oven) และเครื่องอัดขึ้นรูป (compression molding) โดยโรยเส้นใยลงในแม่พิมพ์สลับด้วยการพ่นน้ำยางธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวประสานจนได้ความหนาที่ต้องการก่อนนำไปทดสอบการขึ้นรูปด้วยสองวิธีข้างต้น โดยแผ่นฉนวนที่ทำการทดลองมีขนาด20 x 20 เซนติเมตร หนา1.5 เซนติเมตร จากการทดลองพบว่าแผ่นฉนวนที่ได้จากการอัดขึ้นรูปมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยการอบความร้อน ส่วนค่า

การนำความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน และแผ่นฉนวนสัดส่วนน้ำยางต่อใยมะพร้าว2:1 มีค่าความหนาแน่น ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นฉนวนสัดส่วนน้ำยางต่อชานอ้อย 3:1

โดยแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยเตาอบความร้อน สัดส่วนน้ำยางต่อใยมะพร้าว2:1 ที่กวนใน NaOH ความเข้มข้น5%wt มีค่าการนำความร้อน(k)เท่ากับ 0.0662 W/m.K และแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยเตาอบความร้อน สัดส่วนน้ำยางต่อใยมะพร้าว2:1 ที่กวนใน NaOH ความเข้มข้น10%wt มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.0643 W/m.K ทดสอบตามมาตรฐานASTM C177-85

ประชุม คำพุฒ และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาการกระบวนการผลิตและสมบัติทางความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากชานอ้อยกับน้ำยางธรรมชาติชนิด High Ammonia (HA) 60% เป็นตัวประสาน โดยนำชานอ้อยมาปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น15%wt ที่อุณหภูมิ100°C เป็นเวลา 90 นาที

งานวิจัยนี้แบ่งอัตราส่วนระหว่างน้ำยางธรรมชาติต่อชานอ้อยโดยน้ำหนักเป็น 2:1 และ 3:1 และการขึ้นรูปแผ่นฉนวนด้วยวิธีใช้เตาอบความร้อน (hot oven) และเครื่องอัดขึ้นรูป (compression molding) โดยโรยเส้นใยลงในแม่พิมพ์สลับด้วยการพ่นน้ำยางธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวประสานจนได้ความหนาที่ต้องการก่อนนำไปทดสอบการขึ้นรูปด้วยสองวิธีข้างต้น โดยแผ่นฉนวนที่ทำการทดลองมีขนาด20 x 20 เซนติเมตร หนา1.5 เซนติเมตร จากการทดลองพบว่าแผ่นฉนวนที่ได้จากการอัดขึ้นรูปมีค่าความหนาแน่น ความชื้น ค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยการอบความร้อน และแผ่นฉนวนสัดส่วนน้ำยางต่อชานอ้อย 2:1 มีค่าความหนาแน่น ความชื้น ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นฉนวนสัดส่วนน้ำยางต่อชานอ้อย 3:1 โดยค่าการนำความร้อน(k)ของแผ่นฉนวนสัดส่วนน้ำยางต่อชานอ้อย 2:1ที่กวนใน NaOH ความเข้มข้น15%wt มีค่าเท่ากับ 0.0866 W/m.K (ขึ้นรูปด้วยเตาอบความร้อน) ทดสอบตามมาตรฐานASTM C177-85

กิตติศักดิ์ บัวศรี (2544) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าวโดยใช้การอัดร้อนและกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน เกรดEU-617เป็นสารยึดติด แผ่นฉนวนที่ผลิตได้มีขนาด350x350มิลลิเมตร หนา9มิลลิเมตร จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิอัดร้อน150-160°C ด้วยความดัน105 kg/cm^2 เป็นเวลา4นาทีเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนความหนาแน่นระหว่าง400-800 kg/m^3 ใช้กาวสังเคราะห์4% 8% 12% 16% และ20%โดยน้ำหนักของชิ้นปาร์ติเกิ้ลแห้ง แล้วจึงทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อน เชิงกายภาพและเชิงกลตามมาตรฐานมอก.876-2532 และ ASTM C177

ผลการทดสอบพบว่าค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่นและปริมาณกาวลดลง และพบว่าแผ่นฉนวนจากฟางข้าวมีประสิทธิภาพที่ดีซึ่งพิจารณา

จากค่าการนำความร้อนที่มีค่าอยู่ระหว่าง0.0564และ0.0957W/m.K นอกจากนี้ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ค่าความต้านทานทนแรงกระแทก ค่ามอดุลัสแตกร้าว ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ชี้ให้เห็นว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวสังเคราะห์ปริมาณ 12% และ 16% ที่ความหนาแน่นระหว่าง600-700 kg/m^3 นอกจากใช้เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีแล้วยังสามารถใช้เป็นแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลางตามมาตรฐานมอก.876-2532

ประยูร สุรินทร์ (2544) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของฉนวนกันความร้อนจากชานอ้อยโดยหาสภาวะและปริมาณกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เกรดEU-617ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนด้วยการอัดความร้อน และทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อน เชิงกายภาพและเชิงกล จากการศึกษาพบว่าการอัดเส้นใยที่ปริมาณกาว8% 12% 25% 33%และ42%โดยน้ำหนักเส้นใยแห้งด้วยความร้อนอุณหภูมิ150-160°C เป็นเวลา4นาทีทำให้เกิดการเชื่อมโยงของกาวได้เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากคุณสมบัติการต้านทางแรงกระแทกของแผ่นฉนวน ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนตามมาตรฐานASTM C177 พบว่าค่าการนำความร้อนอยู่ที่0.0724-0.0925 W/m.K ซึ่งขึ้นกับค่าความหนาแน่นและปริมาณกาวที่ใช้ ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นและปริมาณกาวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ การขยายตัวทางความหนาและความยาว ค่าต้านทานแรงกระแทก ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ค่ามอดุลัสแตกร้าว และค่าต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ชี้ให้เห็นว่าแผ่นฉนวนที่ใช้ปริมาณกาว25%และ33%ที่ความหนาแน่น600-700 kg/m^3 สามารถใช้เป็นแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลางตามมาตรฐานมอก. 966-2533

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ (2548) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ซังข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง โดยกรรมวิธีอัดด้วยกาวและความร้อน แบ่งเป็นความหนาแน่น200 kg/m^3, 400 kg/m^3 และ 800 kg/m^3 ทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k) ค่าความต้านทานความร้อน(R) และค่าการนำความร้อน(C)รวมไปถึงคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล มีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนโดยวัดอุณหภูมิผิวผนังภายนอก, ภายในและอากาศภายในกล่องทดลองที่ประกอบจากผนังไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นผนังภายนอกและมีไม้อัดเป็นผนังภายในโดยวัดค่าอุณหภูมิด้วยData Loggerเป็นเวลา5วัน ซึ่งแบ่งลักษณะการทดสอบเป็น 2 กรณีคือ แทนฉนวนภายในผนัง และแทนผนังภายใน

จากการวิจัยพบว่าฉนวนต้นมันสำปะหลังและซังข้าวโพดความหนาแน่น 200 kg/m^3 หนา 1 เซนติเมตรมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน0.059 W/m.Kและ 0.063 W/m.K ตามลำดับ

สำหรับฉนวนต้นมันสำปะหลังนั้นมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนไม่ต่างจากฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น16 kg/m^3 ที่หนา 2.5 เซนติเมตร เมื่อใช้ฉนวนทั้งสองร่วมกับผนังทดสอบพบว่าช่วยลดอุณหภูมิภายในได้2.33-3.27°C สำหรับฉนวนต้นมันสำปะหลังและซังข้าวโพดความหนาแน่น 800 kg/m^3 นั้นสามารถป้องกันความร้อนได้ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเทียบฉนวนต้นมันสำปะหลังกับไม้อัดเกรดเอที่มีความหนาแน่น 571.04 kg/m^3 หนา 0.80 เซนติเมตรพบว่าฉนวนต้นมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพป้องกันความร้อนดีกว่า ในด้านต้นทุนฉนวนต้นมันสำปะหลังความหนาแน่น 200 kg/m^3 มีต้นทุนถูกกว่าฉนวนใยแก้ว150บาทต่อตารางเมตร เหมาะสำหรับพัฒนาเป็นฉนวนอาคารและแบบความหนาแน่น 800 kg/m^3 นั้นถูกกว่าไม้อัดเกรดเอ 401บาทต่อแผ่น สามารถนำไปพัฒนาเพื่อทดแทนไม้อัดภายในอาคาร

ทนง บุญมีมาพาสุข (2549) ได้ทำการศึกษาการผลิตฉนวนความร้อนหน่วงไฟจากเส้นใยผักตบชวาและน้ำยางธรรมชาติ โดยการเตรียมเส้นใยผักตบชวาแห้งด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น15%โดยน้ำหนักแล้วนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายบอแรกซ์ความเข้มข้ม10% โดยน้ำหนัก และน้ำยางธรรมชาติเจือจางด้วยน้ำอัตราส่วนน้ำยางต่อน้ำ1:3โดยน้ำหนัก แล้วนำยางที่เจือจางด้วยน้ำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายซิงค์บอเรทเข้มข้น40%โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้เส้นใยผักตบชวาหน่วงไฟและน้ำยางหน่วงไฟ แล้วจึงนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนหน่วงไฟด้วยการพ่นฝอยที่อัตราส่วนเส้นในต่อน้ำยางที่1:3โดยน้ำหนัก

ผลการวิจัยพบว่าความหนาแน่นแผ่นฉนวนแปรผันตรงกับการนำความร้อนแต่แปรผกผันกับอัตราการลามไฟ แผ่นฉนวนที่ความหนาแน่น 195.48 kg/m^3 จะให้อัตราการลามไฟที่น้อยที่สุดคือ 2.03058 mm/min ทดสอบตามมาตรฐานASTM D635-98 และค่าการนำความร้อน 0.052 W/m.K ทดสอบตามมาตรฐานASTM C177-97 ซึ่งมากกว่าฉนวนใยแก้ว 0.012 W/m.K

สิริพร วาสนาประเสริฐ (2550) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นซีเมนต์จากเส้นใยพืชที่มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ โดยวัตถุดิบที่ทำการทดลองคือฟางข้าว เปลือกข้าวโพดและต้นกล้วย ผ่านสูตรทดสอบสัดส่วนเส้นใยพืช : ปูนซีเมนต์ จำนวน 3 สูตรคือ 20:80 30:70 และ 40:60 แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน รวมไปถึงการเปรียบเทียบราคา จากการทดลองพบว่าต้นกล้วยสามารถนำมาแปรเป็นเส้นใยเซลลูโลสได้ง่ายและใช้เวลาน้อยที่สุด โดยพืชอีกสองชนิดย่อยเป็นเซลลูโลสได้ยากหากไม่เพิ่มสารเคมีและระยะเวลาในการผลิต ดังนั้นการวิจัยนี้จึงคัดเฉพาะแผ่นซีเมนต์ที่ใช้ต้นกล้วยมาทดสอบในขั้นตอนต่อไป

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อนพบว่าสูตรการผลิตที่มีคุณสมบัติของวัสดุดีที่สุดคือสูตร20:80 40:60 และ30:70 ตามลำดับ มีความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุด 1,348 1,290 และ1,232 kg/m^3 ตามลำดับ การทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนพบว่าแผ่นสัดส่วน 20:80 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k) 0.30 W/m.K เปรียบเทียบกับวัสดุแผ่นที่ขายตามท้องตลาด2ยี่ห้อจะอยู่ลำดับที่2 และค่าต้านทานความร้อนจะน้อยกว่าทั้ง2ยี่ห้อ แต่ต้นทุนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยต้นกล้วย20:80 ถูกกว่าแผ่นวัสดุยี่ห้อที่1อยู่39.40บาท(58%) และถูกกว่าแผ่นวัสดุยี่ห้อที่2อยู่51.45บาท(64%)

สุนทร เครื่องคำ (2551) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนจากเยื่อสาดขาวโดยใช้การอัดร้อนด้วยเครื่องอัดแผ่นแบบไฮดรอลิกส์และใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินเป็นสารยึดติด แผ่นฉนวนมีขนาด60x60เซนติเมตร หนา1.5เซนติเมตร จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิการอัดร้อนที่160°Cด้วยแรงดันในการอัด2778.60ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน10นาทีเป็นสภาวะเหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนจากเยื่อสาดขาว

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนตามมาตรฐานASTM C177พบว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวสังเคราะห์8% มีค่าการนำความร้อน0.041 W/m.K ต้นทุนในการผลิต60บาทต่อแผ่น แผ่นฉนวนที่ใช้กาวสังเคราะห์12% มีค่าการนำความร้อน0.039 W/m.K ต้นทุนในการผลิต71บาทต่อแผ่น แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์16% มีค่าการนำความร้อน0.039 W/m.K ต้นทุนในการผลิต86บาทต่อแผ่น ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลตามมาตรฐานมอก.876-2532 พบว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาว16%โดยน้ำหนักของชิ้นปาร์ติเกิ้ลแห้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สามารถใช้เป็นฉนวนที่ดีและสามารถใช้เป็นแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลางได้ด้วย

สุตินัย ยามศรีสุข (2554) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตฉนวนกันความร้อนจากหญ้าสลาบหลวงหรือต้นธูปฤาษี โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนระหว่างฉนวนหญ้าสลาบหลวงที่ผลิตขึ้นโดยไม่ผ่านการปั่นย่อยเป็นเส้นใยกับฉนวนที่มีขายตามท้องตลาด ขั้นตอนการศึกษามี4ขั้นตอนได้แก่ หาวิธีการกำจัดwaxจากผิวใบโดยไม่ทำลายโพรงอากาศภายในและทดสอบหากาวที่เหมาะสมในการขึ้นรูป, ทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกลและเชิงความร้อน, เปรียบเทียบความสามารถในการลดความร้อนกับฉนวนตามท้องตลาด, การประเมินต้นทุนการผลิต สำหรับการกำจัดwaxจากผิวใบพบว่าการต้มหญ้าสลาบหลวงกับสารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 20 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรนาน 10 นาทีจะสามารถกำจัดwaxได้โดยไม่ทำลายโพรงอากาศภายใน และการใช้กาวไอโซไซยาเนต(Isocyanate Resins)สามารถขึ้นรูปแผ่นฉนวนได้ทั้งแบบปั่นย่อยเส้นใยและไม่ปั่นย่อยโดยไม่ต้องกำจัดwax โดยใช้กาวตัวนี้ปริมาณ5%ของน้ำหนัก

แผ่น อัดร้อนที่อุณหภูมิ 150°C แรงดัน 170 kg/m^{2}เป็นเวลา 5 นาที เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตพบว่าฉนวนแบบไม่ปันย่อยมีราคาต่ำกว่าแบบปันย่อยโยต้นทุนส่วนใหญ่อยู่ที่กาวไอโซไซยาเนต

แผ่นฉนวนที่ผลิตได้แบ่งความหนาแน่นเป็น3แบบคือ 200 kg/m^3 สำหรับทดสอบเป็นแผ่นฉนวน และความหนาแน่น 400 kg/m^3 และ 800 kg/m^3 ใช้ทดสอบเป็นปาร์ติเกิลบอร์ดแทนผนังภายใน โดยผลการทดลองสรุปว่าฉนวนความหนาแน่น 200 kg/m^3 หนา 9 มิลลิเมตรลดความร้อนได้ใกล้เคียงกับกับฉนวนโพลีเอทธีลีนหนา 10 มิลลิเมตรแต่ยังด้อยกว่าฉนวนใยแก้วหนา 25 มิลลิเมตร สำหรับกรณีใช้เป็นผนังพบว่าแผ่น 400 kg/m^3 ป้องกันความร้อนได้ดีกว่าแผ่น 800 kg/m^{3}และดีกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร

สรุปการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้นำเนื้อหาจากกการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ในงานวิจัยนี้โดยสรุปดังต่อไปนี้

1. ลักษณะและการเตรียมวัตถุดิบ จากลักษณะของวัตถุดิบในงานวิจัยที่ได้ศึกษา พบว่าการใช้เส้นใยเซลลูโลสตามธรรมชาติสามารถนำมาผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนได้ โดยส่วนมากจะใช้ชิ้นวัตถุดิบที่มีลักษณะแบบเส้นใย เช่น เส้นใยจากฟางข้าว, ใยมะพร้าว ฯลฯ หรือแบบเกล็ด (Flake) ที่ใช้การสับย่อยวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสให้เป็นชิ้นเล็กๆก่อนนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยกาวหรือตัวประสานอื่นๆ เช่น ชานอ้อย, ต้นมันสำปะหลังและซังข้าวโพด หรือแบบเซลล์ (Cell) ของสุตินัย ยามศรีสุข(2554)ที่ใช้โพรงอากาศภายในของหญ้าสลาบหลวงเป็นตัวป้องกันความร้อน โดยการเตรียมวัตถุดิบประเภทเส้นใยส่วนมากจะมีการปรับปรุงลักษณะของเส้นใยให้มีการจับยึดกับตัวประสานดีขึ้น เช่น การกวนเส้นใยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นต้น สำหรับซังข้าวโพดที่มีลักษณะเป็นชิ้นบดย่อยไม่ได้เป็นลักษณะเส้นใยจึงไม่ต้องผ่านขั้นตอนปรับปรุงเส้นใย

2. การขึ้นรูปแผ่นฉนวน การขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากงานวิจัยที่นำมาศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ การอัดด้วยความร้อน และ การอบด้วยความร้อน โดยส่วนมากการอัดด้วยความร้อนจะใช้กาวที่มีความยืดเหนี่ยวสูง เช่น กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์, กาวไอโซไซยาเนต เป็นต้น สำหรับการอบด้วยความร้อนในงานวิจัยที่นำมาศึกษานั้นใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสาน โดยงานวิจัยฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดนี้เลือกใช้การขึ้นรูปด้วยการอบความร้อนและใช้น้ำยางเป็นตัวประสาน สืบเนื่องจากพิจารณาเรื่องการส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์และกาวไอโซไซยาเนต โดยน้ำยางที่นำมาใช้ในการวิจัยอ้างอิงสูตรน้ำยางจากงานวิจัยของสมเจตน์ พัชรพันธ์ และคณะ(2546)

3. ความหนาแน่น จากการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนในงานวิจัยส่วนมากจะกำหนดอยู่ในช่วง 200-300 kg/m^3 โดยตามมาตรฐาน JIS A 5905 Fibreboards ในหัวข้อ Insulation board กำหนดให้แผ่นฉนวนมีความหนาแน่นไม่เกิน350 kg/m^3 สำหรับบางงานวิจัยที่ทำเป็นแผ่นปาร์ติเกิ้ลทดแทนไม้อัดหรือแผ่นผนังจะมีความหนาแน่นกำหนดในช่วง 400-800 kg/m^3 โดยตามมาตรฐาน JIS A 5908 Particleboards ระบุให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลมีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า400 kg/m^3 และไม่เกิน900 kg/m^3 โดยงานวิจัยนี้เลือกกำหนดความหนาแน่นที่ 200 kg/m^3 และ 300 kg/m^3 เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบเดียวกันจากงานวิจัยที่นำมาศึกษา

4. ความหนาของแผ่นฉนวน จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่กำหนดความหนาแผ่นฉนวนที่ 0.9-1.5 เซนติเมตร โดยงานวิจัยนี้เลือกผลิตฉนวนที่มีความหนา 1.5 เซนติเมตร เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบเดียวกันจากงานวิจัยที่นำมาศึกษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่3
การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากซังข้าวโพดเพื่อส่งเสริมการนำวัสดุธรรมชาติที่เหลือใช้จากการแปรรูปทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์แบบไม่ซับซ้อน รวมไปถึงการลดปริมาณวัสดุสังเคราะห์ โดยเลือกใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสานแทนการใช้กาวสังเคราะห์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งขั้นตอนดำเนินการหลักๆเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมองค์ประกอบในการผลิตแผ่นฉนวน

เป็นการจัดเตรียมวัสดุในการผลิต ได้แก่ ซังข้าวโพด, น้ำยางธรรมชาติและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวิจัย โดยซังข้าวโพดที่นำมาทดลองต้องผ่านการบดและคัดแยกขนาด

2. การทดลองผลิตแผ่นฉนวน

ทดลองการขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดโดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสาน โดยแบ่งเป็นแผ่นความหนาแน่น 200 kg/m^3 และ 300 kg/m^3 (มาตรฐานJIS A 5905 ระบุให้แผ่นฉนวนมีความหนาแน่นไม่เกิน 350 Kg/m^3)

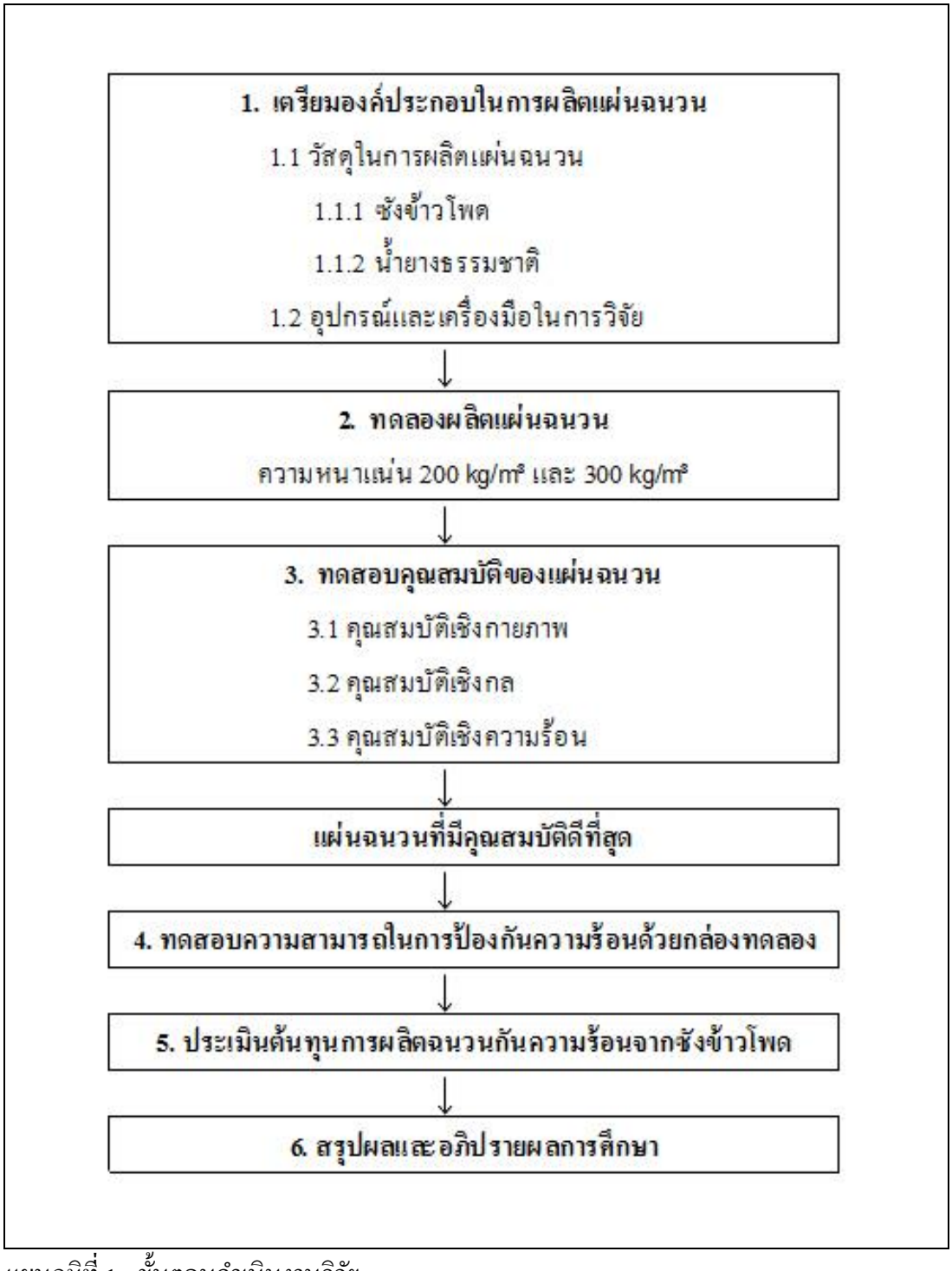
3. การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวน

ทั้งสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties tests), สมบัติเชิงกล (Mechanical properties tests) และสมบัติเชิงความร้อน (Thermal conductivity properties tests) โดยอ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5905, JIS A 5908 และ ASTM C518

4. การทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลองเปรียบเทียบกับฉนวนตามท้องตลาด

5. ประเมินต้นทุนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพด

6. สรุปผลและอภิปรายผลการศึกษา



แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมองค์ประกอบในการผลิตแผ่นฉนวน

คือการเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนโดยแบ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการผลิตและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1.1 วัสดุในการผลิตแผ่นฉนวน

เนื่องจากซังข้าวโพดมีส่วนประกอบที่เป็นซังข้าวโพดส่วนนอกและส่วนแกนกลาง โดยซังส่วนนอกจะเป็นส่วนที่มีมากที่สุดส่วนและส่วนแกนกลางจะมีลักษณะเป็นสีขาวอ่อนนิ่มซึ่งมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับซังส่วนนอก ในการทดลองนี้ต้องการทดสอบคุณสมบัติของซังข้าวโพดส่วนนอกจึงได้คัดส่วนของแกนกลางออก

1.1.1 ซังข้าวโพด เริ่มจากการนำซังข้าวโพดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แปซิฟิคจากอำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ที่เหลือจากการคัดเมล็ดออกแล้วมาตากให้แห้งแล้วทุบให้พอแตกและคว้านส่วนแกนกลางของซังข้าวโพดออกจนเหลือแต่ซังข้าวโพดชั้นนอก หลังจากนั้นจึงนำซังข้าวโพดชั้นนอกมาบดให้เป็นชิ้นเล็กๆด้วยเครื่องCrusher แล้วจึงนำไปร่อนผ่านตะแกรงที่มีความกว้างรูตะแกรงต่างกัน 2 ขนาด เพื่อคัดแยกขนาดให้ได้ตามที่ต้องการ

การเตรียมซังข้าวโพด เบื้องต้นได้ทำการทดสอบหาขนาดของซังข้าวโพดที่เหมาะสมด้วยการนำซังข้าวโพดที่ผ่านการบดแล้วมาฉีดพ่นด้วยน้ำยางก่อนนำไปให้ความร้อน100 °C ด้วยเครื่อง Dryer Hopper เป็นเวลา 45 นาที แล้วนำมาพิจารณาสภาพการเกาะยึดเพื่อหาขนาดของซังข้าวโพดบดที่เหมาะสม โดยซังข้าวโพดบดที่มีการเกาะยึดดีจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณอยู่ระหว่าง 0.50-0.85 เซนติเมตร

ขั้นตอนการเตรียมซังข้าวโพดนี้เน้นขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ซับซ้อน โดยแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลักคือ

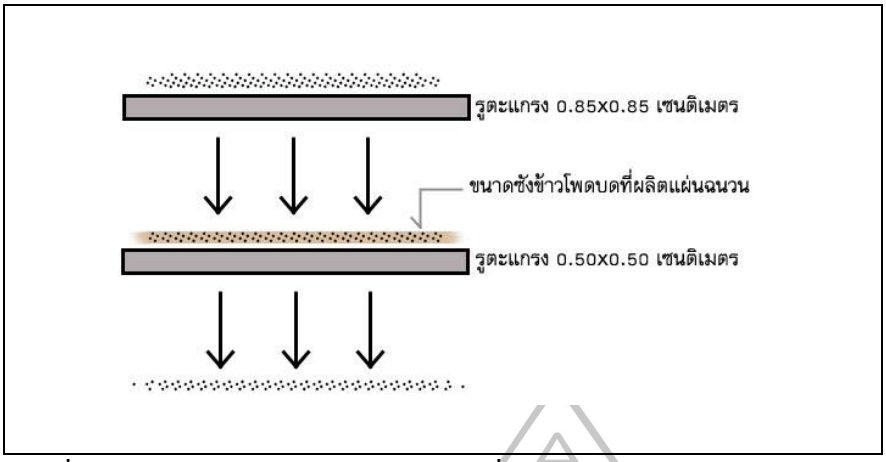
ขั้นตอนที่ 1 นำซังข้าวโพดที่เหลือใช้จากการคัดเมล็ดออกแล้วไปตากแดดหรืออบให้แห้ง

ขั้นตอนที่ 2 นำซังข้าวโพดมาทุบให้พอแตกแล้วคว้านเอาส่วนแกนกลางออก

ขั้นตอนที่ 3 นำซังข้าวโพดที่แยกแกนกลางออกไปแล้วมาบดในเครื่องCrusher

ขั้นตอนที่ 4 ทำการร่อนซังข้าวโพดที่ผ่านการบดแล้วโดยใช้ซังข้าวโพดที่ร่อนผ่านรูตะแกรงขนาด 0.85x0.85 เซนติเมตร แต่ร่อนไม่ผ่านรูตะแกรงขนาด 0.50x0.50 เซนติเมตร

เนื่องจากซังข้าวโพดที่ผ่านการบดมีลักษณะเป็นเม็ดไม่ได้เป็นเส้นใย การเกาะเกี่ยวหรือยึดเหนี่ยวระหว่างกันจะด้อยกว่าวัสดุจำพวกเส้นใย จึงต้องอาศัยการจับยึดจากน้ำยางที่เป็นตัวประสานเป็นหลัก หากใช้ซังข้าวโพดบดที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่านี้จะเกิดปัญหาในการจับยึดเป็นแผ่นได้



ภาพที่14 การคัดแยกขนาดของซังข้าวโพดที่ผ่านการบด

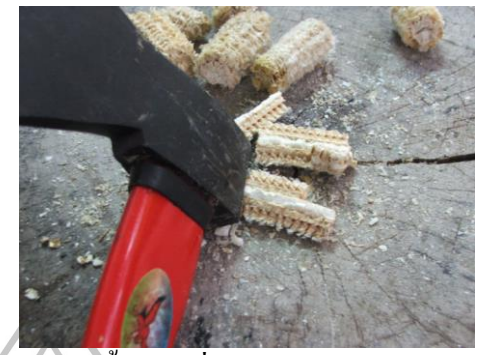
1.1.2 น้ำยางธรรมชาติ

งานวิจัยนี้ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสานให้ซังข้าวโพดยึดติดกัน สูตรผสมอ้างอิงจากงานวิจัยการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นในหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติของสมเจตน์ พัชรพันธ์และคณะ(2546) โดยน้ำยางที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้ผลิตในรูปแบบสูตรสำเร็จจากสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

ตารางที่11 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยาง

Materials and chemicals	Content (g)
1. Latex 60%	167
2. Potassium laurate (emulsion 20%)	1
3. Sulfer (dispersion 50%)	1
4. Tetramethyl thiuram disulphide (TMTD) (dispersion 50%)	1
5. Wingstay L (dispersion 50%)	2
6. Zinc oxide (dispersion 50%)	0.8
7. Parafinic oil (dispersion 50%)	20
8. Methyl Cellulose (dispersion 50%)	0.5

(ก) ขั้นตอนที่1 การตากแห้งซังข้าวโพด



(ข) ขั้นตอนที่2 การทุบซังข้าวโพด

ซังข้าวโพดส่วนนอก

แกนกลาง

(ค) ซังข้าวโพดส่วนนอกและแกนกลาง

(ง) ขั้นตอนที่3 บดซังข้าวโพดในเครื่องCrusher

(จ) ขั้นตอนที่4 ร่อนซังข้าวโพดหลังบดเพื่อคัดแยกขนาด

ภาพที่ 15 ขั้นตอนการเตรียมซังข้าวโพด

1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย

1.2.1 เครื่อง Crusher

ใช้ในการบดซังข้าวโพดให้มีขนาดตามต้องการ

ภาพที่ 16 เครื่อง Crusher

1.2.2 เครื่อง Dryer Hopper

ใช้ในการอบเพื่อให้ยางที่เป็นตัวประสานคงรูป

ภาพที่ 17 เครื่อง Dryer Hopper

1.2.3 ตู้อบลมร้อน ระบบแก๊ส 12ชั้น

ใช้ในการอบเพื่อให้ยางที่เป็นตัวประสานคงรูป โดยใช้กับฉนวนทดสอบขนาด 30x30 เซนติเมตร และ 40x40 เซนติเมตร เนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่าเครื่อง Dryer Hopper

ภาพที่18 ตู้อบลมร้อน

1.2.4 ตะแกรงร่อน

ใช้คัดแยกขนาดของซังข้าวโพดที่ผ่านการบดเพื่อคัดเฉพาะขนาดที่ต้องการ

ภาพที่ 19 ตะแกรงร่อน

1.2.5 แม่พิมพ์แผ่นฉนวน

แม่พิมพ์ขนาดต่างๆสำหรับขึ้นรูปแผ่นฉนวน

ภาพที่ 20 แม่พิมพ์แผ่นฉนวน

1.2.6 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ยี่ห้อADAM รุ่นPGL2002

สำหรับชั่งน้ำหนักของวัสดุและหาค่าน้ำหนักในการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ

ภาพที่ 21 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

1.2.7 Vernier Caliper

ใช้วัดความกว้าง-ยาวของแผ่นฉนวนที่ใช้ทดสอบ

ภาพที่ 22 Vernier Caliper

1.2.8 Micrometer

ใช้วัดความหนาของแผ่นฉนวนที่ใช้ทดสอบ

ภาพที่ 23 Micrometer

2. การทดลองผลิตแผ่นฉนวน

จากการศึกษางานวิจัยการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นในหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติของสมเจตน์ พัชรพันธ์และคณะ(2546) ได้ใช้วิธีขึ้นรูปแผ่นฉนวนด้วยการพ่นน้ำยางเคลือบบนเส้นใยหญ้าแฝกโดยโรยเส้นใยสลับกับการพ่นน้ำยางเป็นชั้นๆจนได้ความหนาตามที่ต้องการและนำไปอบที่ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลาประมาณ 45 นาที เพื่อให้น้ำยางคงรูปและเชื่อมติดเส้นใยหญ้าแฝกเข้าด้วยกัน จากวิธีดังกล่าวจึงมาทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

การทดลองหาวิธีขึ้นรูปแผ่นฉนวนด้วยน้ำยางธรรมชาติ

ในขั้นแรกทำการทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นฉนวนโดยใช้วิธีพ่นเคลือบ เริ่มจากการโรยซังข้าวโพดลงบนถาดแม่พิมพ์เป็นชั้นบางๆ แล้วทำการพ่นน้ำยางเคลือบบนซังข้าวโพดให้ทั่ว จากนั้นจึงโรยซังข้าวโพดทับอีกชั้น ในการทดสอบนี้ได้โรยซังข้าวโพด 3 ชั้นสลับกับการพ่นน้ำยาง จากนั้นจึงนำชิ้นงานไปอบด้วยเครื่อง Dryer Hopper ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำยางคงรูป

ภาพที่ 24 การฉีดพ่นน้ำยางลงบนซังข้าวโพดที่ผ่านการบดแล้ว

ผลการทดลองนี้พบว่าซังข้าวโพดไม่สามารถยึดติดกันเป็นแผ่นได้ เมื่อดึงออกจากถาดแม่พิมพ์แล้วซังข้าวโพดจะแยกหลุดออกจากกัน มีแค่บางส่วนที่สามารถยึดจับกันเป็นก้อนๆ เนื่องจากซังข้าวโพดที่ผ่านการบดย่อยมีลักษณะเป็นเม็ดไม่เหมือนกับเส้นใยที่จะเกาะเกี่ยวกันได้ง่ายกว่า และน้ำยางที่ฉีดพ่นไม่สามารถเคลือบซังข้าวโพดได้อย่างทั่วถึง

ภาพที่ 25 แผ่นฉนวนซังข้าวโพดที่ไม่สามารถยึดติดเป็นแผ่นได้

จากข้อผิดพลาดดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบการทดลองใหม่โดยเปลี่ยนมาใช้วิธีขึ้นรูปด้วยการจุ่ม (Dipping) คือการนำซังข้าวโพดไปจุ่มลงในน้ำยางก่อนจะนำมาใส่ลงในแม่พิมพ์ที่มีขนาดตามต้องการ

จากมาตรฐาน JIS A 5905 ได้ระบุในส่วนมาตรฐานของ Insulation board กำหนดให้ฉนวนมีความหนาแน่นไม่เกิน 350 kg/m³ ในการทดลองนี้จึงกำหนดตัวแปรควบคุมคือ ความหนาแน่นของแผ่นฉนวน โดยกำหนดความหนาแน่นไว้ที่ 200 kg/m³ และ 300 kg/m³ โดยคำนวณจากปริมาตรของแม่พิมพ์

การกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นของแผ่นฉนวนความร้อนจากซังข้าวโพด

เป็นการกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นของแผ่นฉนวนก่อนการผลิต ได้แก่การกำหนดความหนาแน่น ขนาด และจำนวนแผ่น โดยผลิตเป็นแผ่นที่มีความหนาแน่น200 kg/m³ และ 300 kg/m³ และผลิตเป็น 5 ขนาด คือ 5x5x1.5 เซนติเมตร, 5x27.5x1.5 เซนติเมตร, 10x10x1.5 เซนติเมตร, 30x30x1.5 เซนติเมตร และ 40x40x1.5 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมต่างๆ(ตามตารางที่14) ในเบื้องต้นใช้วิธีการคำนวณจากปริมาตรของแม่พิมพ์โดยไม่รวมปริมาณของน้ำยาง

การคำนวณหาปริมาณของซังข้าวโพดที่ขึ้นรูปด้วยการอุ่ม

เป็นการคำนวณหาปริมาณวัสดุซังข้าวโพดที่ต้องใช้ในการผลิตเบื้องต้น โดยคำนวณจากปริมาตรของแผ่นฉนวนหรือปริมาตรของแม่พิมพ์ และความหนาแน่นที่กำหนดไว้

แผ่นฉนวนความหนาแน่น200 kg/m³ ขนาด5x5x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 200 kg/m³

ขนาดแผ่นฉนวน 5 x 5 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น $D = M / V$

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m³)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.05 x 0.05 x 0.015) x 200

= 0.0075 กิโลกรัม หรือ 7.5 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น300 kg/m^3 ขนาด5x5x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 300 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 5 x 5 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น $D = M / V$

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.05 x 0.05 x 0.015) x 300

= 0.0075 กิโลกรัม หรือ 11.25 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น200 kg/m^3 ขนาด5x27.5x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 200 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 5 x 27.5 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น D = M / V

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.05 x 0.275 x 0.015) x 200

= 0.04125 กิโลกรัม หรือ 41.25 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น300 kg/m^3 ขนาด5x27.5x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 300 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 5 x 27.5 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น D = M / V

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.05 x 0.275 x 0.015) x 300

= 0.061875 กิโลกรัม หรือ 61.875 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น200 kg/m^3 ขนาด10x10x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 200 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 10 x 10 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น D = M / V

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.10 x 0.10 x 0.015) x 200

= 0.03 กิโลกรัม หรือ 30 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น300 kg/m^3 ขนาด10x10x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 300 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 10 x 10 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น D = M / V

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.10 x 0.10 x 0.015) x 300

= 0.045 กิโลกรัม หรือ 45 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น200 kg/m^3 ขนาด30x30x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 200 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 30 x 30 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น D = M / V

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.30 x 0.30 x 0.015) x 200

= 0.27 กิโลกรัม หรือ 270 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น300 kg/m^3 ขนาด30x30x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 300 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 30 x 30 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น D = M / V

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.30 x 0.30 x 0.015) x 300

= 0.405 กิโลกรัม หรือ 405 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น200 kg/m^3 ขนาด40x40x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 200 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 40 x 40 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น D = M / V

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.40 x 0.40 x 0.015) x 200

= 0.48 กิโลกรัม หรือ 480 กรัม

แผ่นฉนวนความหนาแน่น300 kg/m^3 ขนาด40x40x1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

กำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวน 300 kg/m^3

ขนาดแผ่นฉนวน 40 x 40 เซนติเมตร

ความหนาแผ่นฉนวน 1.5 เซนติเมตร

สูตรการหาค่าความหนาแน่น D = M / V

เมื่อ D = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

M = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

มวลของซังข้าวโพด = ปริมาตร x ความหนาแน่น

= (กว้าง x ยาว x หนา) x ความหนาแน่น

= (0.40 x 0.40 x 0.015) x 300

= 0.72 กิโลกรัม หรือ 720 กรัม

ตารางที่ 12 สรุปมวลของซังข้าวโพดที่ใช้ในการผลิตแผ่นฉนวน1แผ่น

ความหนาแน่นแผ่นฉนวน kg/m^3	ขนาดแผ่นฉนวน (กว้าง x ยาว x หนา) เซนติเมตร	มวลซังข้าวโพด (g)
200	5x5x1.5	7.5
300	5x5x1.5	11.25
200	5x27.5x1.5	41.25
300	5x27.5x1.5	61.875

ตารางที่ 12 สรุปมวลของซังข้าวโพดที่ใช้ในการผลิตแผ่นฉนวน1แผ่น (ต่อ)

ความหนาแน่นแผ่นฉนวน kg/m³	ขนาดแผ่นฉนวน (กว้าง x ยาว x หนา) เซนติเมตร	มวลซังข้าวโพด (g)
200	10x10x1.5	30
300	10x10x1.5	45
200	30x30x1.5	270
300	30x30x1.5	405
200	40x40x1.5	480
300	40x40x1.5	720

ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีการจุ่ม

สืบเนื่องจากการทดลองขึ้นรูปด้วยวิธีพ่นน้ำยางไม่สามารถทำให้ซังข้าวโพดยึดเกาะกันเป็นแผ่นได้ จึงต้องเปลี่ยนการขึ้นรูปโดยใช้การขึ้นรูปแบบจุ่ม(Dipping) ซึ่งเป็นการขึ้นรูปอีกวิธีหนึ่งโดยนำซังข้าวโพดจุ่มลงในน้ำยางให้ทั่วก่อนจะนำไปอบด้วยความร้อนจนยางแข็งตัว โดยมีขั้นตอนทดลองกับแผ่นฉนวนขนาด 10x10x1.5 เซนติเมตร ดังต่อไปนี้

1. นำซังข้าวโพดใส่ลงในตะแกรง แล้วจึงนำไปจุ่มลงในน้ำยางประมาณ 3 นาทีโดยให้น้ำยางเคลือบซังข้าวโพดอย่างทั่วถึง

ภาพที่ 26 การจุ่มซังข้าวโพดลงในน้ำยาง

2. นำซังข้าวโพดที่สะเด็ดน้ำยางแล้วมาเรียงอัดลงในแม่พิมพ์ โดยใช้แผ่นไม้ช่วยกดด้านบนของซังข้าวโพดเพื่อให้มีความหนาเรียบเสมอกันทั้งแผ่น

ภาพที่ 27 ใส่ซังข้าวโพดที่ผ่านการจุ่มน้ำยางลงในแม่พิมพ์

3. นำซังข้าวโพดที่อัดลงในแม่พิมพ์แล้วไปใส่ในเครื่อง Dryer Hopper แล้วอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาทีเพื่อให้น้ำยางคงรูป เนื่องจากการทดลองนี้ใช้เครื่อง Dryer Hopper ซึ่งเป็นเครื่องเป่าลมร้อน เมื่ออบไปได้ประมาณ45นาทีจึงทำการกลับด้านแผ่นฉนวนที่อบ เพื่อให้แผ่นฉนวนได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง

ภาพที่ 28 การอบแผ่นฉนวนในเครื่อง Dryer Hopper ให้ยางคงรูป

4. เมื่ออบจนยางคงรูปแล้วจึงแกะแผ่นฉนวนออกจากแม่พิมพ์ ก่อนจะนำไปชั่งน้ำหนักและทดสอบค่าอื่นๆต่อไป

ภาพที่29 แผ่นฉนวนหลังอบเสร็จแล้ว

จากการทดลองนี้พบว่าน้ำหนักของยางนั้นมีส่วนทำให้น้ำหนักของแผ่นฉนวนเพิ่มมากขึ้น จึงปรับการทดลองด้วยการเจือจางน้ำยางด้วยน้ำเพื่อลดน้ำหนักลง โดยแบ่งสัดส่วนระหว่างน้ำยางและน้ำเป็น 4 สัดส่วน คือ

1. น้ำยางอย่างเดียวไม่ผสมน้ำ
2. น้ำยาง 1 ส่วน ต่อ น้ำ 1 ส่วน
3. น้ำยาง 2 ส่วน ต่อ น้ำ 1 ส่วน
4. น้ำยาง 1 ส่วน ต่อ น้ำ 2 ส่วน

ภาพที่ 30 แผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยสัดส่วนน้ำยางต่อน้ำทั้ง 4 สัดส่วน

3. การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวน

การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนเพื่อหาฉนวนความร้อนที่มีคุณสมบัติในการยึดเกาะเป็นแผ่นและต้านทานความร้อนได้ดีที่สุด โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่สมบัติเชิงกายภาพ, สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน

ตารางที่ 13 แสดงการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อน

การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวน		
สมบัติเชิงกายภาพ	**สมบัติเชิงกล**	**สมบัติเชิงความร้อน**
ค่าความหนาแน่น	มอดุลัสแตกร้าว	ค่าต้านทานความร้อน
ค่าปริมาณความชื้น	ค่าการต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	ค่าการนำความร้อน
ค่าการดูดซึมน้ำ		ความสามารถในการป้องกันความร้อน
ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ		

การเตรียมชิ้นฉนวนทดสอบ การเตรียมชิ้นฉนวนทดสอบขนาดต่างๆเพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ, เชิงกล และเชิงความร้อนตามมาตรฐาน JIS A 5905, JIS A 5908 และ ASTM C518

ตารางที่ 14 แสดงขนาดชิ้นงานและมาตรฐานอ้างอิงในการทดสอบคุณสมบัติ

คุณสมบัติที่ทดสอบ	**ขนาดชิ้นทดสอบ** (cm)	**มาตรฐานอ้างอิง**
ค่าความหนาแน่น	10 x 10	JIS A 5905
ค่าปริมาณความชื้น	10 x 10	JIS A 5905
ค่าการดูดซึมน้ำ	10 x 10	JIS A 5905
ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ	5 x 5	JIS A 5905
ค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น	5 x 27.5	JIS A 5908
ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	5 x 5	JIS A 5908
ค่าต้านทานความร้อน	30 x 30	ASTM C518
ค่าการนำความร้อน	30 x 30	ASTM C518
ความสามารถในการป้องกันความร้อน	40 x 40	-
ความหนาของชิ้นฉนวนทดสอบ 1.5 cm		

ตารางที่ 15 แสดงจำนวนชิ้นงานในการทดสอบคุณสมบัติ

คุณสมบัติที่ทดสอบ	ขนาดชิ้นทดสอบ (cm)	จำนวน
ค่าความหนาแน่น, ค่าปริมาณความชื้น		
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 200 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	10 x 10	3 แผ่น
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 300 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	10 x 10	3 แผ่น
ค่าการดูดซึมน้ำ		
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 200 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	10 x 10	3 แผ่น
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 300 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	10 x 10	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	10 x 10	3 แผ่น
ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ		
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 200 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	5 x 5	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	5 x 5	3 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	5 x 5	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	5 x 5	3 แผ่น

ตารางที่ 15 แสดงจำนวนชิ้นงานในการทดสอบคุณสมบัติ (ต่อ)

คุณสมบัติที่ทดสอบ	**ขนาดชิ้นทดสอบ (cm)**	**จำนวน**
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 300 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	5 x 5	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	5 x 5	3 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	5 x 5	3 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	5 x 5	3 แผ่น
ค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น		
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 200 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	5 x 27.5	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	5 x 27.5	1 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	5 x 27.5	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	5 x 27.5	1 แผ่น
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 300 kg/m³		
น้ำ ยางไม่ผสมน้ำ	5 x 27.5	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	5 x 27.5	1 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	5 x 27.5	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	5 x 27.5	1 แผ่น
ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า		
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 200 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	5 x 5	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	5 x 5	1 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	5 x 5	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	5 x 5	1 แผ่น
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 300 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	5 x 5	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	5 x 5	1 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	5 x 5	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	5 x 5	1 แผ่น
ค่าต้านทานความร้อน, ค่าการนำความร้อน		
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 200 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	30 x 30	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	30 x 30	1 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	30 x 30	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	30 x 30	1 แผ่น

ตารางที่ 15 แสดงจำนวนชิ้นงานในการทดสอบคุณสมบัติ (ต่อ)

คุณสมบัติที่ทดสอบ	**ขนาดชิ้นทดสอบ** (cm)	**จำนวน**
ฉนวนที่กำหนดความหนาแน่นที่ 300 kg/m³		
น้ำยางไม่ผสมน้ำ	30 x 30	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 1	30 x 30	1 แผ่น
น้ำยาง 2 : น้ำ 1	30 x 30	1 แผ่น
น้ำยาง 1 : น้ำ 2	30 x 30	1 แผ่น
ความสามารถในการป้องกันความร้อน	40 x 40	1 แผ่น
ความหนาของชิ้นฉนวนทดสอบ 1.5 cm		

3.1 สมบัติเชิงกายภาพ

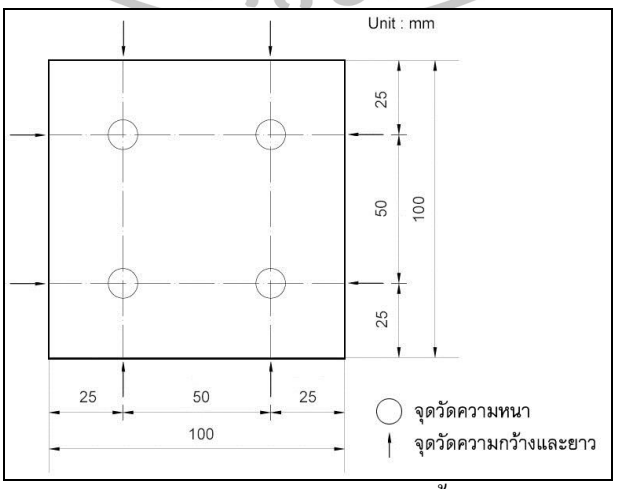
3.1.1 การทดสอบความหนาแน่น (Density)

การหาค่าความหนาแน่นทำได้ด้วยการเทียบอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรหนึ่งหน่วย อ้างอิงตามมาตรฐาน JIS A 5905 มีหน่วยเป็น g/cm³ โดยวัดความกว้าง ความยาวชิ้นฉนวนทดสอบด้วยVernier Caliper วัดความหนาด้วยMicrometer ในตำแหน่งที่ลึกจากปลายขอบด้านละ 25 มิลลิเมตร (ดูภาพที่31) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นตามสูตร โดยค่าความหนาแน่นที่ได้ต้องไม่เกิน 0.35 g/cm³ ตามมาตรฐาน JIS A 5905

$$\text{สูตร ค่าความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{M}{V}$$

โดย M = น้ำหนัก มีหน่วยเป็น กรัม (g)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³)



ภาพที่ 31 แสดงตำแหน่งการวัดความกว้าง ยาว และหนาของชิ้นทดสอบ

3.1.2 การทดสอบปริมาณความชื้น (Moisture content)

วิธีการหาค่าปริมาณความชื้นโดยการเทียบน้ำหนักก่อนอบแห้งกับน้ำหนักหลังอบแห้งของชิ้นฉนวนทดสอบ อ้างอิงตามมาตรฐาน JIS A 5905 มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยชั่งน้ำหนักของชิ้นฉนวนทดสอบก่อนอบแห้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล หลังจากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ103 ±2°C แล้วชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักหลังอบแห้ง แล้วนำมาคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นตามสูตร โดยค่าความชื้นที่ผ่านตามมาตรฐาน JIS A 5905 ต้องมีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 5-13%

$$\text{สูตร ค่าปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100$$

โดย M_0 = น้ำหนักหลังอบ มีหน่วยเป็น กรัม (g)

M_1 = น้ำหนักก่อนอบ มีหน่วยเป็น กรัม (g)

3.1.3 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption test)

การหาค่าการดูดซึมน้ำทำได้ด้วยการเทียบน้ำหนักชิ้นฉนวนทดสอบก่อนแ ช่น้ำกับหลังแช่น้ำ อ้างอิงตามมาตรฐาน JIS A 5905 มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์(%) โดยนำชิ้นฉนวนทดสอบมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแล้วจึงนำไปแช่ในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ 20±1°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ผิวบนของชิ้นฉนวนทดสอบอยู่ใต้พื้นผิวน้ำประมาณ 2 เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงนำมาซับน้ำออกแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง นำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้มาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำตามสูตร

$$\text{สูตร ค่าการดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

โดย M_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็น กรัม (g)

M_2 = น้ำหนักหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็น กรัม (g)

3.1.4 การทดสอบค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

(Swelling in thickness after immersion in water)

การหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำทำได้ด้วยการการเทียบความหนาของชิ้นฉนวนทดสอบก่อนแช่น้ำกับหลังแช่น้ำ อ้างอิงตามมาตรฐาน JIS A 5905 มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยวัดความหนาของชิ้นฉนวนทดสอบด้วยMicrometer ก่อนนำไปแช่ในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ 20±1°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ผิวบนของชิ้นฉนวนทดสอบอยู่ใต้พื้นผิวน้ำประมาณ

3 เซนติเมตร หลังจากนั้นจึงนำมาซับน้ำออกแล้ววัดความหนาอีกครั้ง นำค่าความหนาที่วัดได้มาคำนวณหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำตามสูตร โดยค่าการพองตัวที่ผ่านตามมาตรฐาน JIS A 5905 ต้องไม่เกิน10%

$$\text{สูตร ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (\%)} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100$$

โดย T_1 = ความหนาก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

T_2 = ความหนาหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

3.2 สมบัติเชิงกล

3.2.1 มอดุลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture)

การหาค่ามอดุลัสแตกร้าวเพื่อทดสอบความแข็งแรงในการต้านทานแรงดัด งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ชิ้นฉนวนทดสอบที่ใช้มีขนาดกว้างยาว 50 x 275 มิลลิเมตร หนา 15 มิลลิเมตร วางบนแท่นรองรับที่มีระยะห่างระหว่างกันเท่ากับ 15 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบและกดด้วยเครื่องกดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ อ้างอิงตามมาตรฐาน JIS A 5908

ภาพที่ 32 แสดงการทดสอบหาค่ามอดุลัสแตกร้าว

3.2.2. ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bonding strength)

การหาค่าต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเพื่อทดสอบความแข็งแรงในการยึดเหนี่ยวภายใน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ชิ้นฉนวนทดสอบที่ใช้มีขนาดกว้างยาว 50 x 50 มิลลิเมตร หนา 15 มิลลิเมตร ทดสอบด้วยการติดผิวหน้าของชิ้นทดสอบด้วยกาว

ร้อนเหลวกับแผ่นดึงโลหะ แล้วดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันคือจนเกิดรอยแยกในชั้นไส้ อ้างอิงตามมาตรฐาน JIS A 5908

ภาพที่ 33 แสดงการจับยึดชิ้นทดสอบเพื่อหาค่าแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ภาพที่ 34 แสดงลักษณะหลังการดึงจากการหาค่าแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

3.3 สมบัติเชิงความร้อน

3.3.1 ค่าต้านทานความร้อน (Thermal resistance)

ทดสอบหาค่าต้านทานความร้อนเพื่อหาความสามารถในการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C518 โดยทดสอบความต้านทานความร้อนที่อุณหภูมิ 23.4°C

3.3.2 การทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

ทดสอบหาค่าการนำความร้อนเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C518 โดยทดสอบสภาพนำความร้อนที่อุณหภูมิ 23.4°C

ตารางที่ 16 แสดงรายละเอียดมาตรฐาน JIS A 5905 สำหรับฉนวนกันความร้อน

มาตรฐาน	สมบัติเชิงกายภาพ				สมบัติเชิงกล		สมบัติเชิงความร้อน
	ความหนาแน่น (Kg/m^3)	ความชื้น (%)	การดูดซึมน้ำ (%)	การพองตัว (%)	มอดุลัสแตกร้าว (N/mm^3)	ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (N/mm^3)	ค่าต้านทานความร้อน (m^2 K/W)
JIS A 5905 Fibreboards หมวด Insulation Board	ไม่เกิน 350	5 ถึง13	-	ไม่เกิน 10	ไม่ต่ำกว่า 2	-	ไม่ต่ำกว่า 0.267

4. การทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลอง

เป็นการทดสอบคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของฉนวนซังข้าวโพดด้วยกล่องทดลอง เปรียบเทียบกับฉนวนความร้อนที่มีขายตามท้องตลาด โดยเลือกฉนวนซังข้าวโพดที่มีคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกลและเชิงความร้อนดีที่สุดจากการทดสอบในข้อที่ 3 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

4.1 เตรียมกล่องทดลองจากโฟมโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้ว จำนวน 3 กล่อง โดยประกอบเป็นกล่องปิดทั้ง 5 ด้าน ยึดแต่ละด้านด้วยกาวลาเท็กซ์แล้วอุดรอยต่อภายในและภายนอกด้วยซิลิโคนแล้วปิดรอยต่อภายนอกด้วยเทปกาว ที่เหลืออีกด้านหนึ่งเซาะโฟมเป็นร่องลึก 1 เซนติเมตร แล้วใส่แผ่นฉนวนที่ใช้ทดสอบ โดยกล่องที่1 คือกล่องที่มีผนังไม่ติดตั้งฉนวน กล่องที่2 คือกล่องที่มีผนังติดตั้งฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพด และกล่องที่3 คือกล่องที่มีผนังติดตั้งฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีน

4.2 วางกล่องทดลองลงบนแท่นรองกล่องที่ประกอบจากเหล็กฉากรูขนาด 1½" x 1½" x 2 มิลลิเมตร โดยวางกล่องทดลองห่างกันเป็นระยะ 1 เมตร

4.3 ติดสาย Thermocouple เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆบนกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง รวมทั้งหมด 10 จุด (ดูภาพที่36) ตำแหน่งติดตั้งสาย Thermocouple ต่อกล่องทดลอง 1 กล่อง

จุดที่ 1 วัดอุณหภูมิผิวภายนอกกล่อง กล่องละ 1 จุด

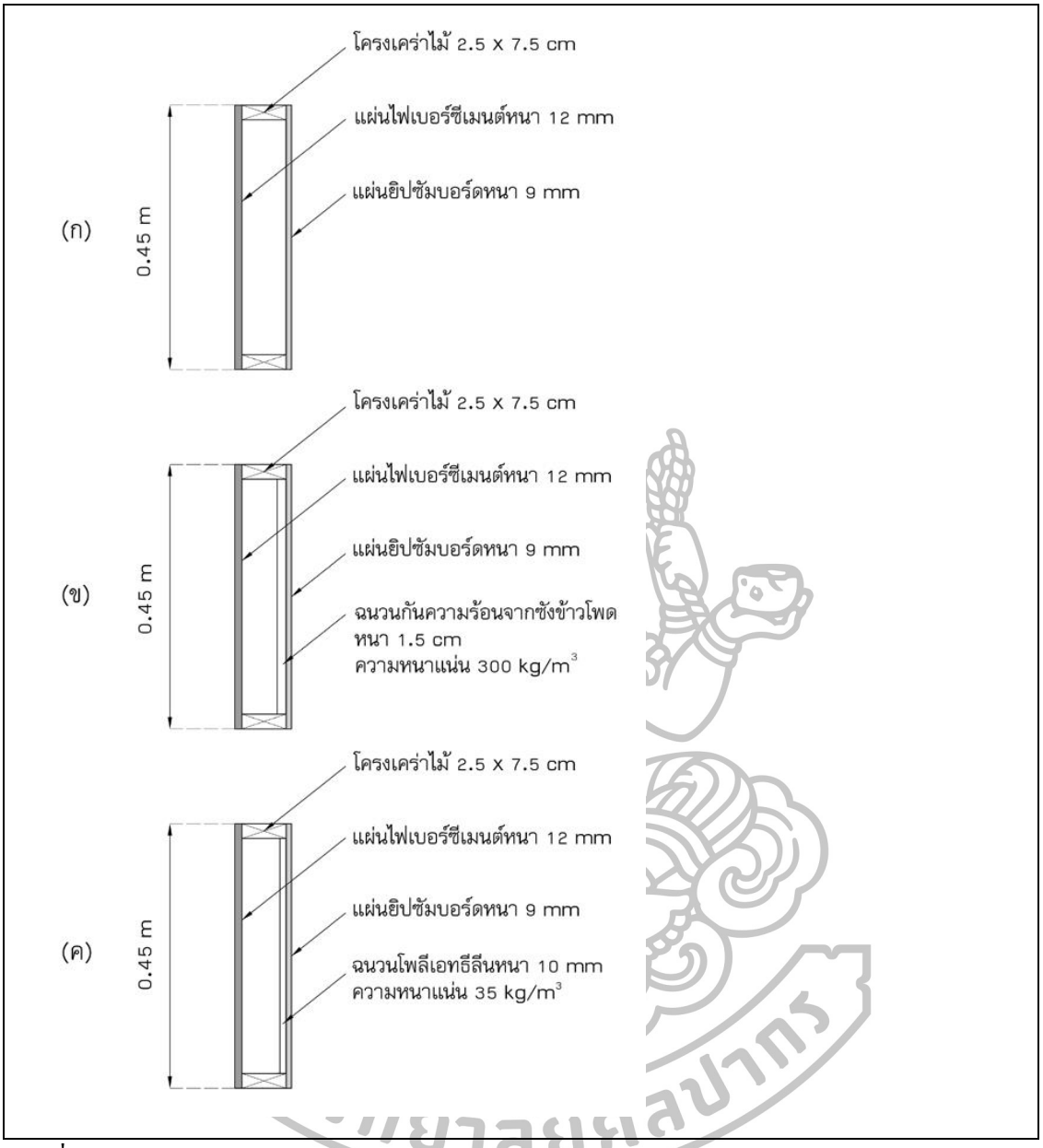
จุดที่ 2 วัดอุณหภูมิผิวภายในกล่อง กล่องละ 1 จุด

จุดที่ 3 วัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง กล่องละ 1 จุด

จุดที่ 4 วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง จำนวน 1 จุด

4.4 วัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆที่กำหนดไว้ โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 3 วัน

4.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้จากทั้ง 3 กล่องทดลอง

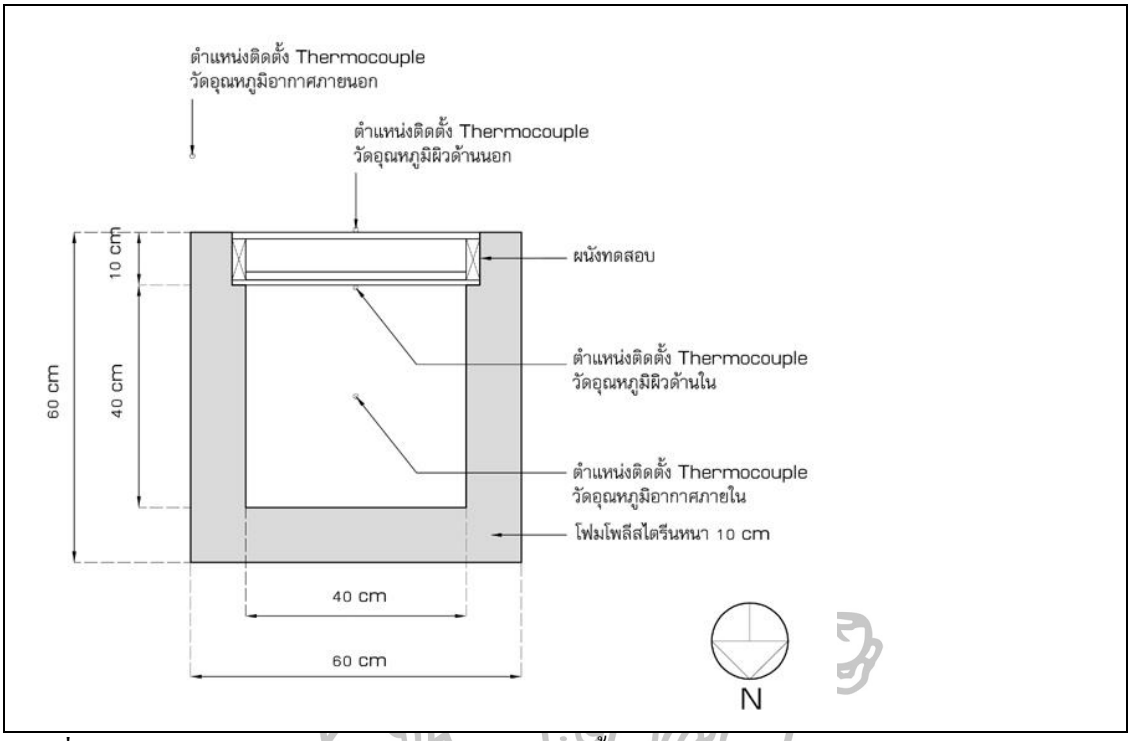


ภาพที่ 35 ส่วนประกอบของผนังทดสอบ

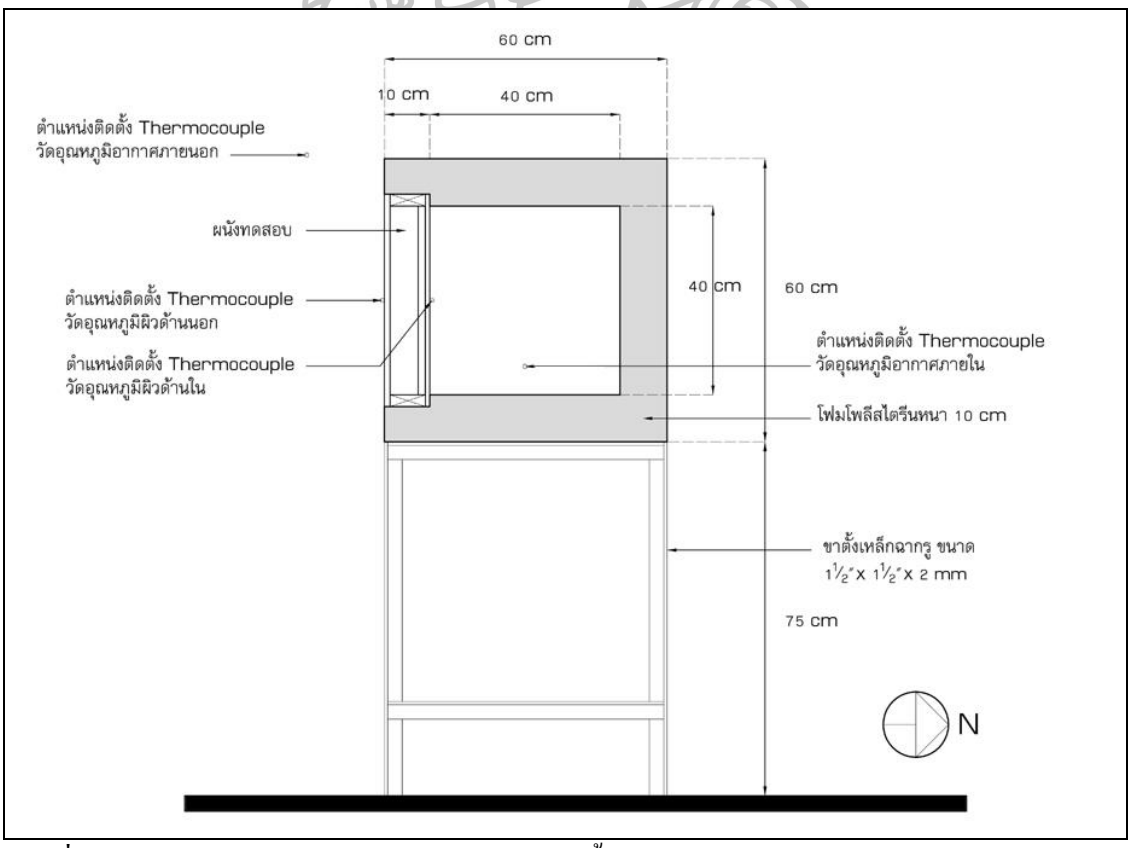
(ก) ผนังที่ไม่ติดตั้งฉนวน

(ข) ผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพด

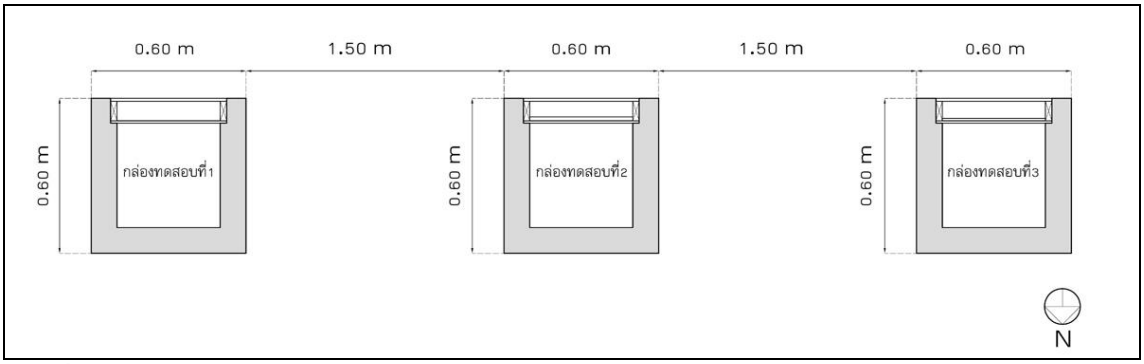
(ค) ผนังที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน



ภาพที่ 36 แปลนกล่องทดลองและแสดงตำแหน่งติดตั้ง Thermocouple



ภาพที่ 37 รูปตัดกล่องทดลองและแสดงตำแหน่งติดตั้ง Thermocouple



ภาพที่ 38 ผังการจัดวางกล่องทดลอง

ภาพที่ 39 การทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลอง

5. เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตกับฉนวนตามท้องตลาด

การคำนวณหาราคาต้นทุนในการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากซังข้าวโพด คิดราคาจากต้นทุนการผลิตของแผ่นฉนวนที่มีคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกลและเชิงความร้อนดีที่สุดจากการทดสอบในข้อที่ 3 โดยคิดจากน้ำหนักวัสดุที่นำมาผลิตแผ่นฉนวนสัดส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำ 2:1 ความหนาแน่น 300 Kg/m³ ขนาด 40 x 40 x 1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

โดยส่วนวัตถุดิบในการผลิตแผ่นฉนวนที่นำมาคำนวณต้นทุนได้แก่ ซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ (เนื่องจากน้ำที่ใช้ผสมเพื่อเจือจางน้ำยางมีปริมาณน้อยจึงไม่คิดราคา) และไม่รวมค่าแรงงาน,ค่าเครื่องมือ,ค่าสาธารณูปโภคและค่ากำไร

ราคาต้นทุนต่อแผ่น	= (น้ำหนักซังข้าวโพด x ราคาบาทต่อหน่วย) + (น้ำหนักน้ำยางธรรมชาติ x ราคาบาทต่อหน่วย)

สรุปวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการใช้วัสดุและอุปกรณ์อ้างอิงตามขั้นตอนการวิจัย โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมซังข้าวโพดบด

1.1 วัสดุในเตรียมซังข้าวโพดบด

1.1.1 ซังข้าวโพดตากแห้ง

1.2 เครื่องมือในการเตรียมซังข้าวโพดบด

1.2.1 เครื่อง Crusher สำหรับบดซังข้าวโพดให้มีขนาดเล็ก

1.2.2 ตะแกรงร่อน

1.2.3 ขวาน ใช้ส่วนสันทุบซังข้าวโพดให้พอแตกก่อนนำไปบด

2. ขั้นตอนการผลิตแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

2.1 วัสดุในการผลิตแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

2.1.1 ซังข้าวโพดที่บดและคัดขนาดแล้ว

2.1.2 น้ำยางธรรมชาติ (Latex 60%)

2.1.3 น้ำสะอาด

2.2 เครื่องมือในการผลิตแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

2.2.1 เครื่อง Dryer Hopper สำหรับอบให้น้ำยางแข็งตัว

2.2.2 ตู้อบลมร้อนระบบแก๊ส12ชั้น สำหรับอบแผ่นฉนวนขนาดใหญ่

2.2.3 แม่พิมพ์

2.2.4 บีกเกอร์ สำหรับตวงน้ำยาง

2.2.5 กะละมัง สำหรับผสมน้ำสะอาดและน้ำยาง

2.2.6 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลยี่ห้อADAM รุ่นPGL2002

3. ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

3.1 เครื่องมือในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ

3.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

3.1.2 Vernier Caliper สำหรับวัดความกว้าง ความยาว

3.1.3 Micrometer สำหรับวัดความหนา

3.2 เครื่องมือในการทดสอบด้วยกล่องทดลอง

3.2.1 โฟมโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้ว

3.2.2 กาวลาเท็กซ์

3.2.3 เทปกาว

3.2.4 ซิลิโคน

3.2.5 เหล็กฉากรูขนาด 1½" x 1½" x 2 มิลลิเมตร

3.2.6 เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger รุ่นTesto177-T4 (วัดอุณหภูมิ)

3.2.7 เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger รุ่นTesto175 (วัดความชื้นสัมพัทธ์)

3.2.8 สายวัดอุณหภูมิ Thermocouple Type-T

3.2.9 เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรม Testo Comfort

(ก) (ข)

(ค)

ภาพที่ 40 อุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

(ก) Data logger รุ่นTesto177-T4

(ข) การส่งข้อมูลจากData logger เข้าคอมพิวเตอร์

(ค) Data logger รุ่นTesto175

สถานที่ในการทำวิจัย

1. แหล่งของวัตถุดิบซังข้าวโพดที่ใช้ในการวิจัย

อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

2. สถานที่ในการเตรียมซังข้าวโพดบดและผลิตแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

2.1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

2.2 บ้านเลขที่ 6 ซอยจรัญสนิทวงศ์59 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางบำหรุ เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร

3. สถานที่ในการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

3.1 สถานที่ทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

(ค่าความหนาแน่น, ค่าปริมาณความชื้น, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ)

บ้านเลขที่6 ซอยจรัญสนิทวงศ์59 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางบำหรุ เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร

3.2 สถานที่ทดสอบสมบัติเชิงกล

(ค่ามอดุลัสแตกร้าว, ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า)

หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

3.3 สมบัติเชิงความร้อน

(ค่าต้านทานความร้อน, ค่าการนำความร้อน)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4. สถานที่ทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลอง

ดาดฟ้าหอพักชายโชติกร เลขที่7 ซอยจรัญสนิทวงศ์59 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางบำหรุ เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร

บทที่4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นการรายงานผลการทดสอบในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดโดยใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสาน และการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกลและเชิงความร้อน รวมไปถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนกับฉนวนที่มีขายตามท้องตลาด และการประเมินต้นทุนการผลิต โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

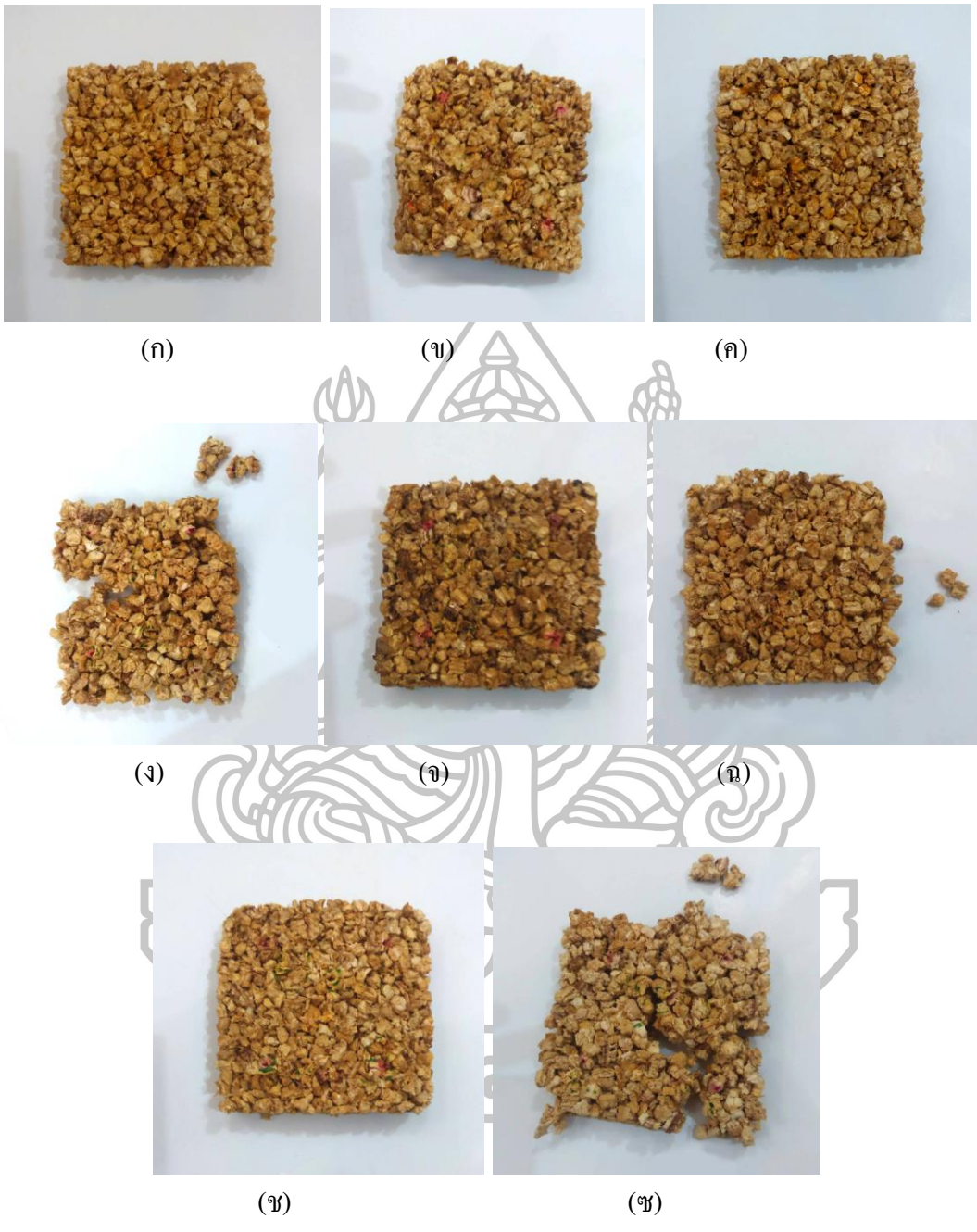
ผลการเตรียมซังข้าวโพด

เนื่องจากซังข้าวโพดที่จะนำมาใช้ผลิตแผ่นฉนวนนั้นใช้วิธีบดย่อยเป็นชิ้นเม็ดเล็กๆ ไม่ได้ใช้เป็นเส้นใยจึงสามารถข้ามกระบวนการปรับปรุงเส้นใย เช่นการกวนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ แต่ต้องคัดขนาดของชิ้นซังข้าวโพดหลังบดให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถผสมกับน้ำยางแล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นได้โดยไม่หลุดออกจากกัน ซึ่งขนาดที่เหมาะสมคือซังข้าวโพดบดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 0.50 เซนติเมตรและไม่เกิน 0.85 เซนติเมตร โดยซังข้าวโพดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากโกดังเก็บข้าวโพดที่อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ในราคาน้ำหนักแห้งกิโลกรัมละ 2 บาท

ผลการผลิตแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

จากขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนที่กล่าวไว้ในบทที่3 การขึ้นรูปด้วยการฉีดพ่นน้ำยางเพื่อให้เคลือบซังข้าวโพดก่อนนำไปอบด้วยเครื่อง Dryer Hopper ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงนั้นไม่สามารถทำให้ฉนวนยึดกันเป็นแผ่นได้ จึงต้องเปลี่ยนเป็นวิธีขึ้นรูป ด้วยการนำซังข้าวโพดไปจุ่มลงในน้ำยางให้ทั่วถึงก่อนจะนำมาเรียงอัดใส่ในแม่พิมพ์แล้วอบด้วยเครื่อง Dryer Hopper หรือตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ผลปรากฏว่าซังข้าวโพดที่จุ่มในน้ำยางก่อนนำไปอบนั้นสามารถยึดเหนี่ยวเป็นแผ่นได้ดี

ปัญหาที่พบต่อมาคือน้ำหนักของเนื้อยางทำให้แผ่นฉนวนมีน้ำหนักมากขึ้นกว่าที่คาดไว้ จึงได้ปรับการทดลองด้วยการเจือจางน้ำยางด้วยน้ำเพื่อลดน้ำหนักลง โดยแบ่งสัดส่วนระหว่างน้ำยางและน้ำเป็น 4 สัดส่วน คือ 1) น้ำยางอย่างเดียวไม่ผสมน้ำ 2)น้ำยาง 1 :น้ำ 1 3)น้ำยาง2 :น้ำ 1 4)น้ำยาง 1 :น้ำ 2 โดยทำการสรุปลักษณะทางกายภาพของแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยสัดส่วนน้ำยางต่อน้ำที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้



ภาพที่ 41 แสดงลักษณะทางกายภาพของฉนวนซังข้าวโพด

(ก) ความหนาแน่น200 kg/m³ น้ำยางไม่ผสมน้ำ (ข) ความหนาแน่น200 kg/m³ น้ำยาง1:น้ำ1

(ค) ความหนาแน่น200 kg/m³ น้ำยาง 2 :น้ำ 1 (ง) ความหนาแน่น200 kg/m³ น้ำยาง1:น้ำ 2

(จ) ความหนาแน่น300 kg/m³ น้ำยางไม่ผสมน้ำ (ฉ) ความหนาแน่น300kg/m³ น้ำยาง1:น้ำ 1

(ช) ความหนาแน่น300 kg/m³ น้ำยาง 2 :น้ำ 1 (ซ) ความหนาแน่น200 kg/m³ น้ำยาง 1:น้ำ 2

ตารางที่ 17 แสดงลักษณะทางกายภาพของแผ่นฉนวนขึ้นรูปด้วยสัดส่วนน้ำยางต่อน้ำที่แตกต่างกัน

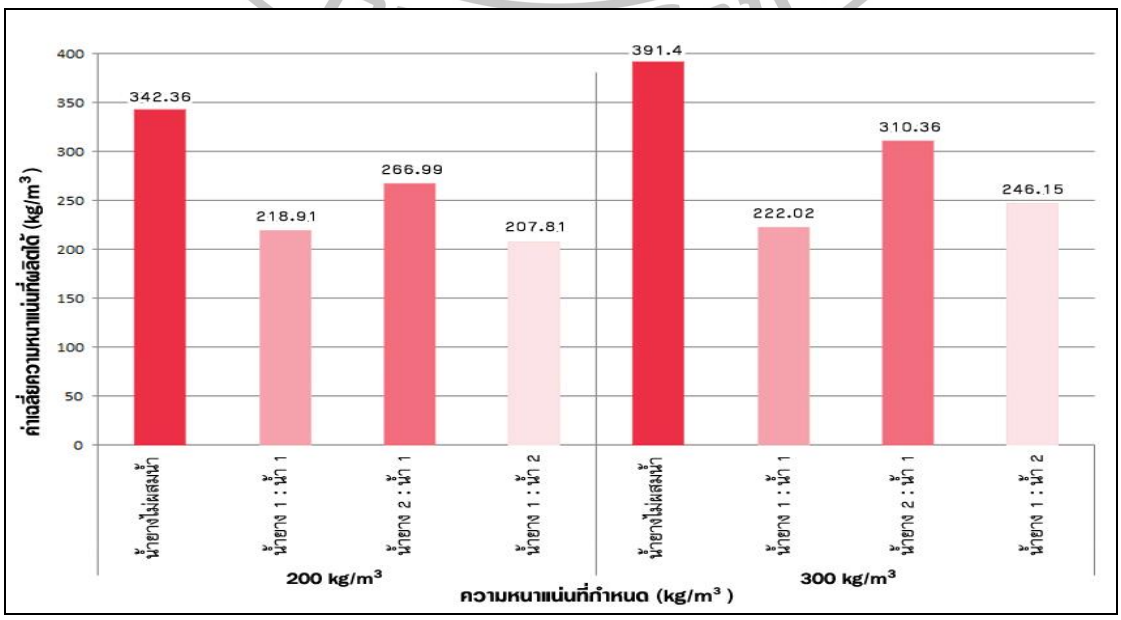
ความหนาแน่นแผ่นฉนวน Kg/m³	สัดส่วนน้ำยาง : น้ำ	ลักษณะทางกายภาพ
200	น้ำยางไม่ผสมน้ำ	มีน้ำหนักมากที่สุดในกลุ่มความหนาแน่น200 kg/m³ เกาะยึดเป็นแผ่นได้ดี ดัดงอได้ยาก
	น้ำยาง 1 : น้ำ 1	การเกาะยึดปานกลาง ดัดงอได้ง่ายแต่ถ้างอมากจะขาดแยกออกจากกัน
	น้ำยาง 2 : น้ำ 1	เกาะยึดเป็นแผ่นได้ดี มีน้ำหนักรองลงมาจากแบบไม่ผสมน้ำ
	น้ำยาง 1 : น้ำ 2	การเกาะยึดไม่ดี หลุดแยกออกจากกันได้ง่าย น้ำหนักเบา
300	น้ำยางไม่ผสมน้ำ	มีน้ำหนักมากที่สุด เกาะยึดเป็นแผ่นได้ดี ดัดงอได้ยาก
	น้ำยาง 1 : น้ำ 1	การเกาะยึดปานกลาง ดัดงอได้ง่าย ซังข้าวโพดบางส่วนหลุดออกมาได้ง่าย
	น้ำยาง 2 : น้ำ 1	เกาะยึดเป็นแผ่นได้ดี มีน้ำหนักรองลงมาจากแบบไม่ผสมน้ำ
	น้ำยาง 1 : น้ำ 2	การเกาะยึดไม่ดี หลุดแยกออกจากกันได้ง่าย น้ำหนักเบา

ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

1. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

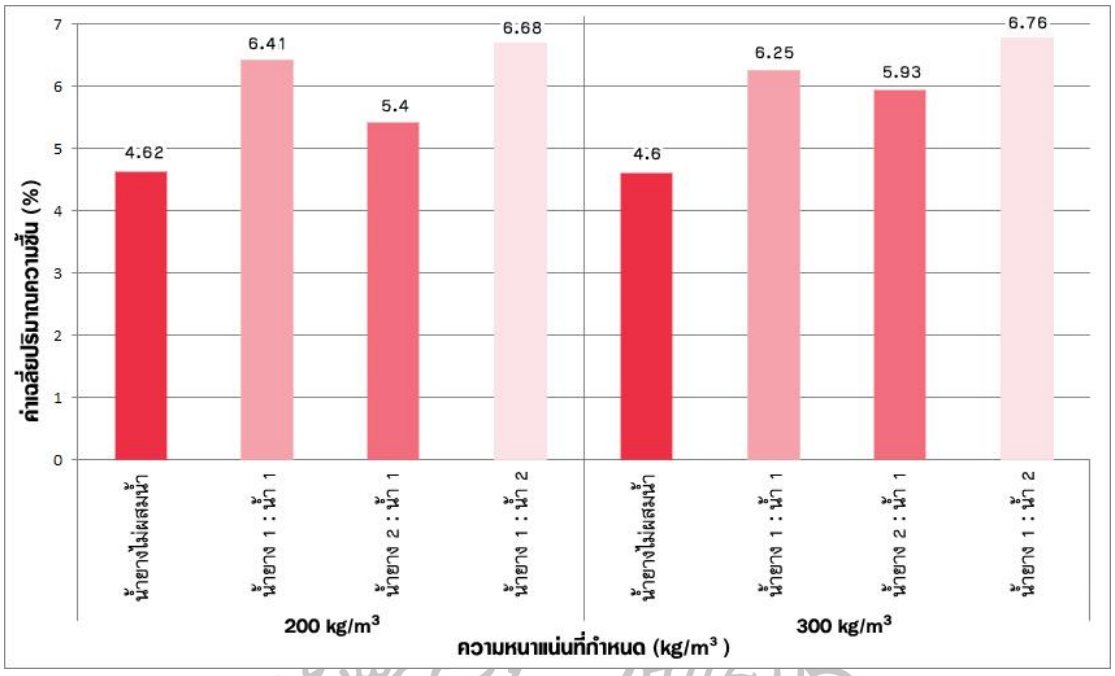
1.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

แผนภูมิที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด



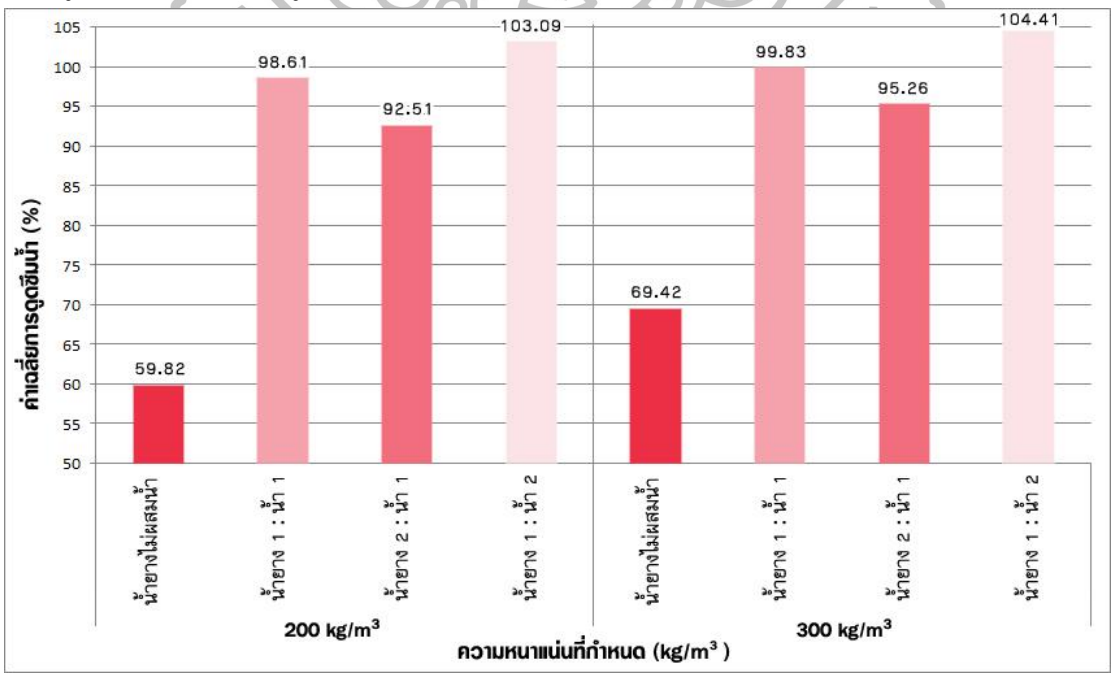
1.2 ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้น (Moisture content)

แผนภูมิที่ 3 แสดงค่าปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด



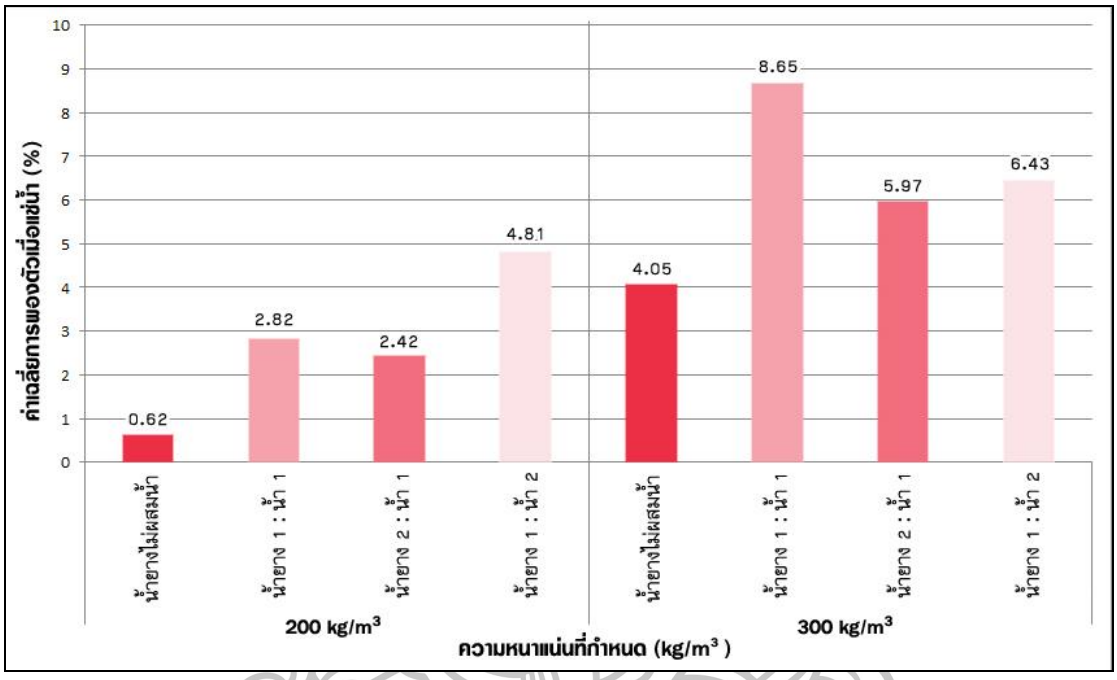
1.3 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption test)

แผนภูมิที่ 4 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด



1.4 ผลการทดสอบค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling in thickness after immersion in water)

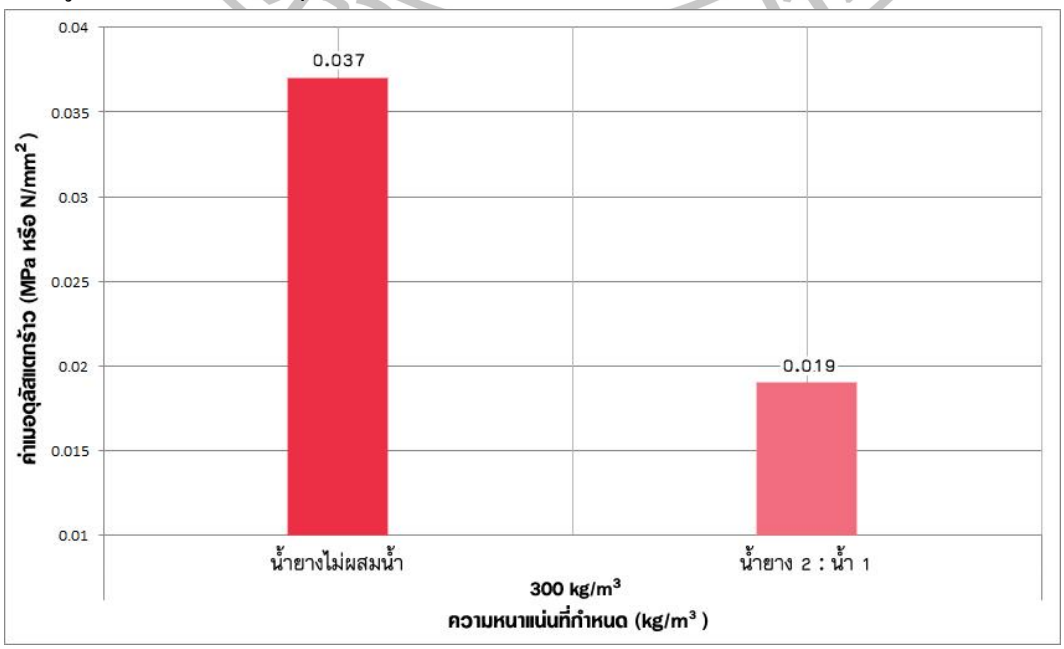
แผนภูมิที่ 5 แสดงค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด



2. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

2.1 ผลการทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture)

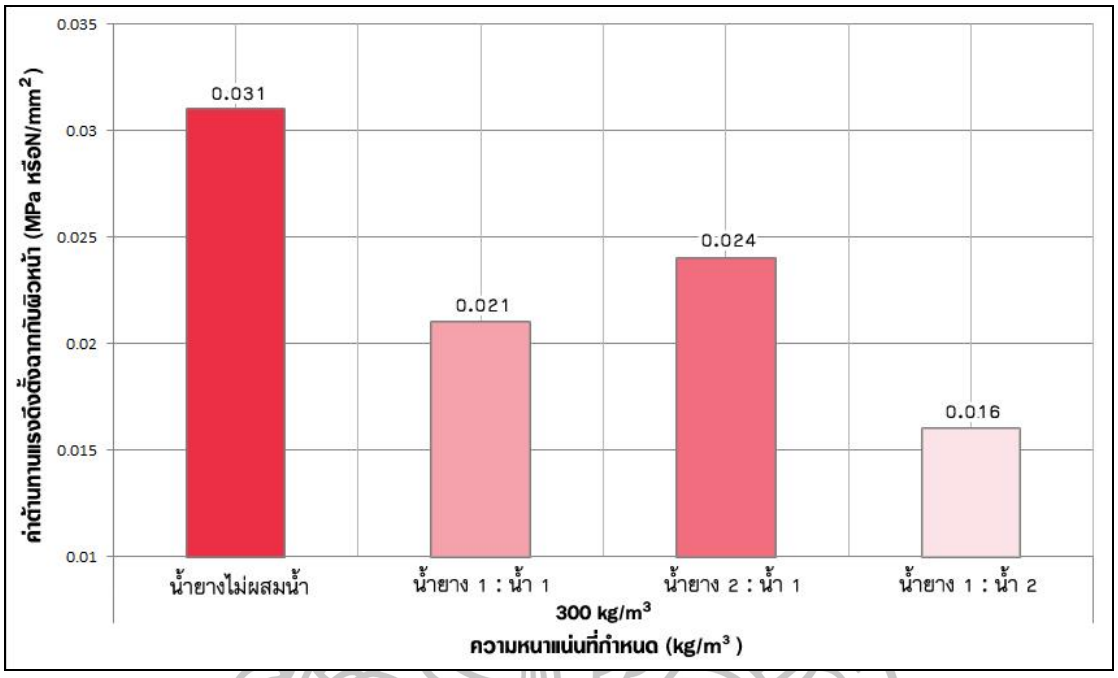
แผนภูมิที่ 6 แสดงค่ามอดุลัสแตกร้าวของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด



2.2 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

(Internal bonding strength)

แผนภูมิที่ 7 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด



3. ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

3.1 ผลการทดสอบค่าต้านทานความร้อน (Thermal resistance)

3.2 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

ตารางที่ 18 แสดงค่าต้านทานความร้อนและค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

ความหนาแน่นที่กำหนด kg/m³	สัดส่วนน้ำยาง : น้ำ	ค่าต้านทานความร้อน m² K/W	ค่าการนำความร้อน W/m-k
300	น้ำยางไม่ผสมน้ำ	0.293	0.068
	น้ำยาง 1 : น้ำ 1	0.328	0.067
	น้ำยาง 2 : น้ำ 1	0.347	0.066

ตารางที่ 19 แสดงการให้คะแนนแผ่นฉนวนจากคุณสมบัติต่างๆเพื่อนำไปทดสอบกับกล่องทดลอง

คุณสมบัติของแผ่นฉนวน		ค่าต้านทานความร้อน 200 kg/m³ (น้ำยาง : น้ำ)				ค่าการนำความร้อน 300 kg/m³ (น้ำยาง : น้ำ)			
		1:0	**1:1**	**2:1**	**1:2**	**1:0**	**1:1**	**2:1**	**1:2**
ลักษณะกายภาพ (การเกาะยึดกันเป็นแผ่น)		1	0	1	0	1	0	1	0
มาตรฐาน JIS A 5905									
เชิงกายภาพ	ความหนาแน่น	1	1	1	1	0	1	1	1
	ปริมาณความชื้น	0	1	1	1	0	1	1	1
	การดูดซึมน้ำ	-	-	-	-	-	-	-	-
	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ	1	1	1	1	1	1	1	1
เชิงกล	มอดุลัสแตกร้าว	-	-	-	-	0	-	0	-
	ความต้านทานแรงดึงตั้งฉาก	-	-	-	-	-	-	-	-
เชิงความร้อน	ต้านทานความร้อน	-	-	-	-	1	1	1	-
รวมคะแนน		3	3	4	3	3	4	**5**	3

หมายเหตุ 1. อ้างอิงการให้คะแนนจากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆกับเกณฑ์มาตรฐาน JIS A 5905 และลักษณะทางกายภาพ (ดูภาพที่41)

2. การให้คะแนน 1 หมายถึงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 0 หมายถึงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และ - หมายถึงมาตรฐานไม่ได้ระบุให้ทดสอบหรือมีลักษณะที่ไม่สามารถส่งทดสอบได้

จากการให้คะแนนแผ่นฉนวนซังข้าวโพดโดยคิดจากคุณสมบัติต่างๆตามมาตรฐาน JIS A 5905 พบว่าแผ่นสัดส่วนน้ำยาง2 : น้ำ1 ความหนาแน่น300 kg/m³ ได้คะแนนสูงสุดคือ5คะแนน มีความเหมาะสมที่จะนำไปทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลองต่อไป

4. ผลการทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลอง

ผลการทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากกล่องทดลองที่มีผนังทดสอบรวมทั้งหมด 3 กล่อง โดยมี 1)ผนังที่ไม่ติดตั้งฉนวน 2)ผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดสัดส่วนน้ำยาง2:น้ำ1 ความหนาแน่น300 kg/m³ ขนาด40x40x1.5 เซนติเมตร 3)ผนังที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ Data logger ยี่ห้อTestoรุ่น 177-T4 บันทึกข้อมูลอุณหภูมิผิวภายนอกกล่อง, อุณหภูมิผิวภายในกล่อง, อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง, อุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง และData logger ยี่ห้อTestoรุ่น175 บันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน พ.ศ. 2557

(ก) (ข)

(ค)

ภาพที่ 42 ตำแหน่งติดตั้งสาย Thermocouple ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

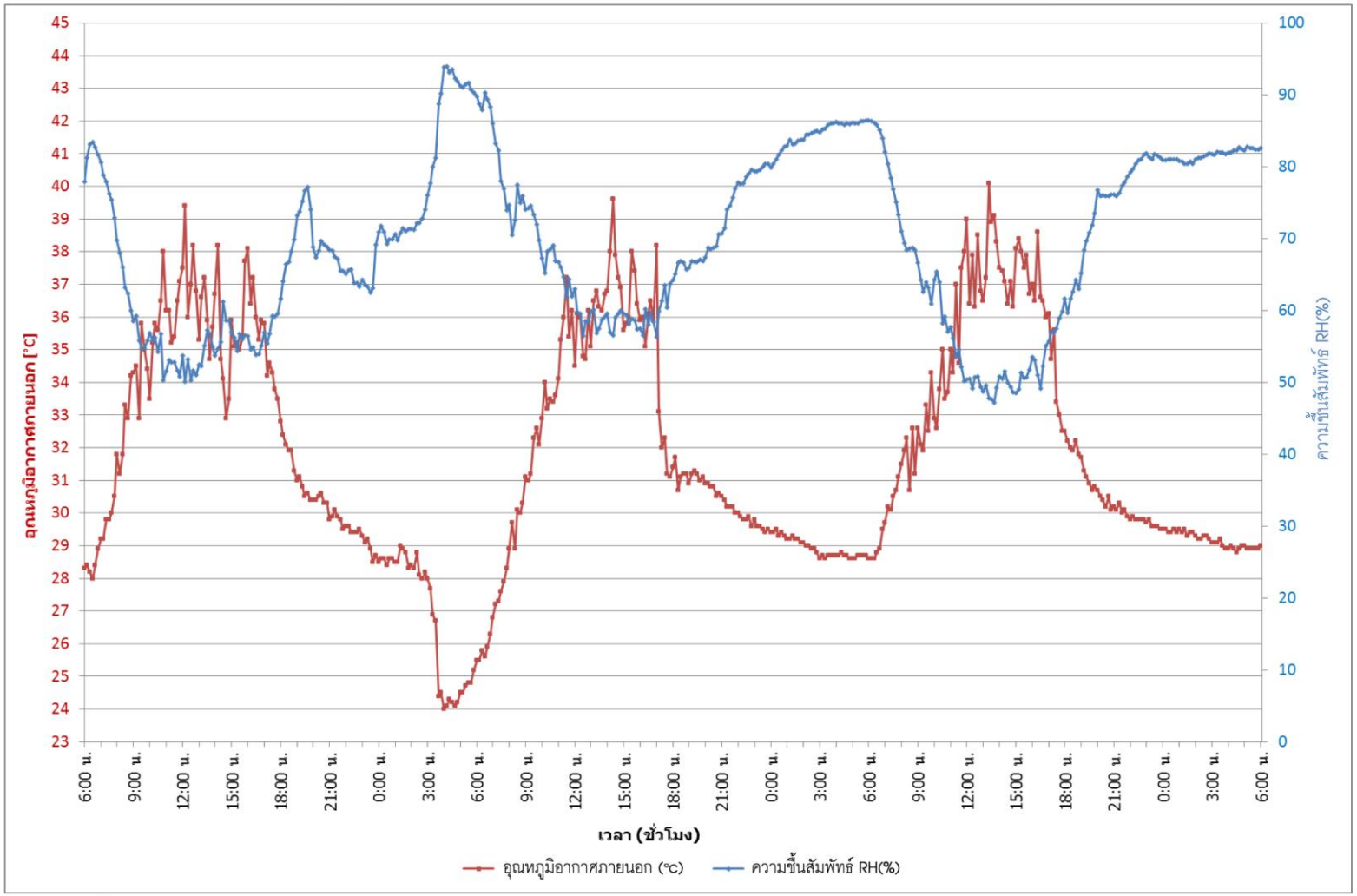
(ก) ตำแหน่งบันทึกข้อมูลอุณหภูมิผิวภายนอกกล่อง

(ข) ตำแหน่งบันทึกข้อมูลอุณหภูมิผิวภายในกล่อง

(ค) ตำแหน่งบันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง

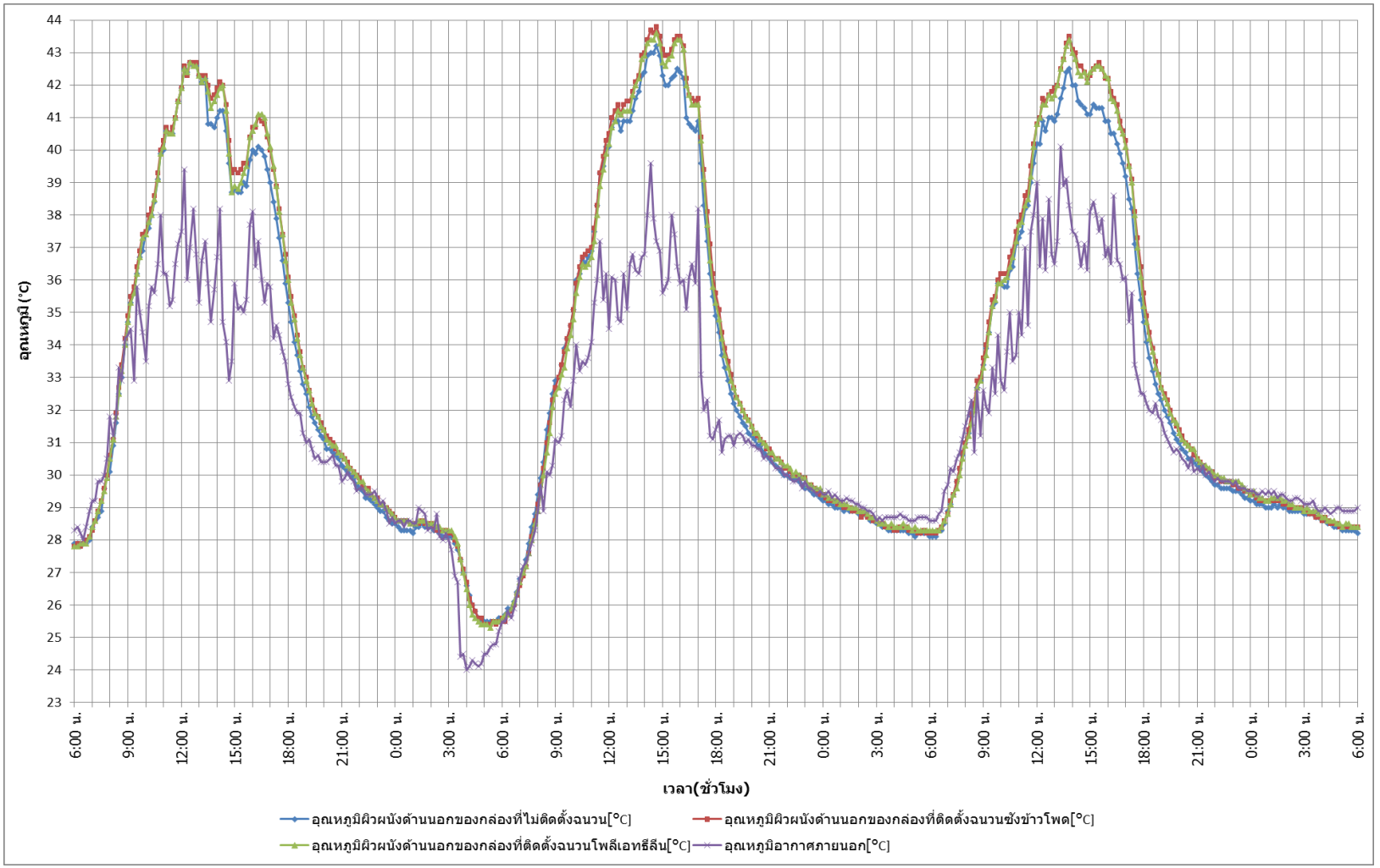
ภาพที่ 43 ตำแหน่งการวางกล่องทดลองโดยหันหน้าไปทางทิศใต้

การวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและความชื้นสัมพัทธ์

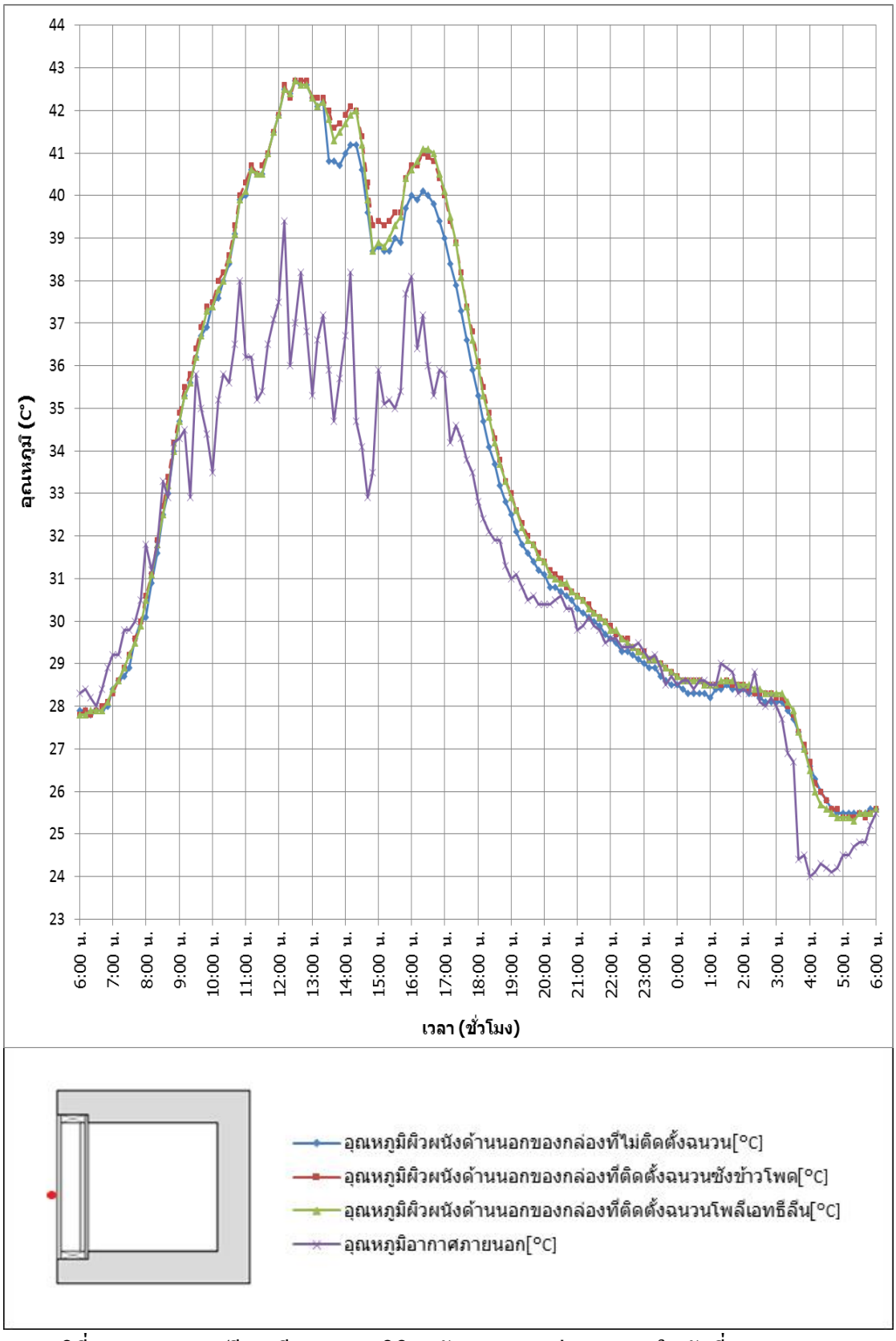


แผนภูมิที่ 8 แสดงอุณหภูมิอากาศภายนอกและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน 2557

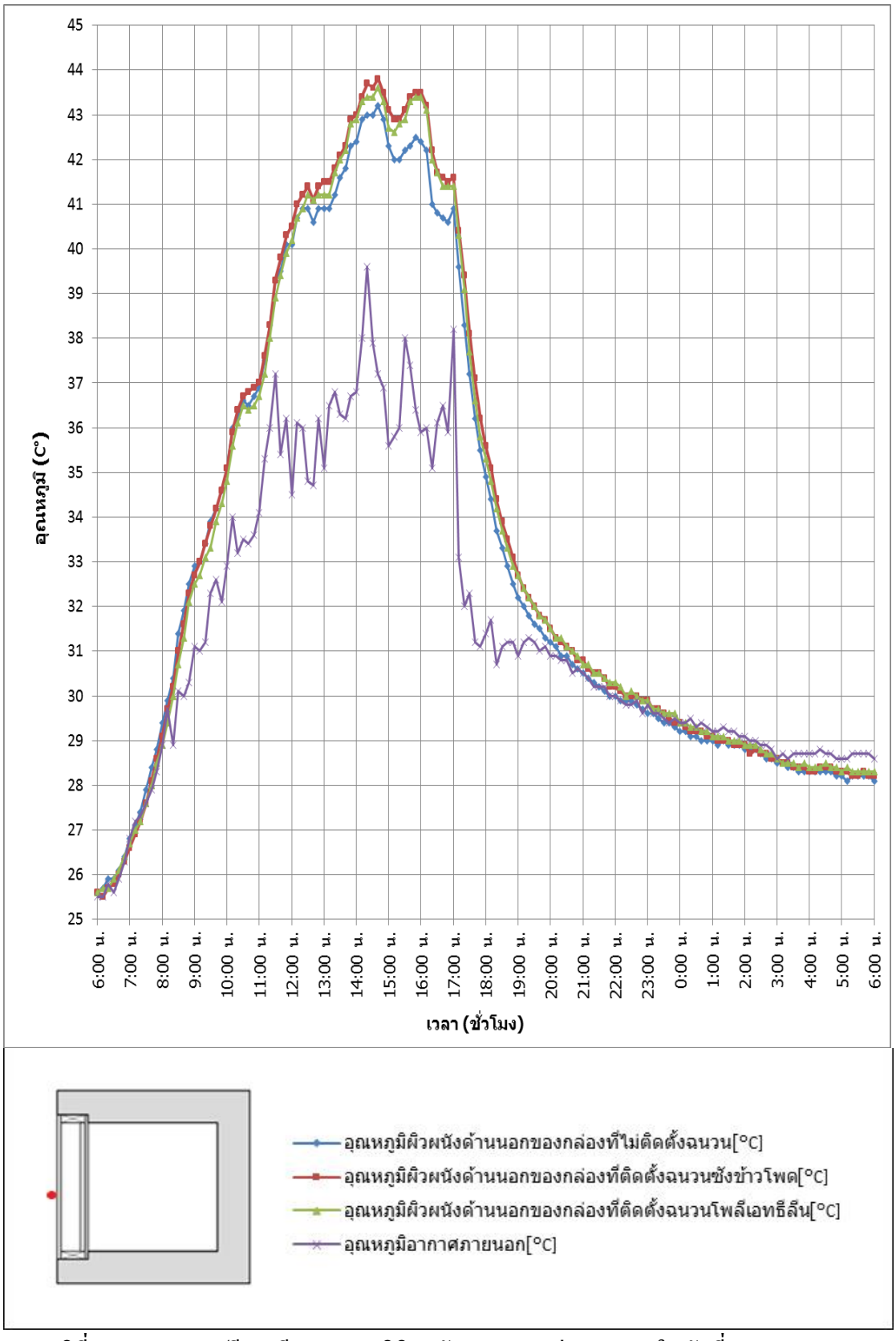
จากการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างวันที่14-16 เมษายน2557ด้วย Data logger ยี่ห้อTestoรุ่น175 ตามแผนภูมิที่2 โดยรวมทั้ง3วันมีแดดสลับกับเมฆมาก มีลมพัดแรงเป็นระยะและความชื้นสัมพัทธ์สูงในช่วงกลางคืนจนถึงก่อนเช้าโดยเฉพาะวันที่14เมษายนมีอากาศค่อนข้างแปรปรวนและมีฝนตกในช่วงเวลาประมาณ3.00-6.00น. ทำให้มีค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างจากวันอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง3วันมีรูปแบบผกผันกับอุณหภูมิอากาศภายนอก



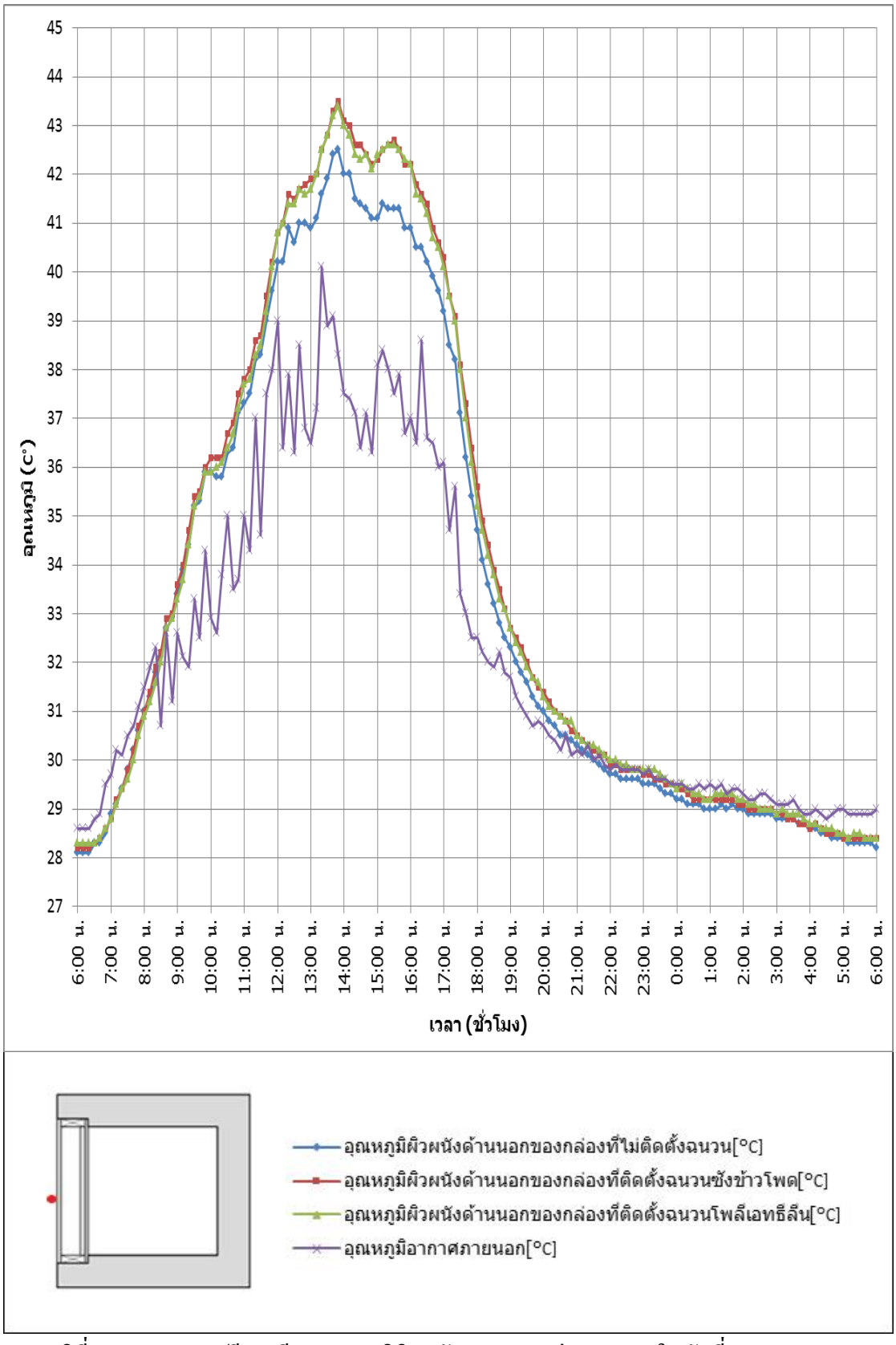
แผนภูมิที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลองระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน 2557



แผนภูมิที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลองในวันที่14 เมษายน 2557



แผนภูมิที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลองในวันที่15 เมษายน 2557



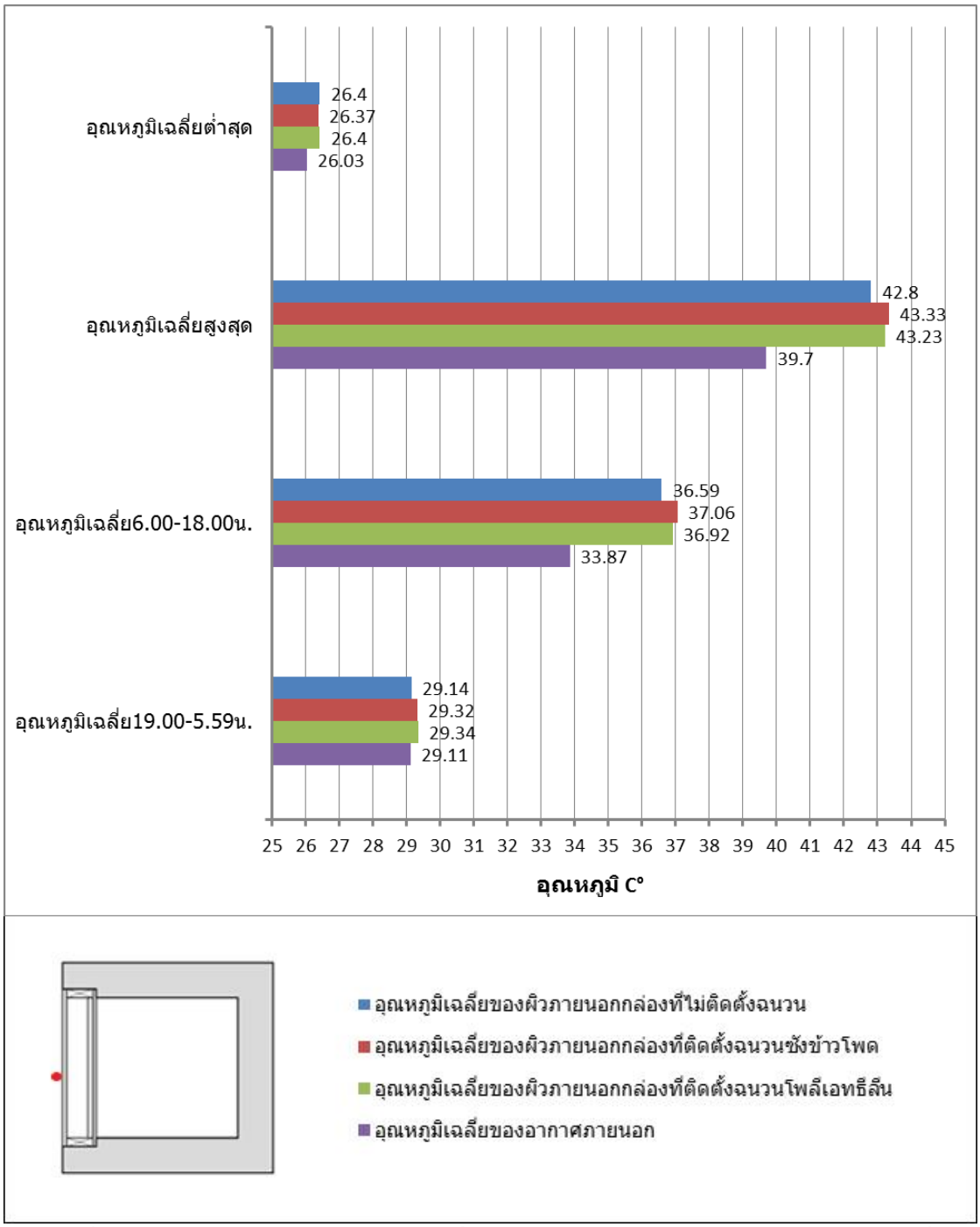
แผนภูมิที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องทดลองในวันที่16 เมษายน 2557

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายนอกกล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวัน (6.00 - 18.59 น.)				อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืน (19.00 - 5.59 น.)			
กล่องทดสอบ	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน
กล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน	36.81	36.39	36.57	36.59	28.57	29.42	29.44	29.14
กล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด	37.23	36.75	37.20	37.06	28.76	29.57	29.62	29.32
กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน	37.13	36.55	37.07	36.92	28.74	29.62	29.67	29.34
อุณหภูมิอากาศภายนอก	34.16	33.06	34.39	33.87	28.16	29.54	29.63	29.11

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของผิวผนังภายนอกกล่องทดลอง

	อุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุด (C°)				อุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุด (C°)			
กล่องทดสอบ	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน
กล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน	42.70	43.20	42.50	42.80	25.50	25.60	28.10	26.40
กล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด	42.70	43.80	43.50	43.33	25.40	25.50	28.20	26.37
กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน	42.70	43.60	43.40	43.23	25.30	25.60	28.30	26.40
อุณหภูมิอากาศภายนอก	39.40	39.60	40.10	39.70	24.00	25.50	28.60	26.03

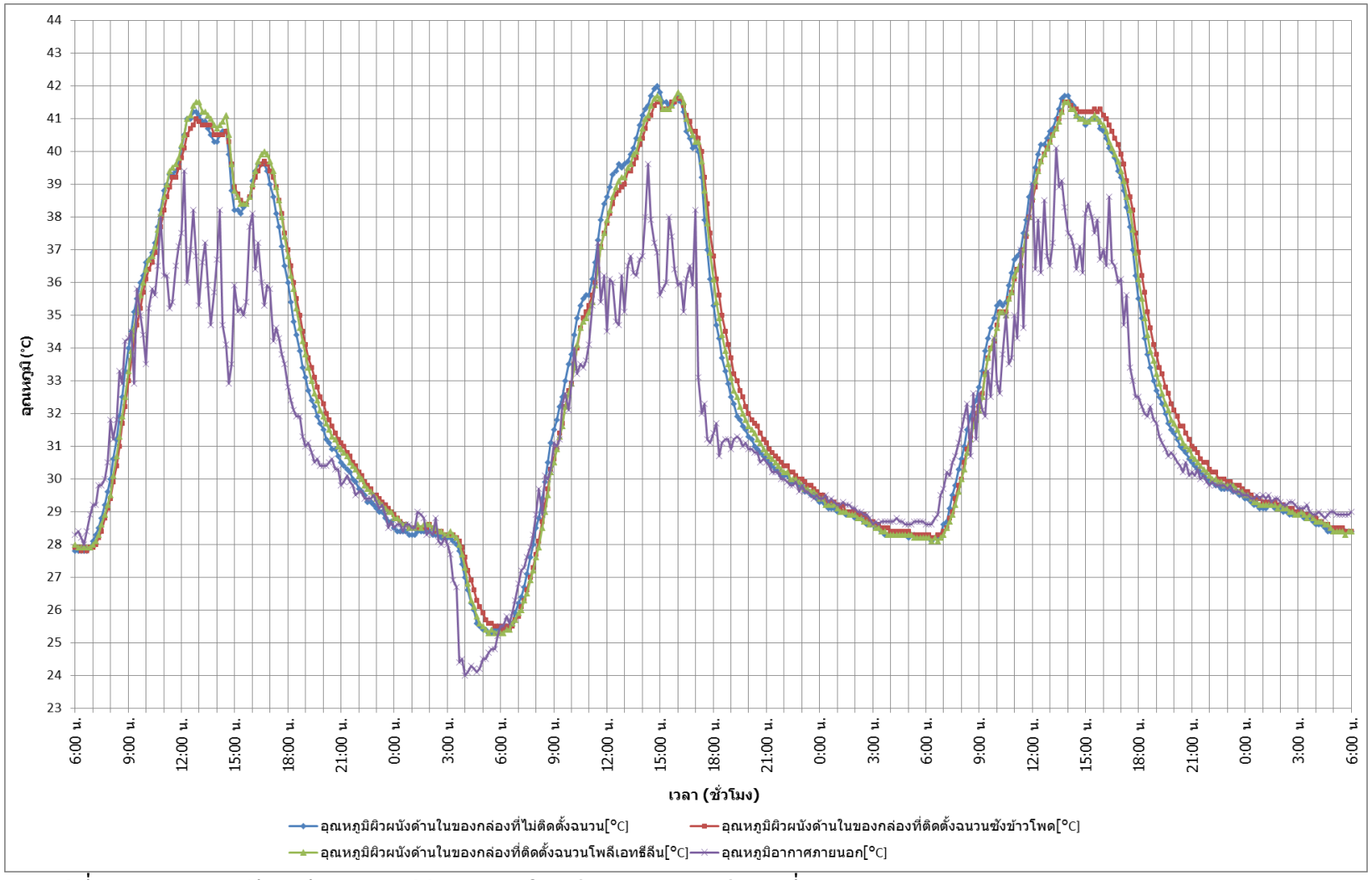


แผนภูมิที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายนอกกล่องทดลองระหว่างวันที่14-16 เมษายน 2557

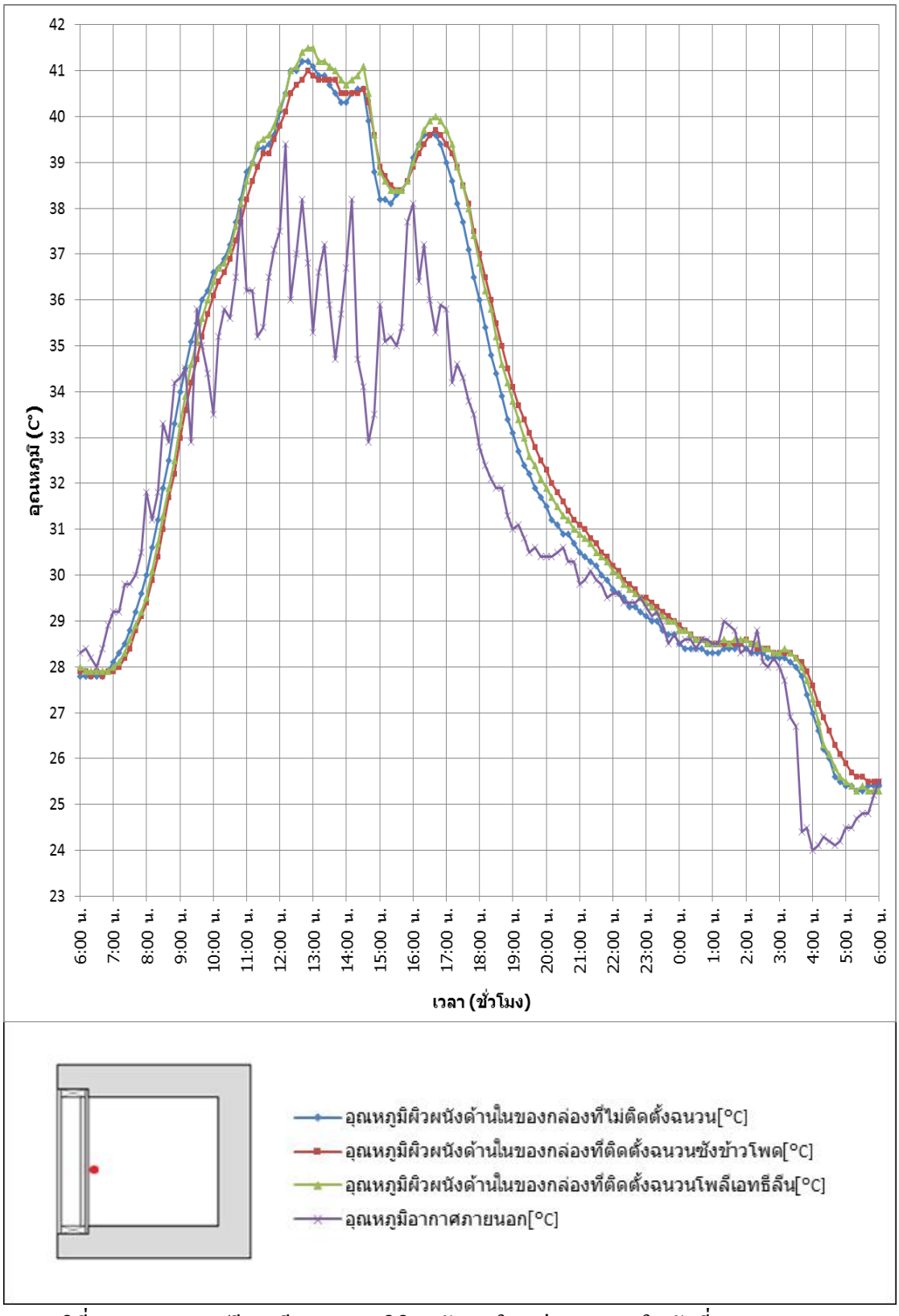
ช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.59 น.) อุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ยทั้ง3วันของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดอยู่ที่37.06°C โดยอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ย3วันของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่ที่36.59°C และอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ย3วันของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ที่36.92°C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายนอกกล่องทั้ง3แบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ยสูงกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.14°C และสูงกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.47°C ทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก3.19°C กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก3.05°C และกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก2.72°C

ช่วงเวลากลางคืน (19.00-5.59 น.) อุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ยทั้ง3วันของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดอยู่ที่29.32°C โดยอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ย3วันของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่ที่29.14°C และอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ย3วันของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ที่29.34°C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายนอกกล่องทั้ง3แบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ยน้อยว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.02°C แต่สูงกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.18°C ทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเฉลี่ยใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก0.21°C กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก0.23°C และกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก0.03°C

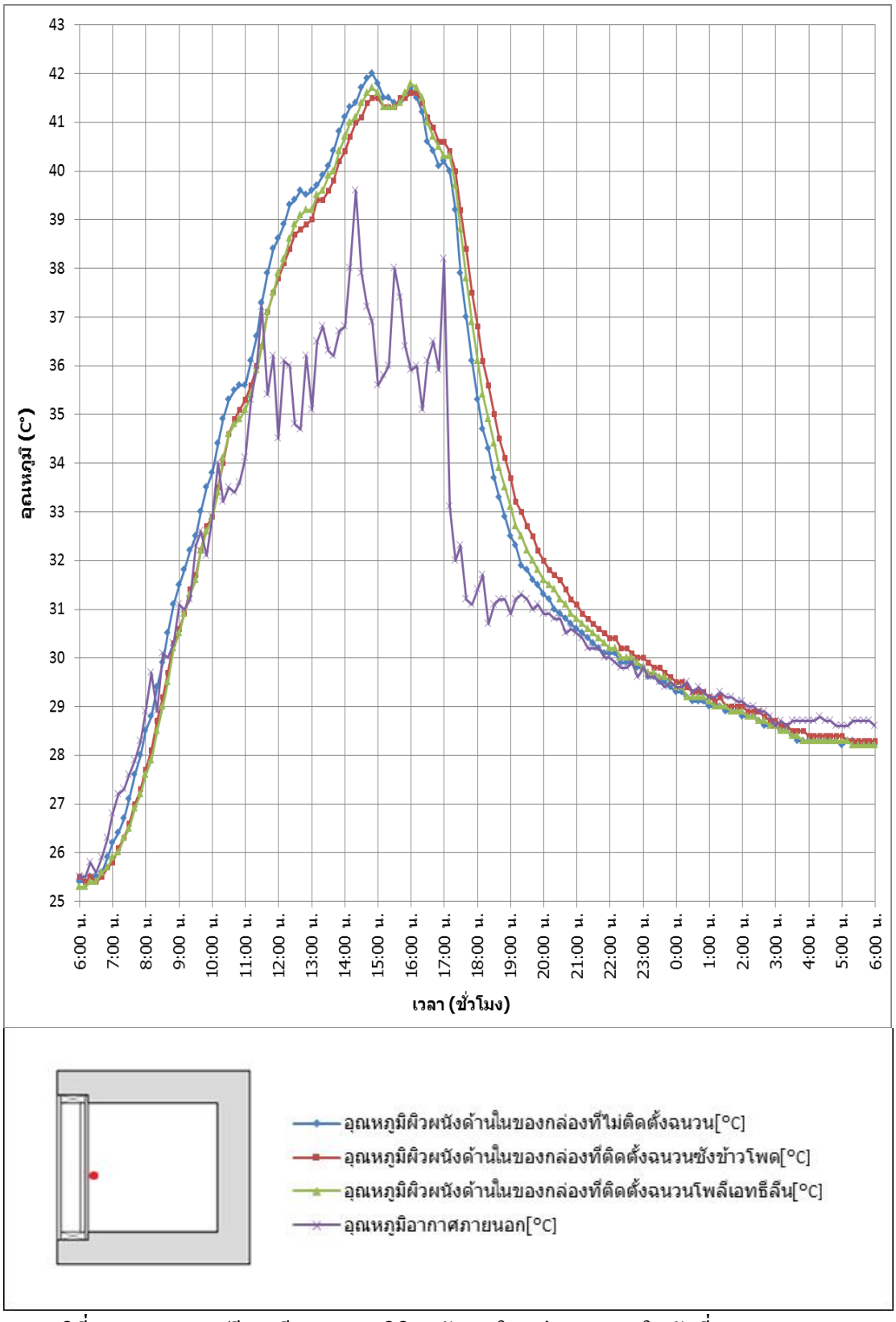
จากแผนภูมิที่3-6 แสดงให้เห็นว่ากล่องทดลองทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดอยู่ ในช่วงเวลา12.00-15.00น. โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่43.33°C สูงกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.10°C สูงกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.53°C และสูงกว่าอากาศภายนอกยู่ 3.63°C กล่องทดลองทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดในช่วงเวลา5.00-6.00น. โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่26.37°C ซึ่งต่ำกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนและกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.03°C แต่สูงกว่าอากาศภายนอกอยู่0.34°C



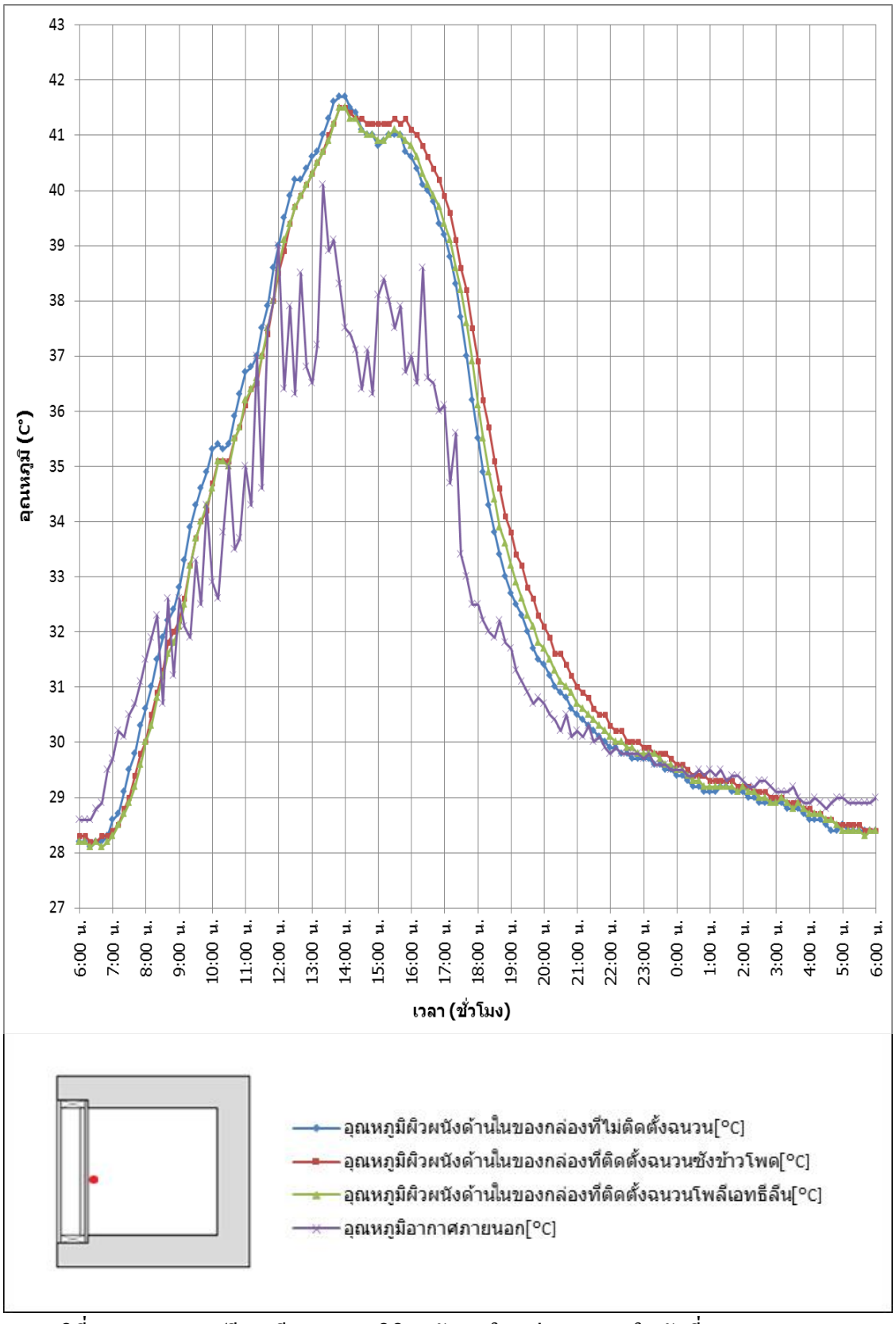
แผนภูมิที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลองระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน 2557



แผนภูมิที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลองในวันที่14 เมษายน 2557



แผนภูมิที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลองในวันที่15 เมษายน 2557



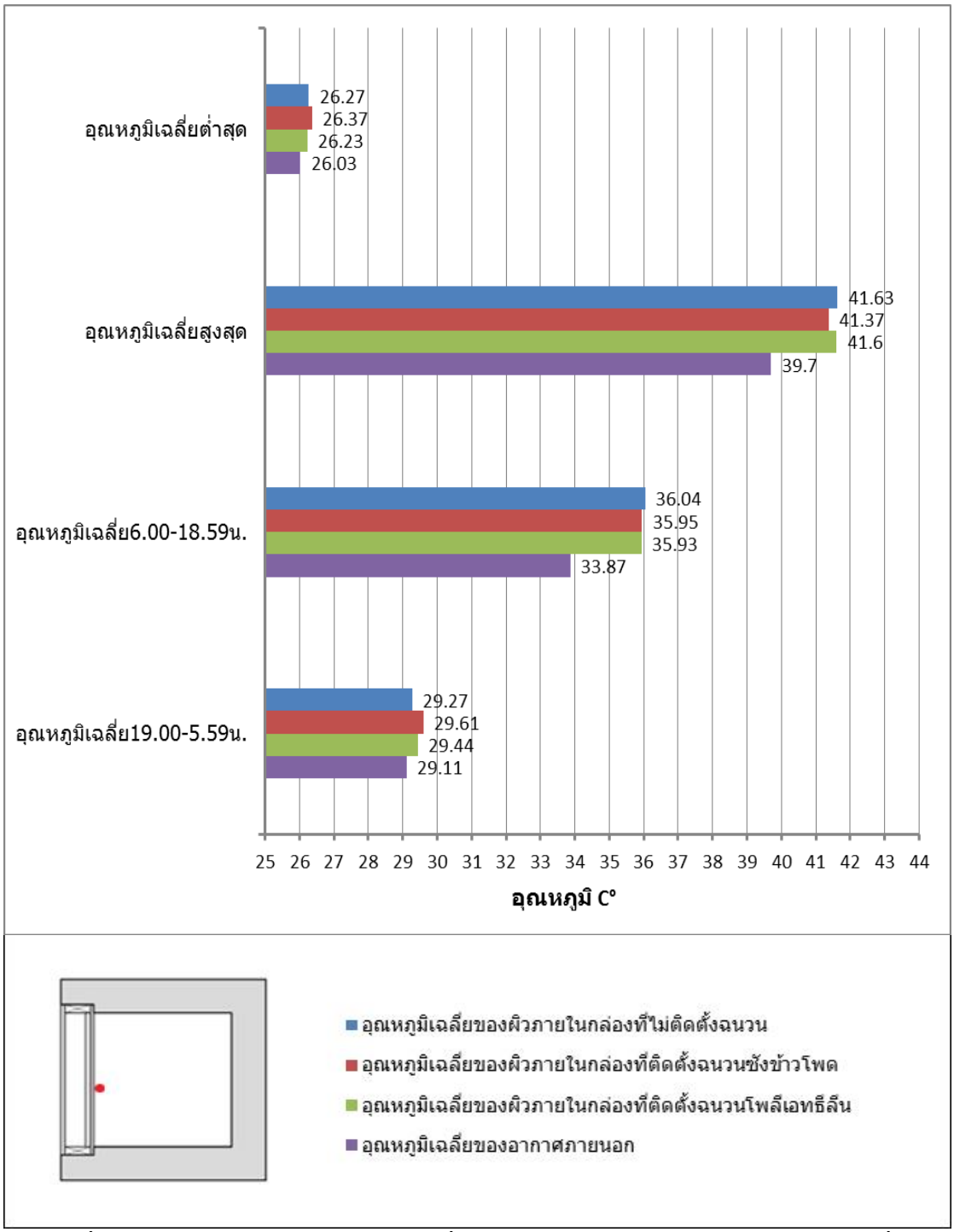
แผนภูมิที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องทดลองในวันที่16 เมษายน 2557

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายในกล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวัน (6.00 - 18.59 น.)				อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืน (19.00 - 5.59 น.)			
กล่องทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน
กล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน	36.29	35.56	36.26	36.04	28.71	29.49	29.61	29.27
กล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด	36.24	35.34	36.27	35.95	29.13	29.79	29.91	29.61
กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน	36.43	35.27	36.09	35.93	28.98	29.61	29.74	29.44
อุณหภูมิอากาศภายนอก	34.16	33.06	34.39	33.87	28.16	29.54	29.63	29.11

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของผิวผนังภายในกล่องทดลอง

	อุณหภูมิผิวภายในสูงสุด (C°)				อุณหภูมิผิวภายในต่ำสุด (C°)			
กล่องทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน
กล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน	41.20	42.00	41.70	41.63	25.30	25.40	28.10	26.27
กล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด	41.00	41.60	41.50	41.37	25.50	25.40	28.20	26.37
กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน	41.50	41.80	41.50	41.60	25.30	25.30	28.10	26.23
อุณหภูมิอากาศภายนอก	39.40	39.60	40.10	39.70	24.00	25.50	28.60	26.03

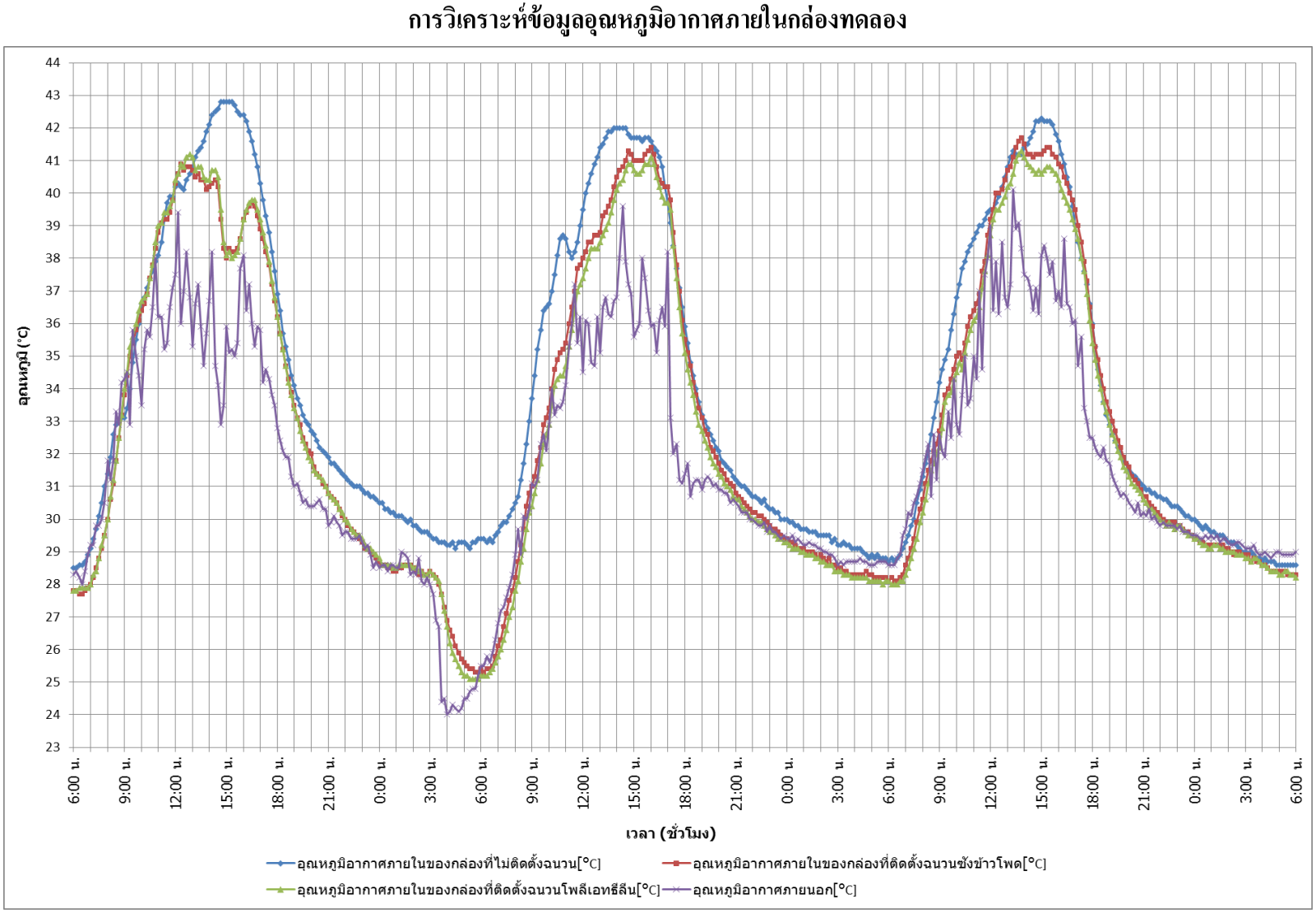


แผนภูมิที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายในกล่องทดลองระหว่างวันที่14-16 เมษายน 2557

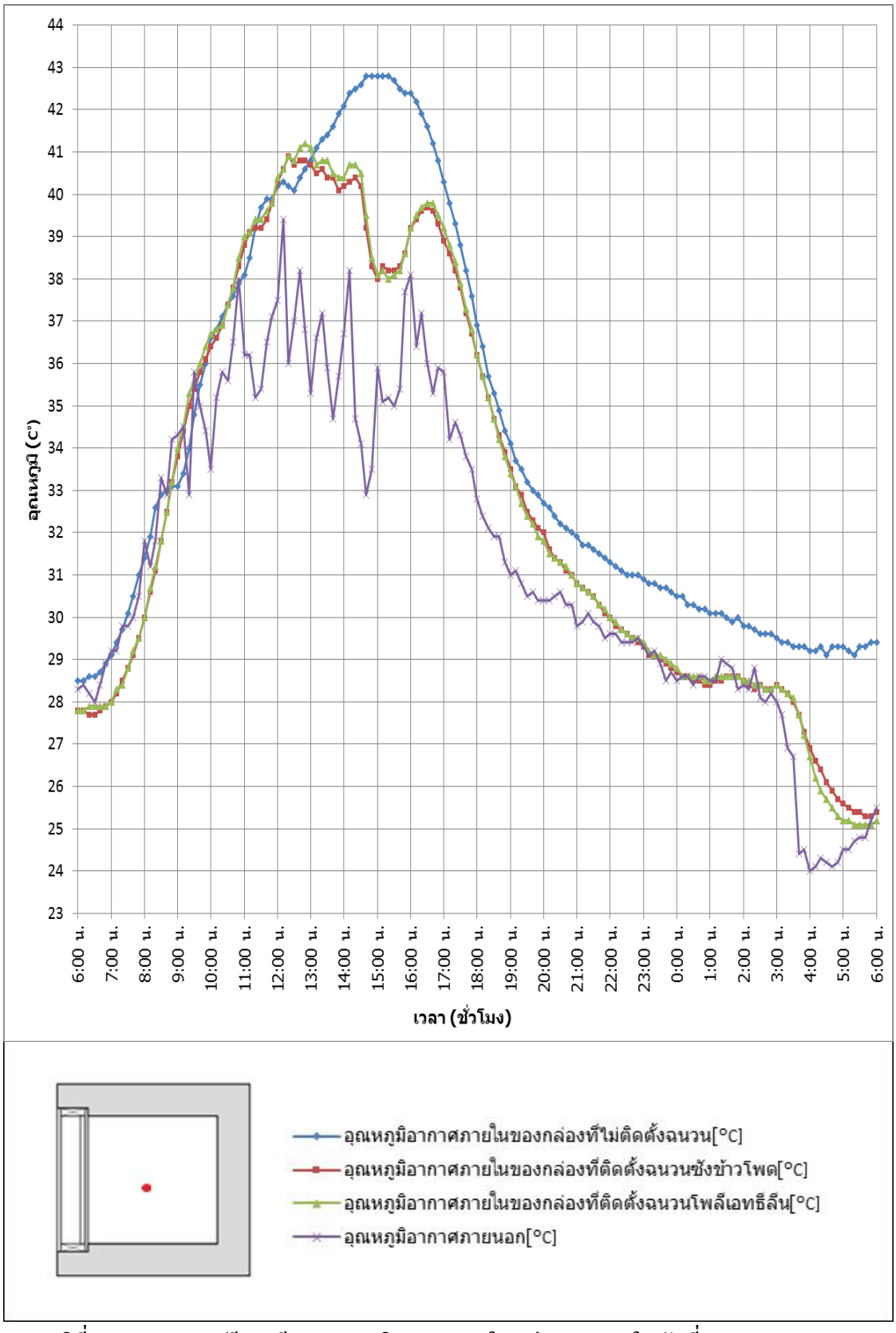
ช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.59 น.) อุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ยทั้ง3วันของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดอยู่ที่35.95°C โดยอุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่ที่36.04°C และอุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ที่35.93°C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายในกล่องทั้ง3แบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ยสูงกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.02°C และต่ำกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.09°C ทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก2.08°C กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก2.06°C และกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก2.17°C

ช่วงเวลากลางคืน (19.00-5.59 น.) อุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ยทั้ง3วันของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดอยู่ที่29.61°C โดยอุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่ที่29.27°C และอุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ที่29.44°C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวผนังภายในกล่องทั้ง3แบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ยสูงว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.17°C และสูงกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.34°C โดยทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิผิวผนังภายในเฉลี่ยใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกมาก โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก0.50°C กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก0.33°C และกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก0.16°C

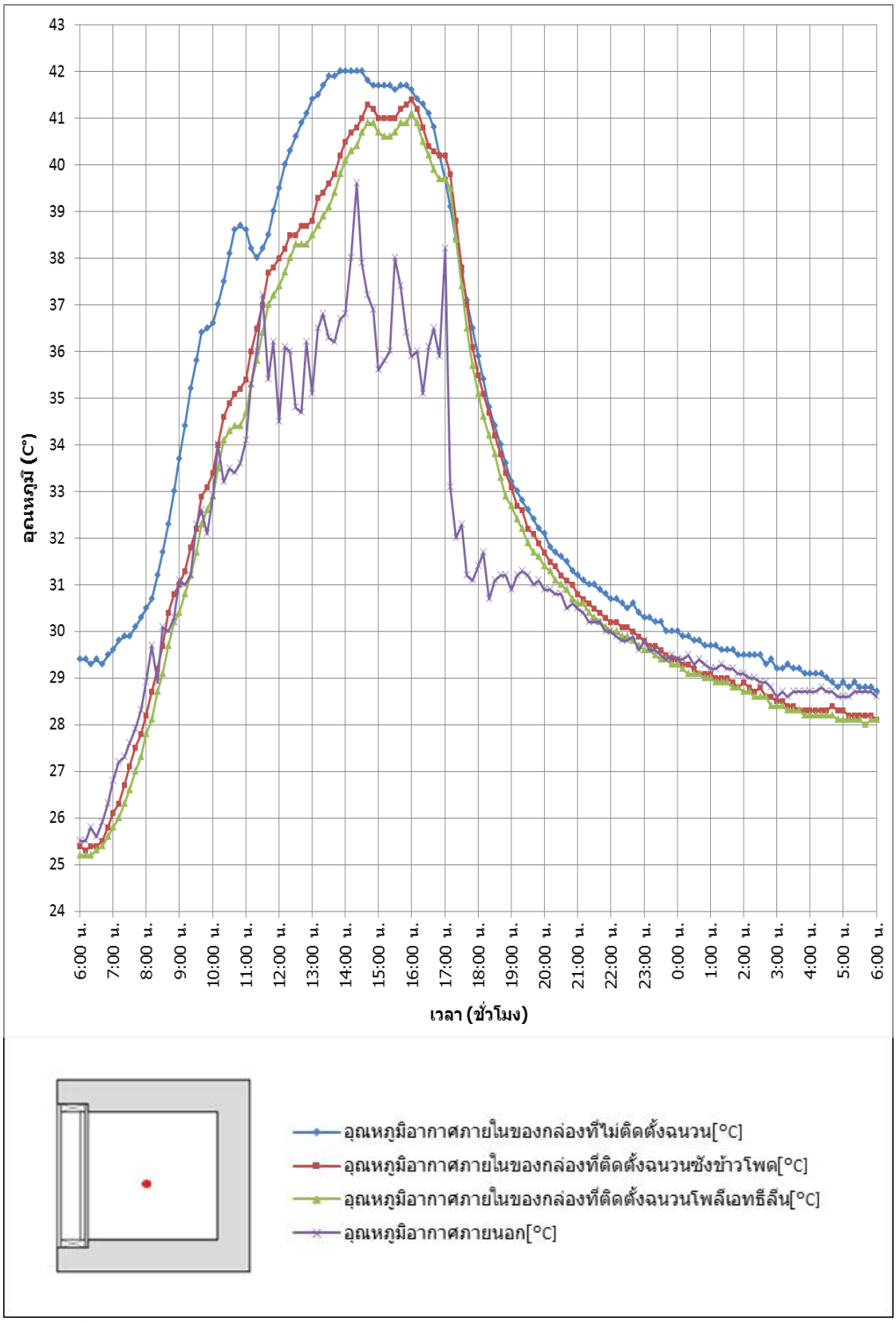
จากแผนภูมิที่8-11 แสดงให้เห็นว่ากล่องทดลองทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดอยู่ ในช่วงเวลา12.00-15.00น. โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่41.37°C ต่ำกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.23°C และต่ำกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.26°C แต่สูงกว่าอากาศภายนอกอยู่1.67°C กล่องทดลองทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิผิวผนังภายในต่ำสุดในช่วงเวลา5.00-6.00น.โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิผิวผนังภายในต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่26.37°C ซึ่งสูงกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่0.14°C สูงกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.10°C และสูงกว่าอากาศภายนอกอยู่0.34°C



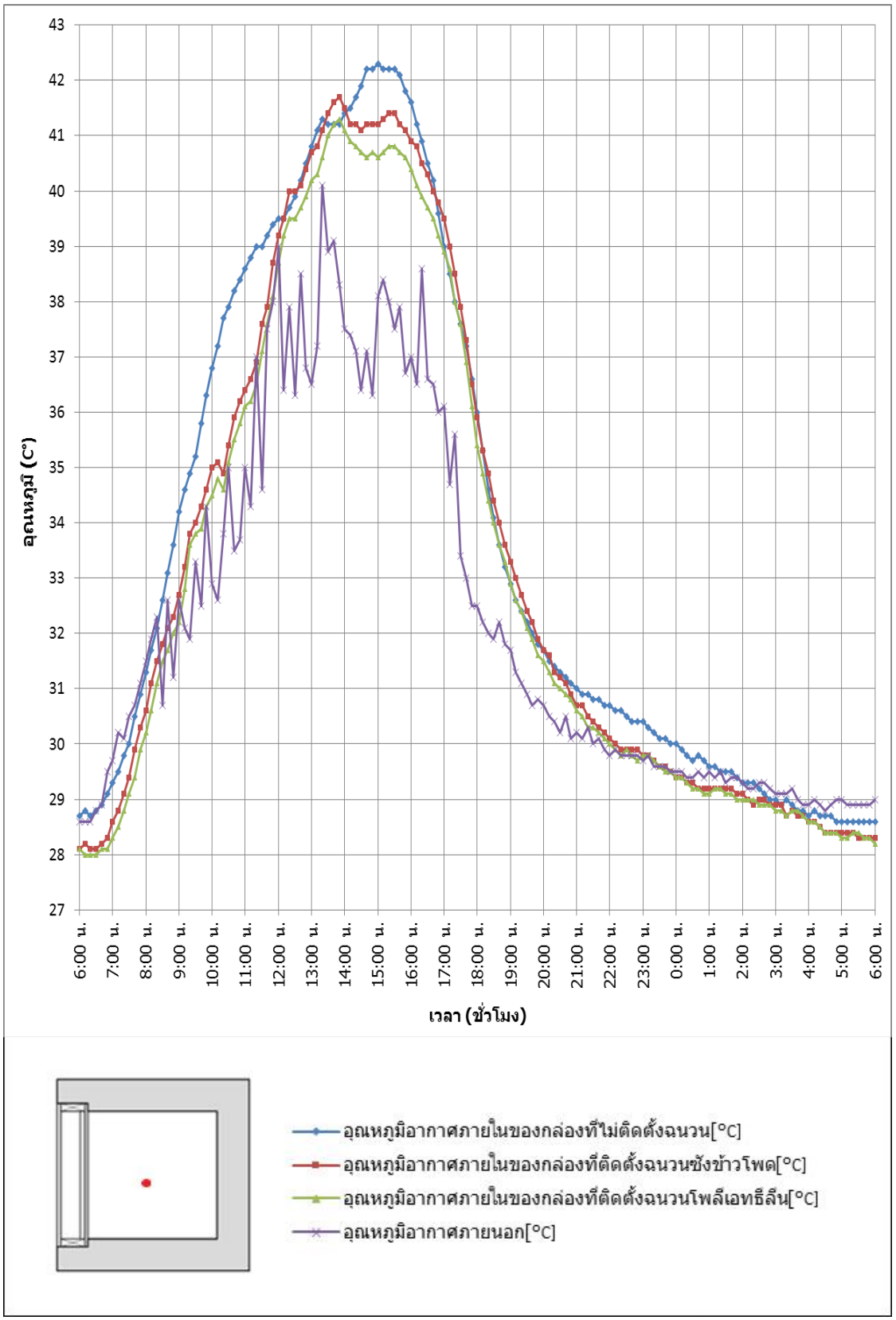
แผนภูมิที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองระหว่างวันที่ 14-16 เมษายน 2557



แผนภูมิที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในวันที่14 เมษายน 2557



แผนภูมิที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในวันที่15 เมษายน 2557



แผนภูมิที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในวันที่16 เมษายน 2557

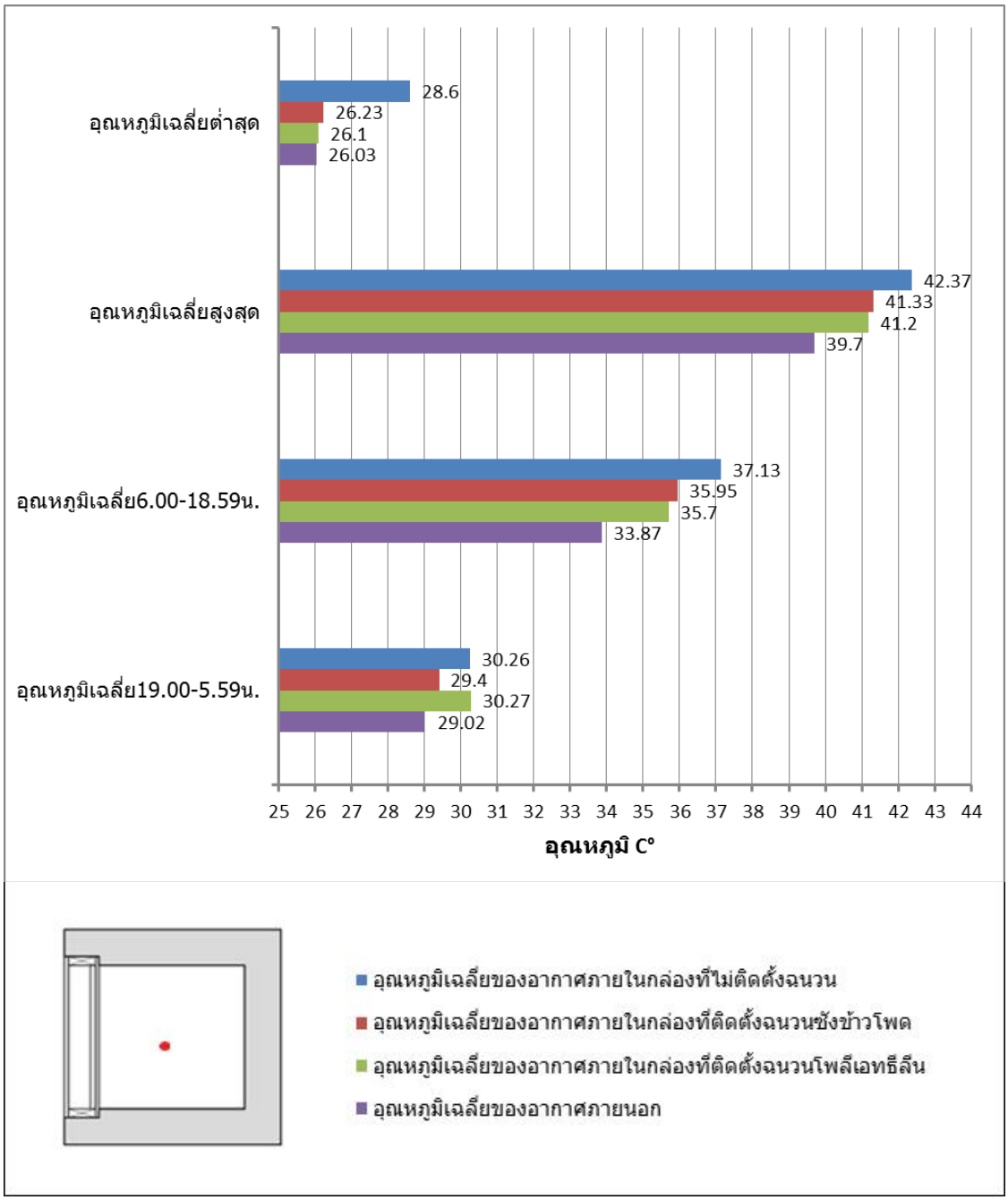
ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

	อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวัน (6.00 - 18.59 น.)				อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืน (19.00 - 5.59 น.)			
กล่องทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน
กล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน	37.32	37.07	37.00	37.13	30.63	30.16	29.98	30.26
กล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด	36.24	35.28	36.34	35.95	28.90	29.60	29.71	29.40
กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน	36.35	34.83	35.93	35.70	28.85	32.34	29.62	30.27
อุณหภูมิอากาศภายนอก	34.16	33.06	34.39	33.87	28.16	29.54	29.63	29.02

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของอากาศภายในกล่องทดลอง

	อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด (C°)				อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด (C°)			
กล่องทดลอง	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน	วันที่ 14	วันที่ 15	วันที่ 16	เฉลี่ย 3 วัน
กล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน	42.80	42.00	42.3	42.37	28.50	28.70	28.60	28.60
กล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด	40.90	41.40	41.70	41.33	25.30	25.30	28.10	26.23
กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน	41.20	41.10	41.30	41.2	25.10	25.20	28.00	26.10
อุณหภูมิอากาศภายนอก	39.40	39.60	40.10	39.70	24.00	25.50	28.60	26.03

มหาวิทยาลัยศิลปากร



แผนภูมิที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในกล่องทดลองระหว่างวันที่14-16 เมษายน 2557

ช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.59 น.) อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยทั้ง3วันของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดอยู่ที่35.95°C โดยอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่ที่37.13°C และอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ที่35.70°C จะเห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดและฉนวนโพลีเอทธีลีนมีค่าใกล้เคียงกันและต่ำกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน ซึ่งกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันสูงกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.25°C และต่ำกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่1.18°C ทั้ง3กล่องทดลองมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดสูงกว่าอากาศภายนอก2.08°C กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก1.83°C และกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก3.26°C

ช่วงเวลากลางคืน (19.00-5.59 น.) อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยทั้ง3วันของกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดอยู่ที่29.40°C โดยอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่ที่30.26°C และอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ที่30.27°C ซึ่งกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันต่ำว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.87°C และต่ำกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่0.86°C ทั้ง3กล่องทดลองมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย3วันของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดสูงกว่าอากาศภายนอก0.38°C กล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก1.25°C และกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก1.25°C

จากแผนภูมิที่13-16 แสดงให้เห็นว่ากล่องทดลองทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดอยู่ ในช่วงเวลา12.00-16.00น. โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่43.33°C สูงกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่ 0.13°C แต่ต่ำกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่1.04°C และสูงกว่าสูงกว่าอากาศภายนอกอยู่1.67°C กล่องทดลองทั้ง3กล่องมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดในช่วงเวลา5.00-6.00น. โดยกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่26.23°C ซึ่งสูงกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนอยู่0.13°C แต่ต่ำกว่ากล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวนอยู่2.37°C และสูงกว่าอากาศภายนอกอยู่0.20°C

ผลการประเมินต้นทุน

การคำนวณหาราคาต้นทุนในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดคิดจากน้ำหนักวัสดุที่นำมาผลิตเป็นแผ่นฉนวนสัดส่วนน้ำยาง2:น้ำ1 ความหนาแน่น 300 Kg/m³ ขนาด

40 x 40 x 1.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น โดยส่วนผสมในการผลิตแผ่นฉนวนได้แก่ ซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติสูตรLatex 60% ซื้อจากสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

ราคาส่วนผสม

1. ซังข้าวโพดก่อนบด น้ำหนักแห้ง 1กิโลกรัม ราคา 2 บาท
2. น้ำยางธรรมชาติ (Latex 60%) 1กิโลกรัม ราคา 105 บาท

ตารางที่ 26 แสดงราคาต้นทุน

ส่วนผสมแผ่นฉนวน 1 แผ่น	น้ำหนัก	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
ซังข้าวโพด	0.720	กิโลกรัม	2	1.44
น้ำยางธรรมชาติ (Latex 60%)	0.164	กิโลกรัม	105	17.22
ราคารวมทั้งหมด				**18.66**

ราคาต้นทุนในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากซังข้าวโพดสัดส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำ2:1 ความหนาแน่น 300 Kg/m³ ขนาด 40x40x1.5 เซนติเมตร เท่ากับ 18.66 บาท โดยราคานี้คิดจากวัตถุดิบราคาส่งไม่รวมค่าแรงงาน,ค่าเครื่องมือ,ค่าสาธารณูปโภคและค่ากำไร (หมายเหตุ: เนื่องจากไม่สามารถกำหนดปริมาณน้ำยางที่ต้องใช้ในการขึ้นรูปตั้งแต่แรกได้ จึงใช้วิธีคำนวณปริมาณน้ำยางที่ใช้ไปด้วยการชั่งน้ำหนักน้ำยางช่วงก่อนและหลังนำซังข้าวโพดมาจุ่มเพื่อดูปริมาณน้ำยางที่ถูกใช้ไป)

ตารางที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดกับวัสดุฉนวนในท้องตลาดโดยคิดที่ขนาด 40x40 เซนติเมตร

วัสดุฉนวน	ความหนา (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น kg/m³	การนำความร้อน (w/m-k)	ราคาต่อแผ่น (บาท) 40x40 เซนติเมตร
ฉนวนซังข้าวโพด	1.5	300	0.066	18.66
ฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีน	1	35	0.029	36.67
ฉนวนเยื่อกระดาษ	5	16	-	32

จากการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนของการผลิตแผ่นฉนวนจากซังข้าวโพดสัดส่วนน้ำยางต่อน้ำ2:1 ความหนาแน่น 300 Kg/m³ ขนาด 40 x 40 x 1.5 เซนติเมตร โดยคิดเฉพาะต้นทุนค่าวัตถุดิบคือซังข้าวโพดและน้ำยางไม่รวมค่าอุปกรณ์แรงงานและกำไรเปรียบเทียบกับวัสดุฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีนและฉนวนเยื่อกระดาษที่มีขายตามท้องตลาด (คิดที่ขนาด 40 x 40 เซนติเมตร)

ซึ่งแผ่นฉนวนซังข้าวโพดใช้วัตถุดิบซังข้าวโพด0.48กิโลกรัมและน้ำยาง(สูตรLatex 60%) 0.109 กิโลกรัม (เนื่องจากน้ำที่ใช้ผสมเพื่อเจือจางน้ำยางมีปริมาณน้อยจึงไม่คิดราคาในส่วนนี้) มีราคาต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 18.66 บาท (ตารางที่26-27) ซึ่งถูกกว่าราคาจำหน่ายของฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีนอยู่ 18.01บาทหรือคิดเป็น49.11% และถูกกว่าราคาจำหน่ายของฉนวนเยื่อกระดาษอยู่ 13.34บาทหรือคิดเป็น41.69% แสดงให้เห็นว่าฉนวนซังข้าวโพดมีแนวโน้มในการผลิตที่ให้ราคาต่ำกว่าหรือใกล้เคียงฉนวนที่มีขายในท้องตลาดได้ แต่ทั้งนี้ฉนวนซังข้าวโพดมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดการผลิตที่ไม่ควรเกิน40 x 40 เซนติเมตรเนื่องจากน้ำหนักและการยึดเหนี่ยวเป็นแผ่นอาจไม่แข็งแรง แต่เป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีกรรมวิธีไม่ยุ่งยากเหมาะสำหรับพัฒนาไว้ใช้ในท้องถิ่น

การอภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าแผ่นฉนวนที่ผลิตได้มีความหนาแน่นคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดไว้และค่าที่ได้จากการทดสอบมีความเบี่ยงเบน เพราะการคำนวณหาปริมาณซังข้าวโพดที่ต้องใช้นั้นไม่ได้คำนวณเผื่อปริมาณของน้ำยางที่จะเพิ่มเข้ามาด้วย รวมถึงความไม่ชำนาญในการผลิตของผู้วิจัยและข้อจำกัดของอุปกรณ์ โดยในการทดลองได้ทำการผลิตชิ้นทดสอบของแต่ละหัวข้อจำนวน 3 ตัวอย่าง แล้วจึงนำผลทดสอบมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งควรเพิ่มการผลิตชิ้นทดสอบให้มากขึ้น เช่นเพิ่มเป็น 5 ตัวอย่างและเลือกผลการทดสอบจาก 3 ตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดมาเฉลี่ยกัน สำหรับค่าความหนาแน่นที่กำหนดในช่วง 200 kg/m³ นั้น ทุกแผ่นที่ผลิตได้มีค่าความหนาแน่นเกินกำหนดแต่ยังไม่ถึง300 kg/m³ (ดูแผนภูมิที่2) ยกเว้นแผ่นที่ใช้น้ำยางไม่ผสมน้ำมีค่าความหนาแน่น 342.36 kg/m³ สำหรับค่าความหนาแน่นที่กำหนดในช่วง 300 kg/m³ นั้นแผ่นฉนวนที่ผลิตได้มี 2 สัดส่วนที่ความหนาแน่นไม่ถึง 300 kg/m³ คือสัดส่วนน้ำยาง1: น้ำ1 และสัดส่วนน้ำยาง1: น้ำ2 สำหรับอีก 2 สัดส่วนมีค่าความหนาแน่นเกิน 300 kg/m³ คือน้ำยางไม่ผสมน้ำและสัดส่วนน้ำยาง2: น้ำ1(ดูแผนภูมิที่2) แต่ทั้ง 2 ความหนาแน่นที่กำหนดนั้นมีค่าความหนาแน่นจริงที่ผลิตได้และความสามารถในการจับยึดกันเป็นแผ่นไปในทิศทางเดียวกันคือเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้
(1) น้ำยางไม่ผสมน้ำ > (2) น้ำยาง2: น้ำ1 > (3) น้ำยาง1: น้ำ1 > (4) น้ำยาง1: น้ำ2

สำหรับลักษณะของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดที่ผลิตได้โดยรวมจะมีเนื้อยางรวมกันที่ด้านล่างของแผ่นซึ่งเป็นผลจากน้ำยางที่ไหลมารวมกันระหว่างอบความร้อน และในระหว่างการอบคือ 45 นาทีจะมีการผลิกกลับด้านแผ่นฉนวนเพื่อให้ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงและเพื่อให้น้ำยางกระจายตัวแต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาเนื้อยางกองรวมกันที่ด้านล่างของแผ่นได้ สำหรับขนาดและความหนาโดยรวมของแผ่นฉนวนถูกควบคุมด้วยขนาดของแม่พิมพ์ และขนาดก่อนอบความร้อน

กับหลังอบนั้นแทบไม่แตกต่างกัน แต่ความหนาอาจจะไม่สม่ำเสมอกันทั้งแผ่นซึ่งเป็นผลจากความไม่ชำนาญในการผลิตของผู้วิจัยและลักษณะชิ้นซังข้าวโพดบดที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ

สำหรับค่าปริมาณความชื้น, ค่าการดูดซึมน้ำ(ตามมาตรฐาน JIS A 5905 หมวด Insulation board ไม่ต้องทดสอบค่าการดูดซึมน้ำแต่ในการทดลองนี้ทำการทดสอบเพื่อเป็นตัวช่วยในการเลือกแผ่นฉนวนที่มีคุณสมบัติดีที่สุด) และค่าพองตัวเมื่อแช่น้ำนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันโดยเรียงจากคุณสมบัติดีที่สุดไปยังน้อยที่สุดดังนี้ (ดูแผนภูมิที่3-5)
(1) น้ำยางไม่ผสมน้ำ > (2) น้ำยาง2: น้ำ1 > (3) น้ำยาง1: น้ำ1 > (4) น้ำยาง1: น้ำ2

สำหรับการทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าวและค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้านั้นได้ส่งทดสอบที่หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 ซึ่งในการทดสอบทั้ง 2 ค่านี้ใช้กระบวนการทดสอบแบบเดียวกับมาตรฐาน JIS A 5905 (ตามมาตรฐาน JIS A 5905 หมวด Insulation board ไม่ต้องทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าแต่ในการทดลองนี้ทำการทดสอบเพื่อเป็นตัวช่วยในการเลือกแผ่นฉนวนที่มีคุณสมบัติดีที่สุด) โดยแผ่นฉนวนซังข้าวโพดที่มีความยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นแข็งแรงพอส่งทดสอบได้ มีเฉพาะแผ่นฉนวนที่กำหนดค่าความหนาแน่น300 kg/m^3 ได้แก่ แผ่นน้ำยางไม่ผสมน้ำ, น้ำยาง2: น้ำ1 และน้ำยาง1: น้ำ1 (ดูตารางที่18)

สำหรับการเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลองในช่วงวันที่14-16 เมษายน 2557นั้นมีความคลาดเคลื่อนจากหลายปัจจัย เช่น ฝนที่ตกในวันที่14 เมษายน 2557 และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล รวมไปถึงตำแหน่งและวิธีในการติดตั้ง Thermocouple ที่อาจไม่เหมาะสม เช่นตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองที่ไม่ได้อยู่กลางกล่อง และการปิดปลายThermocoupleด้วยโฟม ซึ่งทั้งหมดนี่ส่งผลให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนได้ทั้งสิ้น

สำหรับต้นทุนการผลิตของงานวิจัยนี้คิดเฉพาะราคาซังข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติไม่รวมค่าแรงงาน, ค่าเครื่องมือ, ค่าสาธารณูปโภคและกำไรรวมไปถึงค่าการตลาด โดยฉนวนซังข้าวโพดถูกกว่าราคาจำหน่ายของฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีนอยู่ 49.11% และถูกกว่าราคาจำหน่ายของฉนวนเยื่อกระดาษอยู่ 41.69% แต่หากต้องการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ต้องคำนึงถึงต้นทุนที่กล่าวไว้ข้างต้นด้วยด้วย

ทั้งนี้การนำแผ่นฉนวนซังข้าวโพดไปประยุกต์ใช้นั้นต้องปรับปรุงในเรื่องของน้ำหนักและการป้องกันการเสื่อมสภาพจากเชื้อรา, ความชื้นและแมลงกัดกิน รวมไปถึงการป้องกันการลามไฟ แต่อาจมีความเป็นไปในการพัฒนาแผ่นฉนวนซังข้าวโพดให้เป็นแผ่นAcoustic เพื่อป้องกันเสียง

การอภิปรายผลเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าซังข้าวโพดนั้นไม่ต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงเส้นใยด้วยการกวนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แบบฉนวนเส้นใยอื่นๆ สำหรับการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสานแทนกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์และกาวไอโซไซยาเนตที่ส่งผลต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อมนั้นถือว่าเป็นตัวเลือกที่ดีแต่น้ำยางนั้นมีข้อเสียคือมีน้ำหนักมากและราคาค่อนข้างแพง

สำหรับค่าการนำความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละงานวิจัยแล้วพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน(ดูตารางที่28) และส่วนมากฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากวัสดุตามธรรมชาติมักพบปัญหาแบบเดียวกันคือ มีน้ำหนักมาก มีปัญหาจากการเสื่อมสภาพจากเชื้อรา, ความชื้นและแมลงกัดกิน รวมไปถึงการดูดซึมน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ แต่ฉนวนจากซังข้าวโพดที่ใช้น้ำยางเป็นตัวประสานนั้นมีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำผ่านตามมาตรฐาน JIS A 5905 อาจเนื่องมาจากน้ำยางที่เคลือบซังข้าวโพดอยู่

ตารางที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดกับฉนวนในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุฉนวน	**ตัวประสาน**	**วิธีขึ้นรูป**	**ความหนา** (mm)	**ความหนาแน่น** (kg/m^3)	**ค่าการนำความร้อน** (W/mK)
ซังข้าวโพด สัดส่วนน้ำยาง 2 : น้ำ 1	น้ำยางธรรมชาติ	อบความร้อน	15	310.36	0.066
หญ้าแฝก	น้ำยางธรรมชาติ	อบความร้อน	15	183	0.056
ใยมะพร้าว	น้ำยางธรรมชาติ	อบความร้อน	12	153.62	0.064
ชานอ้อย	น้ำยางธรรมชาติ	อบความร้อน	15	286.98	0.086
ชานอ้อย	ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	อัดความร้อน	9	458	0.072
ฟางข้าว	ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	อัดความร้อน	9	481.55	0.073
ต้นมันสำปะหลัง	ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	อัดความร้อน	10	201.83	0.059

ตารางที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดกับฉนวนในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

วัสดุฉนวน	**ตัวประสาน**	**วิธีขึ้นรูป**	**ความหนา** (mm)	**ความหนาแน่น** (kg/m^3)	**ค่าการนำความร้อน** (W/mK)
เยื่อสาดขาว	ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	อัดความร้อน	15	630.67	0.041
หญ้าสลาบหลวง หรือ ธูปฤาษี แบบไม่ป่นย่อย	ไอโซไซยาเนต	อัดความร้อน	9	257.46	0.048

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาขั้นตอนและวิธีการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนของอาคารจากซังข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสาน แล้วจึงทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อนตามมาตรฐานJIS A 5905 รวมไปถึงการทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลองและคำนวณต้นทุนการผลิต โดยสรุปผลวิจัยได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. การขึ้นรูปแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

การขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากซังข้าวโพดสามารถทำได้ด้วยการนำซังข้าวโพดแห้งที่ผ่านการบดย่อยให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง0.50-0.85เซนติเมตรมาจุ่มคลุกเคล้ากับน้ำยางก่อนนำไปใส่ในแม่พิมพ์แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ100°C เป็นเวลา1ชั่วโมง30นาทีเพื่อให้น้ำยางคงรูปจนซังข้าวโพดสามารถยึดติดกันเป็นแผ่นได้ เนื่องจากมาตรฐานJIS A5905 Fibreboards ระบุในส่วนของ Insulation Board ให้มีความหนาแน่นไม่เกิน350 kg/m^3 การวิจัยนี้จึงกำหนดความหนาแน่นแผ่นฉนวนเป็น 2 แบบคือ 200 kg/m^3 และ 300 kg/m^3 โดยคำนวณจากปริมาตรของแม่พิมพ์ หลังจากขั้นตอนทดลองขึ้นรูปแผ่นฉนวนพบว่าน้ำยางมีผลให้น้ำหนักรวมแผ่นฉนวนเพิ่มมากขึ้นจึงทำการเพิ่มการทดสอบเจือจางน้ำยางด้วยน้ำ โดยแบ่งสัดส่วนน้ำยางต่อน้ำเป็น 4 สัดส่วนโดยน้ำหนัก ได้แก่ 1)น้ำยางไม่ผสมน้ำ 2)น้ำยาง1:น้ำ1 3)น้ำยาง2:น้ำ1 4)น้ำยาง1:น้ำ2 จากการทดสอบสภาพการยึดเหนี่ยวเป็นแผ่นรวมไปถึงค่าน้ำหนักพบว่าแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยสัดส่วนน้ำยาง2:น้ำ1 ในช่วงความหนาแน่น300 kg/m^3 นั้นมีคุณภาพดีและมีข้อได้เปรียบสัดส่วนอื่นๆเพราะน้ำหนักน้อยกว่าแบบไม่ผสมน้ำและมีสภาพยึดเกาะเป็นแผ่นได้ดี รวมไปถึงค่าคุณสมบัติเบื้องต้นที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานJIS A 5905

2. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

2.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

2.1.1 ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น พบว่าน้ำยางเป็นตัวแปรสำคัญในการทำให้น้ำหนักของแผ่นฉนวนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนเพิ่มมากขึ้นและคุณสมบัติของความเป็นฉนวนลดลงรวมไปถึงการเป็นปัญหาต่อการติดตั้งโดยแผ่น

ฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยน้ำยางไม่ผสมน้ำมีค่าความหนาแน่นเกินเกณฑ์มาตรฐานJIS A5905ที่กำหนดสำหรับแผ่นฉนวนที่ใช้น้ำยางต่อน้ำในสัดส่วนอื่นๆนั้นมีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน JIS A5905

2.1.2 ผลการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น พบว่าแผ่นฉนวนที่มีน้ำยางมากและความหนาแน่นมากจะมีปริมาณความชื้นลดลง โดยแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยน้ำยางไม่ผสมน้ำจะมีค่าความชื้นน้อยที่สุดคือ แผ่นความหนาแน่น200 kg/m^3 มีค่าปริมาณความชื้น4.62% และ แผ่นความหนาแน่น 300 kg/m^3มีค่าปริมาณความชื้น4.60% โดยมาตรฐานJIS A5905ระบุให้ช่วงความชื้นของฉนวนอยู่ระหว่าง3-15% แต่เนื่องจากแผ่นที่ใช้น้ำยางไม่ผสมน้ำนั้นมีน้ำหนักมากเกินไป จึงพิจารณาแผ่นฉนวนสัดส่วนอื่นๆเพื่อหาแผ่นฉนวนที่มีคุณสมบัติดีที่สุดในข้ออื่นๆต่อไป

2.1.3 ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ สำหรับฉนวนหรือInsulation Board ตามมาตรฐานJIS A5905นั้นไม่ต้องทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ แต่การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในส่วนนี้เพื่อเป็นตัวช่วยในการพิจารณาหาแผ่นฉนวนที่มีคุณสมบัติดีที่สุด ผลการทดสอบที่ได้มีแนวโน้มแบบเดียวกับการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นคือแผ่นที่มีสัดส่วนน้ำยางมากจะมีค่าการดูดซึมน้ำน้อย โดยแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปด้วยน้ำยางไม่ผสมน้ำจะมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดคือแผ่นความหนาแน่น200 kg/m^3 มีค่าการดูดซึมน้ำ59.82% และแผ่นความหนาแน่น 300 kg/m^3มีค่าการดูดซึมน้ำ69.42% แต่ก็มีค่าน้ำหนักมากที่สุด สำหรับน้ำยาง1ส่วน:น้ำ1ส่วน และ น้ำยาง2ส่วน:น้ำ1ส่วนนั้นมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกันแต่น้ำยาง2:น้ำ1 จะมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าคือแผ่นความหนาแน่น200 kg/m^3 มีค่าการดูดซึมน้ำ92.51% และความหนาแน่น300 kg/m^3 มีค่าการดูดซึมน้ำ95.26% สำหรับสัดส่วนน้ำยาง1ส่วน:น้ำ2ส่วนนั้นมีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด

2.1.4 ผลการทดสอบหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ตามมาตรฐานJIS A5905ระบุให้มีค่าไม่เกิน10% โดยการพองตัวเมื่อแช่น้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำยางมากขึ้นแต่ยังไม่สามารถระบุในส่วนนี้ได้อย่างชัดเจนเนื่องจากฉนวนบางแผ่นที่มีส่วนผสมของน้ำยางมากกว่าแต่มีค่าการพองตัวมากกว่าแบบที่มีน้ำยางน้อยกว่า เช่น แผ่นฉนวนความหนาแน่น300 kg/m^3สัดส่วนน้ำยาง1:น้ำ1 มีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากกว่าสัดส่วนน้ำยาง1:น้ำ2 ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่น้ำยางไม่ได้เคลือบซังข้าวโพดอย่างทั่วถึง แต่ทุกแผ่นมีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานJIS A5905

2.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

2.2.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของฉนวนบางแผ่น เช่น แผ่นที่กำหนดความหนาแน่น200 kg/m^3 และ 300 kg/m^3 สัดส่วนน้ำยาง1:น้ำ1 และน้ำยาง1:น้ำ2 มีการยึดเหนี่ยวของแผ่นไม่แข็งแรงเพียงพอ แตกและแยกหลุดจากกันได้ง่าย แผ่นฉนวนที่นำไปทดสอบค่าต้านทานแรงดัดได้มีเฉพาะแผ่นความหนาแน่น300 kg/m^3 ซึ่งเป็นแผ่นน้ำยางไม่ผสมน้ำและแผ่นน้ำยาง2:น้ำ1 โดยแผ่นฉนวนน้ำยางไม่ผสมน้ำได้ค่า 0.037 MPa แผ่นฉนวนน้ำยาง2:น้ำ1 ได้ค่า 0.019 MPa ตามตารางที่ในบทที่4 (1MPa = 1N/mm^3)

2.2.2 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า(Internal bonding strength)ตามมาตรฐานJIS A5905 ฉนวนหรือInsulation Boardไม่ต้องทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าแต่การทดลองนี้ได้ทำการทดสอบค่านี้เพื่อเป็นตัวช่วยในการหาแผ่นฉนวนที่มีคุณสมบัติดีที่สุด โดยแผ่นที่มีปริมาณสัดส่วนน้ำยางมากกว่าจะมีค่าต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามากกว่า ฉนวนน้ำยางไม่ผสมน้ำได้ค่า0.031MPa ฉนวนน้ำยาง1:น้ำ1 ได้ได้ค่า 0.021MPa ฉนวนน้ำยาง2:น้ำ1 ได้ค่า0.024 MPa ฉนวนน้ำยาง1:น้ำ2 ได้ค่า0.016 MPa
(1MPa = 1N/mm^3)

2.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

2.3.1 ผลการทดสอบการหาค่าต้านทานความร้อน จากการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งคัดแผ่นฉนวนส่งทดสอบโดยพิจารณาจากค่าคุณสมบัติทางเชิงกลและเชิงกายภาพจากข้อก่อนหน้านี้ แผ่นฉนวนที่ส่งทดสอบอยู่ในช่วงความหนาแน่น300 kg/m^3 จำนวน3แผ่น ได้แก่ 1)ฉนวนน้ำยางไม่ผสมน้ำ 2)ฉนวนสัดส่วนน้ำยาง1ส่วน:น้ำ1ส่วน 3)ฉนวนสัดส่วนน้ำยาง2:น้ำ1 ค่าต้านทานความร้อนที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.293 m^2 K/W, 0.328 m^2 K/W และ 0.347 m^2 K/W ตามลำดับ โดยแผ่นฉนวนน้ำยาง2:น้ำ1มีค่าต้านทานความร้อนดีที่สุด

2.3.2 ผลการทดสอบการหาค่าการนำความร้อน มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง3แผ่นโดยแผ่นที่มีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุดคือฉนวนสัดส่วนน้ำยาง2ส่วน:น้ำ1ส่วน มีค่าการนำความร้อน 0.66 W/m-K

2.3.3 ผลการทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลองของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น300 kg/m^3 ขนาด 40x40 เซนติเมตร หนา1.5เซนติเมตร สัดส่วนน้ำยาง2:น้ำ1 (ค่าต้านทานความร้อน=0.347 m^2 K/W) ป้องกันความร้อนได้ด้อยกว่าฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีน ความหนาแน่น35 kg/m^3 หนา1เซนติเมตร(ค่าต้านทานความร้อน=0.44 m^2 K/W)

เล็กน้อย แต่โดยรวมถือว่าใกล้เคียงกันมาก และอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพดดีกว่ากล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนเล็กน้อยในช่วงเวลากลางคืน

ตารางที่ 29 แสดงสรุปคุณสมบัติของฉนวนซังข้าวโพดเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม

คุณสมบัติของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด สัดส่วนน้ำยาง 2 : น้ำ 1 ความหนาแน่น 300 kg/m³		**มาตรฐาน JIS A 5905**	**ค่าที่ได้**	**หน่วย**	**การผ่าน/ไม่ผ่านเกณฑ์**
เชิงกายภาพ	ความหนาแน่น	ไม่เกิน 350	222.02	kg/m³	ผ่าน
	ปริมาณความชื้น	ตั้งแต่5 ถึง13	5.93	%	ผ่าน
	การดูดซึมน้ำ	-	95.26	%	-
	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ	ไม่เกิน 10	5.97	%	ผ่าน
เชิงกล	มอดุลัสแตกร้าว	ไม่ต่ำกว่า 2	0.019	N/mm³	ไม่ผ่าน
	ความต้านทานแรงดึงตั้งฉาก	-	0.024	N/mm³	-
เชิงความร้อน	ต้านทานความร้อน	ไม่ต่ำกว่า 0.267	0.347	m² K/W	ผ่าน

หมายเหตุ ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสำหรับ Insulation Board ตามมาตรฐาน JIS A5905 Fibreboards ไม่ต้องทดสอบ

3. เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต

จากการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนของการผลิตแผ่นฉนวนจากซังข้าวโพดสัดส่วนน้ำยาง2:น้ำ1 ความหนาแน่น 300 Kg/m³ ขนาด 40x40x1.5 เซนติเมตร โดยคิดเฉพาะต้นทุนค่าวัตถุดิบคือซังข้าวโพดและน้ำยางไม่รวมค่าอุปกรณ์แรงงานและกำไรเปรียบเทียบกับวัสดุฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีนและฉนวนเยื่อกระดาษที่มีขายตามท้องตลาด (คิดที่ขนาด 40x40 เซนติเมตร)

ซึ่งแผ่นฉนวนซังข้าวโพดใช้วัตถุดิบซังข้าวโพด0.72กิโลกรัมและน้ำยาง(สูตรLatex 60%) 0.164 กิโลกรัม (เนื่องจากน้ำที่ใช้ผสมเพื่อเจือจางน้ำยางมีปริมาณน้อยจึงไม่คิดราคาในส่วนนี้) มีราคาต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 18.66 บาท ซึ่งถูกกว่าราคาจำหน่ายของฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีนอยู่ 18.01บาท และถูกกว่าราคาจำหน่ายของฉนวนเยื่อกระดาษอยู่ 13.34บาท แสดงให้เห็นว่าฉนวนซังข้าวโพดมีแนวโน้มในการผลิตที่ให้ราคาต่ำกว่าหรือใกล้เคียงฉนวนที่มีขายในท้องตลาดได้ แต่ฉนวนซังข้าวโพดมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดการผลิตที่ไม่ควรเกิน40x40 เซนติเมตรเนื่องจากน้ำหนักและการยืดเหนี่ยวเป็นแผ่นอาจไม่แข็งแรง แต่เป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีกรรมวิธีไม่ยุ่งยากเหมาะสำหรับพัฒนาไว้ใช้ในท้องถิ่น

ตารางที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบราคาของแผ่นฉนวนซังข้าวโพดกับวัสดุฉนวนในท้องตลาด

วัสดุฉนวน	ราคาต่อแผ่น (บาท) 40x40 เซนติเมตร	ราคาถูกกว่าฉนวนในท้องตลาด แบบคิดเป็น%
ฉนวนซังข้าวโพด ยาง2:น้ำ1	18.66 (ไม่รวมค่าอุปกรณ์, แรงงานและกำไร)	-
ฉนวนโฟมโพลีเอทธีลีน	36.67 (คิดจากราคาขายปลีกของโฮมโปร)	49.11%
ฉนวนเยื่อกระดาษ	32 (คิดจากราคาในเอกสารของ Cellumax)	41.69%

ปัญหาที่พบในงานวิจัย

1. เนื่องจากผู้วิจัยขาดทักษะในการผลิตแผ่นฉนวน ทำให้ฉนวนที่ผลิตได้แต่ละแผ่นมีค่าความหนาแน่นคลาดเคลื่อนจากสูตรที่คำนวณไว้และความหนาของแผ่นที่ได้อาจจะไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้การทดสอบมีความเบี่ยงเบน

2. ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณซังข้าวโพดที่ต้องใช้นั้นไม่ได้คำนวณเผื่อปริมาณของน้ำยางด้วย ส่งผลให้ความหนาแน่นของฉนวนซังข้าวโพดที่ผลิตได้หลายแผ่นเกิดความคลาดเคลื่อนจากที่คำนวณไว้เนื่องจากปริมาณของเนื้อยางที่เพิ่มเข้ามาในแผ่น

3. ซังข้าวโพดบดที่ร่อนผ่านรูตะแกรงมาได้บางครั้งมีขนาดไม่เหมาะสมปะปนมาด้วย เช่น มีทรงหน้าแคบแต่ยาวจึงผ่านรูตะแกรงมาได้ ซึ่งมีผลให้การยึดเหนี่ยวของแผ่นฉนวนมีปัญหาจึงต้องเสียเวลาในการคัดแยกด้วยมืออีกครั้ง

4. การคว้านแยกส่วนแกนกลางออกมาก่อนนำซังข้าวโพดไปบดค่อนข้างเสียเวลาและแรงงานมาก

5. ไม่สามารถทำแผ่นฉนวนที่มีขนาดเกิน 40x40 เซนติเมตรได้ เนื่องจากจะมีปัญหาในการยึดเกาะเป็นแผ่นและน้ำหนักของตัวฉนวนที่ค่อนข้างมาก

6. ตำแหน่งของการติดตั้ง Thermocouple ในบางจุดไม่เหมาะสม เช่น ตำแหน่งการติดตั้งเพื่อวัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองต่ำเกินไป หรือการใช้โฟมไปปิดที่ปลายของ Thermocouple ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อน ควรใช้อลูมิเนียมฟอยล์แทนโฟม

7. พบปัญหาerror ของ Thermocouple ที่อาจส่งผลให้ข้อมูลที่บันทึกมีความคลาดเคลื่อน

8. ในวันแรกของการทดสอบทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อนด้วยกล่องทดลองคือวันที่ 14 เมษายน 2557 มีฝนตกลงมาทำให้มีอุปสรรคในการวัดผลการทดลอง

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ในเบื้องต้นได้ออกแบบการทดลองให้ใช้ซังข้าวโพดส่วนนอกอย่างเดียวเพราะต้องการจำกัดประเภทของวัตถุดิบ แต่หลังการวิจัยพบว่าปริมาณแกนกลางที่แยกออกมาจากซังข้าวโพดนั้นถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของซังข้าวโพดที่ใช้และไม่มีผลต่อการทดลองจึงสามารถข้ามขั้นตอนนี้ไปได้โดยไม่ต้องคว้านแยกส่วนแกนกลางออก

2. นอกจากการคำนวณปริมาณซังข้าวโพดแล้วต้องคำนวณปริมาณน้ำยางที่ต้องใช้ด้วย

3. ในการวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาเรื่องวิธีการป้องกันการเสื่อมสภาพจากเชื้อรา ความชื้นและแมลง รวมไปถึงการป้องกันการลามไฟ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้

4. อาจมีการปรับเปลี่ยนกรรมวิธีการผลิตเป็นแบบอื่นๆ เช่น การอัดด้วยความร้อน ฯลฯ

5. ต้องยอมรับว่าการขึ้นรูปแผ่นฉนวนซังข้าวโพดด้วยการจุ่มกับน้ำยางนั้นมีผลให้น้ำหนักของฉนวนเพิ่มขึ้นมากพอสมควร ดังนั้นหากสามารถหาวิธีปรับปรุงในส่วนนี้หรือหาสารยึดติดอื่นที่มีคุณสมบัติดีกว่าและคงเรื่องการไม่เป็นภาระต่อสิ่งแวดล้อมได้จะดียิ่งขึ้น

5. ในการผลิตตัวอย่างเพื่อทดสอบของแต่ละหัวข้อ ควรปรับเป็นผลิตอย่างน้อย 5 ตัวอย่างแล้วเลือกตัวอย่างที่มีความใกล้เคียงกัน 3 ตัวอย่างจากทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย และควรหาค่าความเบี่ยงเบน

6. อาจเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อผลการทดสอบที่แม่นยำ

7. ควรศึกษาเกี่ยวกับเรื่องอายุการใช้งานของแผ่นฉนวน

8. อาจนำมาพัฒนาเป็นแผ่น Acoustic เพื่อป้องกันเสียง

ประโยชน์ในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

1. การวิจัยนี้ทำให้มีการเรียนรู้และเข้าใจกระบวนการผลิตแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนจากซังข้าวโพดกับน้ำยางธรรมชาติและเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาประยุกต์ให้เกิดประโยชน์

2. ทำให้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียของการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนรวมไปถึงแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น

3. สามารถประยุกต์วิธีการและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถหาได้ในการผลิตแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนเพื่อใช้กันในท้องถิ่น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. **การใช้ฉนวน**. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.

กิตติศักดิ์ บัวศรี. “การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.

จิตติคม ตระกูลจุลเกียรติ. “นวัตกรรมการผลิตเซลลูโลสรูปทรงกลมที่มีรูพรุนจากซังข้าวโพด.” รายงานวิชาSelect Topic Mateail Engineering ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553.

จุฑารัตน์ พงษ์โนรี. “การสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดและการประยุกต์ใช้ในอาหาร.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2547.

ฉันท์ทิพ คำนวณทิพย์ และคณะ. “แผ่นฉนวนความร้อนจากใยมะพร้าวและน้ำยางธรรมชาติ.” เอกสารประชุมวิชาการทางวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปีพ.ศ. 2551, 20-22 ตุลาคม 2551.

ตระการ ก้าวกสิกรรม. **คู่มือฉนวนความร้อน.** กรุงเทพมหานคร: เอ็มแอนด์อี, 2537.

ทนง บุญมีมาพาสุข. “การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนหน่วงไฟจากเส้นใยผักตบชวาและน้ำยางธรรมชาติ.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ. “การพัฒนาฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2548.

ประชุม คำพุฒ และคณะ. “ฉนวนความร้อนจากชานอ้อยและน้ำยางธรรมชาติ.” เอกสารประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่7, 21-22 พฤษภาคม 2552.

วิจิตรา วงค์อุดดี, แวว คงศิลา และ องอาจ ทะเลดอน. **ข้าวโพด**. เข้าถึงเมื่อ 20พฤษภาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.agri.ubu.ac.th/~kanjana/1203321/raw_material.html

สุตินัย ยามศรีสุข. “การศึกษาประสิทธิผลในการใช้หญ้าสลาบหลวงเป็นฉนวนกันความร้อนเข้าสู่อาคาร.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชา

สถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554.

สมเจตน์ พัชรพันธ์และคณะ. **การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ.** เข้าถึงเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2555. เข้าถึงได้จาก http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4111064.pdf

ภาษาอังกฤษ

Japanese IStandards Association. **Japanese Industrial Standard JIS A 5905 : 2003 Fibreboards**. Tokyo: Japanese Standards Association, 2003.

Japanese Standards Association. **Japanese Industrial Standard JIS A 5908 : 2003 Particleboards**. Tokyo: Japanese Standards Association, 2003.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties tests)

ตารางที่ 31 ข้อมูลหาค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด

แผ่นฉนวนทดสอบ	น้ำหนัก (g)	ความกว้างเฉลี่ย (mm)	ความหนาเฉลี่ย (mm)	ปริมาตร (cm^3)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
ความหนาแน่น 300 kg/m^3					
[แผ่นที่1] น้ำยางอย่างเดียว	67.06	10.31	17.62	177.21	378.40
[แผ่นที่2] น้ำยางอย่างเดียว	64.15	10.10	16.30	167.91	382.03
[แผ่นที่3] น้ำยางอย่างเดียว	69.48	10.01	16.44	167.92	413.74
[แผ่นที่1] น้ำยาง 2 : น้ำ 1	51.18	9.70	16.97	162.50	314.94
[แผ่นที่2] น้ำยาง 2 : น้ำ 1	53.66	10.24	16.08	168.07	319.26
[แผ่นที่3] น้ำยาง 2 : น้ำ 1	53.30	10.23	16.57	179.54	296.86
[แผ่นที่1] น้ำยาง 1 : น้ำ 1	47.78	11.10	18.10	185.30	257.84
[แผ่นที่2] น้ำยาง 1 : น้ำ 1	47.87	11.50	18.18	240.09	199.38
[แผ่นที่3] น้ำยาง 1 : น้ำ 1	49.61	12.47	17.41	237.57	208.81
[แผ่นที่1] น้ำยาง 1 : น้ำ 2	47.57	10.25	17.75	184.63	257.63
[แผ่นที่2] น้ำยาง 1 : น้ำ 2	49.54	10.42	18.15	203.59	243.32
[แผ่นที่3] น้ำยาง 1 : น้ำ 2	47.94	10.92	17.64	201.87	237.47
ความหนาแน่น 200 kg/m^3					
[แผ่นที่1] น้ำยางอย่างเดียว	44.26	8.57	14.06	112.52	393.35
[แผ่นที่2] น้ำยางอย่างเดียว	44.69	10.37	14.56	152.16	293.69
[แผ่นที่3] น้ำยางอย่างเดียว	39.06	8.98	15.33	114.86	340.04
[แผ่นที่1] น้ำยาง 2 : น้ำ 1	40.57	10.42	14.36	155.14	261.50
[แผ่นที่2] น้ำยาง 2 : น้ำ 1	40.18	10.27	14.10	144.50	278.05
[แผ่นที่3] น้ำยาง 2 : น้ำ 1	37.23	10.47	14.21	172.03	261.41
[แผ่นที่1] น้ำยาง 1 : น้ำ 1	34.40	10.81	14.89	152.58	225.45
[แผ่นที่2] น้ำยาง 1 : น้ำ 1	35.77	10.27	15.28	163.53	218.72

ตารางที่ 31 ข้อมูลหาค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนซังข้าวโพด (ต่อ)

แผ่นฉนวน	น้ำหนัก (g)	ความกว้างเฉลี่ย (mm)	ความหนาเฉลี่ย (mm)	ปริมาตร (cm^3)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
[แผ่นที่3] น้ำยาง 1 : น้ำ 1	34.40	9.81	14.58	161.83	212.55
[แผ่นที่1] น้ำยาง 1 : น้ำ 2	35.17	10.55	14.14	152.79	230.18
[แผ่นที่2] น้ำยาง 1 : น้ำ 2	35.68	10.84	14.88	191.78	186.04
[แผ่นที่3] น้ำยาง 1 : น้ำ 2	35.05	10.30	15.34	169.15	207.2

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 32 ค่าความชื้นของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น 300 kg/m³

แผ่นที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ค่าความชื้น (%)
น้ำยางพาราไม่ผสมน้ำ			
1	67.06	63.83	5.06
2	64.15	60.85	5.42
3	69.48	67.24	3.33
ค่าเฉลี่ย			**4.60**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	47.78	45.01	6.15
2	47.87	45.19	5.93
3	49.61	46.51	6.67
ค่าเฉลี่ย			**6.25**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 2ส่วน			
1	47.57	44.81	6.16
2	49.54	46.09	7.49
3	47.94	44.96	6.63
ค่าเฉลี่ย			**6.76**
น้ำยางพารา 2ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	51.18	48.88	4.71
2	53.66	50.46	6.34
3	53.3	49.94	6.73
ค่าเฉลี่ย			**5.93**

ตารางที่ 33 ค่าความชื้นของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น 200 kg/m³

แผ่นที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ค่าความชื้น (%)
น้ำยางพาราไม่ผสมน้ำ			
1	44.26	42.38	4.44
2	44.69	42.94	4.08
3	39.06	37.08	5.34
ค่าเฉลี่ย			**4.62**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	34.4	32.47	5.94
2	35.77	33.51	6.74
3	34.4	32.03	6.56
ค่าเฉลี่ย			**6.41**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 2ส่วน			
1	35.17	33.04	6.45
2	35.68	33.4	6.83
3	35.05	32.83	6.76
ค่าเฉลี่ย			**6.68**
น้ำยางพารา 2ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	40.57	38.73	4.75
2	40.18	38.15	5.32
3	37.23	35.08	6.13
ค่าเฉลี่ย			**5.40**

ตารางที่ 34 ค่าดูดซึมน้ำของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น 300 kg/m³

แผ่นที่	น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)
น้ำยางพาราไม่ผสมน้ำ			
1	13.77	23.47	70.44
2	13.88	23.04	65.99
3	13.70	23.54	71.82
ค่าเฉลี่ย			**69.42**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	12.42	24.50	97.26
2	12.06	24.08	99.67
3	12.52	25.36	102.56
ค่าเฉลี่ย			**99.83**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 2ส่วน			
1	12.58	25.19	100.24
2	11.92	24.32	104.03
3	11.93	24.93	108.97
ค่าเฉลี่ย			**104.41**
น้ำยางพารา 2ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	13.15	25.57	94.45
2	12.92	25.17	94.81
3	13.19	25.92	96.51
ค่าเฉลี่ย			**95.26**

ตารางที่ 35 ค่าดูดซึมน้ำของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น 200 kg/m³

แผ่นที่	น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)
น้ำยางพาราไม่ผสมน้ำ			
1	10.19	15.6	53.09
2	9.38	15.5	65.25
3	9.57	15.42	61.13
ค่าเฉลี่ย			**59.82**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	8.55	16.83	96.84
2	8.46	16.66	96.93
3	8.72	17.62	102.06
ค่าเฉลี่ย			**98.61**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 2ส่วน			
1	8.42	16.82	99.76
2	8.14	16.46	102.21
3	8.37	17.35	107.29
ค่าเฉลี่ย			**103.09**
น้ำยางพารา 2ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	8.76	16.93	93.26
2	8.87	16.83	89.74
3	8.96	17.43	94.53
ค่าเฉลี่ย			**92.51**

ตารางที่ 36 ค่าพองตัวเมื่อแช่น้ำของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น 300 kg/m³

แผ่นที่	ความหนาก่อนแช่น้ำ (mm.)	ความหนาหลังแช่น้ำ 2ชั่วโมง (mm.)	ค่าพองตัวเมื่อแช่น้ำ (%)
น้ำยางพาราไม่ผสมน้ำ			
1	16.56	17.15	3.56
2	16.625	17.5	5.26
3	17.52	18.1	3.31
ค่าเฉลี่ย			**4.05**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	16.53	18.025	9.04
2	16.125	17.585	9.05
3	17.2	18.55	7.84
ค่าเฉลี่ย			**8.65**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 2ส่วน			
1	17.125	18.665	8.99
2	16.005	17.21	7.52
3	17.59	18.075	2.75
ค่าเฉลี่ย			**6.43**
น้ำยางพารา 2ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	16.585	18.075	8.98
2	16.505	17.035	3.21
3	17.5	18.5	5.71
ค่าเฉลี่ย			**5.97**

ตารางที่ 37 ค่าพองตัวเมื่อแช่น้ำของฉนวนซังข้าวโพดความหนาแน่น 200 kg/m³

แผ่นที่	ความหนาก่อนแช่น้ำ (mm.)	ความหนาหลังแช่น้ำ 2ชั่วโมง (mm.)	ค่าพองตัวเมื่อแช่น้ำ (%)
น้ำยางพาราไม่ผสมน้ำ			
1	14.01	14.08	0.46
2	13.69	13.73	0.29
3	12.59	12.73	1.11
ค่าเฉลี่ย			**0.62**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	15.05	15.16	0.73
2	15.05	15.74	4.52
3	13.57	14.00	3.21
ค่าเฉลี่ย			**2.82**
น้ำยางพารา 1ส่วน : น้ำ 2ส่วน			
1	13.17	14.02	6.42
2	14.09	14.73	4.54
3	13.58	14.05	3.46
ค่าเฉลี่ย			**4.81**
น้ำยางพารา 2ส่วน : น้ำ 1ส่วน			
1	15.18	15.61	2.83
2	15.12	15.50	2.51
3	13.57	13.83	1.97
ค่าเฉลี่ย			**2.42**

ภาคผนวก ข

การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties tests)

ผลการทดสอบค่า Modulus of Rupture และ Internal bonding

ฝ่ายบริการการใช้ประโยชน์เครื่องมือ
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
222 ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160 โทรศัพท์ 0-7567-3224-5, 0-7567-3248-9 โทรสาร 0-7567-3242
งานวิศวกรรม โทรศัพท์/โทรสาร 0-7567-3201, Website : http://ser.wu.ac.th

ANALYSIS REPORT

Report No: SIE 53R/56 **Date:** 16 January 2013

In pursuance to an order received from: Anupa Sakoolpanit
Address: 6 Soi Jaransanitwong 59, Jaransanitwong Road
Bangplad, Bangkok 10700

Service request No: SIE 53/56

Sample

Commodity	:	Insulation boards made from rubber and corncob
Reference	:	-
Sample size	:	50x275x15, 50x50x15 millimeter
Quantity	:	6 pieces
Arrival date	:	December 28, 2012
Manufactured	:	-
Test period	:	January 9-11, 2013

Method

Items	:	Particleboard
Method	:	JIS A 5908:2003

Remark:

1. The tested specimens for modulus of rupture and internal bonding were conditioned to a constant weight and moisture content in a conditioning chamber maintained at a relative humidity of 65±5 % and a temperature of 20±2°C.

(Mr. Taweensin Wongprot)
Center for Scientific and Technological Equipments

(Dr. Pannipa Chaowana)
School of Engineering and Resources

(Asst. Prof. Dr. Wipawee Khamwichit)
Center for Scientific and Technological Equipments

The analysis report refers to the time and place of testing, and strictly to the supplied sample only, without reference to any other mater. This report does not evidence or refer to any consignment or shipment.

ฝ่ายบริการการใช้ประโยชน์เครื่องมือ
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
222 ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160 โทรศัพท์ 0-7567-3224-5, 0-7567-3248-9 โทรสาร 0-7567-3242
งานวิศวกรรม โทรศัพท์/โทรสาร 0-7567-3201, Website : http://scr.wu.ac.th

ANALYSIS REPORT

Report No: SIE 53R/56 **Date:** 16 January 2013

Test Result

Property	Item	Unit	Value
Internal bonding	1:0	MPa	0.031
Internal bonding	1:1	Mpa	0.021
Internal bonding	1:2	Mpa	0.016
Internal bonding	2:1	MPa	0.024
Modulus of rupture	1:0	Mpa	0.037
Modulus of rupture	2:1	MPa	0.019

(Mr. Taweensin Wongprot)
Center for Scientific and Technological Equipments

(Dr. Pannipa Chaowana)
School of Engineering and Resources

(Asst. Prof. Dr. Wipawee Khamwichit)
Center for Scientific and Technological Equipments

The analysis report refers to the time and place of testing, and strictly to the supplied sample only, without reference to any other mater. This report does not evidence or refer to any consignment or shipment.

ภาคผนวก ค

การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน (Thermal conductivity properties tests)

ผลการทดสอบค่า Thermal Conductivity และ Thermal Resistance

No. 0307/ 12664

To Miss Anupa Sakulpanich

The Department of Science Service presents the test report for the sample named "Thermal insulation made from corncob Density 300 kg/m³ natural latex" Laboratory No.L55/05335.1 as the total of 1 sample with reference to the request No. L55/05335 dated 26 June 2012.

Enclosed herewith the following result avails for your acknowledgement.

Department of Science Service

21 August 2012

Physics and Engineering Program
Tel. 0 2201 7130
Fax 0 2201 7127
E-mail : physics@dss.go.th

Certified True Translation

(Miss Chutima Sucharitakul)
Chief, Registration Sub-Division

แบบ วศ.7

TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Thermal insulation made from corncob Density 300 kg/m³ natural latex		L55/05335.1

Test Results

Thermal Conductivity at 23.4 °C, W/m-K	0.068
Thermal Resistance at 23.4 °C, m^2/m-K	0.293

Customer's name	Miss Anupa Sakulpanich
Customer's address	6 Soi Charansanitwong 59 Charansanitwong Rd.,Bangplad, Bangkok 10700
Sample's description	Thermal insulation made from corncob size: 300 mm x 300 mm x 15 mm
Test date	6 July 2012
Test method	ASTM C 518

Approved by
(Sgd.) Surin Athakitkarnka
(Mr. Surin Athakitkarnka)
Scientist, Senior Professional Level

Reported by
(Sgd.) Kittiya Plermjai
(Ms. Kittiya Plermjai)
Scientist, Practitioner Level

Certified True Translation

(Miss Chutima Sucharitakul)
Chief, Registration Sub-Division

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be reproduced or shall not manifest partially without the written permission of the Department of Science Service.

No. 0307/ 12665

To Miss Anupa Sakulpanich

The Department of Science Service presents the test report for the sample named "Thermal insulation made from corncob Density 300 kg/m³ natural latex 2 : water 1" Laboratory No.L55/05335.2 as the total of 1 sample with reference to the request No. L55/05335 dated 26 June 2012.

Enclosed herewith the following result avails for your acknowledgement.

Department of Science Service

21 August 2012

Physics and Engineering Program
Tel. 0 2201 7130
Fax 0 2201 7127
E-mail : physics@dss.go.th

Certified True Translation

(Miss Chutima Sucharitakul)
Chief, Registration Sub-Division

แบบ วศ.7

TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Thermal insulation made from corncob Density 300 kg/m³ natural latex 2 : water 1		L55/05335.2

Test Results

Thermal Conductivity at 23.4 °C, W/m-K	0.066
Thermal Resistance at 23.4 °C, m^2/m-K	0.347

Customer's name	Miss Anupa Sakulpanich
Customer's address	6 Soi Charansanitwong 59 Charansanitwong Rd.,Bangplad, Bangkok 10700
Sample's description	Thermal insulation made from corncob size: 300 mm x 300 mm x 15 mm
Test date	6 July 2012
Test method	ASTM C 518

Approved by
(Sgd.) Surin Athakitkarnka
(Mr. Surin Athakitkarnka)
Scientist, Senior Professional Level

Reported by
(Sgd.) Kittiya Plermjai
(Ms. Kittiya Plermjai)
Scientist, Practitioner Level

Certified True Translation

(Miss Chutima Sucharitakul)
Chief, Registration Sub-Division

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be reproduced or shall not manifest partially without the written permission of the Department of Science Service.

No. 0307/ 12666

To Miss Anupa Sakulpanich

The Department of Science Service presents the test report for the sample named "Thermal insulation made from corncob Density 300 kg/m³ natural latex 1 : water 1" Laboratory No.L55/05335.3 as the total of 1 sample with reference to the request No. L55/05335 dated 26 June 2012.

Enclosed herewith the following result avails for your acknowledgement.

Department of Science Service

21 August 2012

Physics and Engineering Program
Tel. 0 2201 7130
Fax 0 2201 7127
E-mail : physics@dss.go.th

Certified True Translation

(Miss Chutima Sucharitakul)
Chief, Registration Sub-Division

แบบ วศ.7

TEST REPORT

Sample's name	Mark / Brand	Laboratory No.
Thermal insulation made from corncob Density 300 kg/m³ natural latex 1 : water 1		L55/05335.3

Test Results

Thermal Conductivity at 23.4 °C, W/m-K	0.067
Thermal Resistance at 23.4 °C, m²/m-K	0.328

Customer's name	Miss Anupa Sakulpanich
Customer's address	6 Soi Charansanitwong 59 Charansanitwong Rd.,Bangplad, Bangkok 10700
Sample's description	Thermal insulation made from corncob size: 300 mm x 300 mm x 15 mm
Test date	6 July 2012
Test method	ASTM C 518

Approved by
(Sgd.) Surin Athakitkarnka
(Mr. Surin Athakitkarnka)
Scientist, Senior Professional Level

Reported by
(Sgd.) Kittiya Plermjai
(Ms. Kittiya Plermjai)
Scientist, Practitioner Level

Certified True Translation

(Miss Chutima Sucharitakul)
Chief, Registration Sub-Division

This report is only valid for the sample received. The above statement is not intended for advertising purposes and shall not be reproduced or shall not manifest partially without the written permission of the Department of Science Service.

ภาคผนวก ง

ข้อมูลอุณหภูมิในการทดสอบกับกล่องทดลอง

ตารางที่ 38 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก[°C]
6:00 น.	27.9	27.8	27.8	28.3
6:10 น.	27.9	27.9	27.8	28.4
6:20 น.	27.8	27.8	27.9	28.2
6:30 น.	27.9	27.9	27.9	28
6:40 น.	27.9	28	27.9	28.4
6:50 น.	28	28.1	28.1	28.9
7:00 น.	28.4	28.3	28.4	29.2
7:10 น.	28.6	28.6	28.6	29.2
7:20 น.	28.7	28.9	28.9	29.8
7:30 น.	28.9	29.2	29.2	29.8
7:40 น.	29.6	29.6	29.5	30
7:50 น.	30	30	29.9	30.5
8:00 น.	30.1	30.6	30.5	31.8
8:10 น.	30.9	31.1	31.1	31.2
8:20 น.	31.6	31.9	31.8	31.8
8:30 น.	32.5	32.7	32.5	33.3
8:40 น.	33	33.4	33.2	32.9
8:50 น.	34	34.2	34	34.2
9:00 น.	34.7	34.9	34.7	34.3
9:10 น.	35.3	35.5	35.3	34.5
9:20 น.	35.6	35.8	35.6	32.9
9:30 น.	36.2	36.4	36.2	35.8
9:40 น.	36.7	36.9	36.7	35

ตารางที่ 38 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก[°C]
9:50 น.	36.9	37.4	37.3	34.4
10:00 น.	37.5	37.5	37.4	33.5
10:10 น.	37.6	38	37.8	35.2
10:20 น.	38	38.2	38	35.8
10:30 น.	38.4	38.6	38.5	35.6
10:40 น.	39.1	39.3	39.1	36.5
10:50 น.	39.9	40	39.9	38
11:00 น.	40	40.3	40.1	36.2
11:10 น.	40.6	40.7	40.6	36.2
11:20 น.	40.5	40.5	40.5	35.2
11:30 น.	40.5	40.7	40.5	35.4
11:40 น.	41	41	41	36.5
11:50 น.	41.5	41.5	41.5	37.1
12:00 น.	41.9	41.9	41.9	37.5
12:10 น.	42.5	42.6	42.5	39.4
12:20 น.	42.4	42.3	42.4	36
12:30 น.	42.7	42.7	42.7	37
12:40 น.	42.6	42.7	42.6	38.2
12:50 น.	42.6	42.7	42.6	36.8
13:00 น.	42.3	42.3	42.3	35.3
13:10 น.	42.1	42.3	42.1	36.6
13:20 น.	42.2	42.3	42.2	37.2
13:30 น.	40.8	42	41.8	35.9

ตารางที่ 38 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก[°C]
13:40 น.	40.8	41.6	41.3	34.7
13:50 น.	40.7	41.7	41.5	35.7
14:00 น.	41	41.9	41.7	36.7
14:10 น.	41.2	42.1	41.9	38.2
14:20 น.	41.2	42	42	34.7
14:30 น.	40.6	41.4	41.2	34.1
14:40 น.	39.6	40.3	39.9	32.9
14:50 น.	38.7	39.3	38.7	33.5
15:00 น.	38.8	39.4	38.9	35.9
15:10 น.	38.7	39.3	38.8	35.1
15:20 น.	38.7	39.4	39	35.2
15:30 น.	39	39.6	39.3	35
15:40 น.	38.9	39.6	39.5	35.4
15:50 น.	39.7	40.4	40.4	37.7
16:00 น.	40	40.7	40.6	38.1
16:10 น.	39.9	40.7	40.8	36.4
16:20 น.	40.1	41	41.1	37.2
16:30 น.	40	40.9	41.1	36
16:40 น.	39.8	40.8	41	35.3
16:50 น.	39.4	40.4	40.5	35.9
17:00 น.	39	40	40.1	35.8
17:10 น.	38.4	39.4	39.5	34.2
17:20 น.	37.9	38.9	38.9	34.6

ตารางที่ 38 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก[°C]
17:30 น.	37.3	38.2	38.1	34.3
17:40 น.	36.6	37.4	37.4	33.8
17:50 น.	35.9	36.8	36.6	33.5
18:00 น.	35.3	36.1	36	32.8
18:10 น.	34.7	35.5	35.3	32.4
18:20 น.	34.1	34.9	34.8	32.1
18:30 น.	33.7	34.3	34.2	31.9
18:40 น.	33.2	33.8	33.7	31.9
18:50 น.	32.8	33.3	33.3	31.3
19:00 น.	32.5	33	32.9	31
19:10 น.	32.1	32.6	32.6	31.1
19:20 น.	31.8	32.3	32.2	30.8
19:30 น.	31.6	32	31.9	30.5
19:40 น.	31.4	31.8	31.8	30.6
19:50 น.	31.2	31.6	31.5	30.4
20:00 น.	31.1	31.4	31.4	30.4
20:10 น.	30.8	31.2	31.1	30.4
20:20 น.	30.8	31.1	31	30.5
20:30 น.	30.7	31	30.9	30.6
20:40 น.	30.6	30.8	30.9	30.3
20:50 น.	30.5	30.7	30.7	30.3
21:00 น.	30.3	30.6	30.6	29.8
21:10 น.	30.2	30.5	30.5	29.9

ตารางที่ 38 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก[°C]
21:20 น.	30.1	30.4	30.3	30.1
21:30 น.	30	30.2	30.2	29.9
21:40 น.	29.9	30.1	30.1	29.8
21:50 น.	29.7	30	30	29.5
22:00 น.	29.6	29.9	29.8	29.6
22:10 น.	29.5	29.7	29.8	29.6
22:20 น.	29.3	29.6	29.6	29.4
22:30 น.	29.3	29.6	29.5	29.4
22:40 น.	29.2	29.4	29.4	29.4
22:50 น.	29.1	29.3	29.3	29.5
23:00 น.	29	29.3	29.2	29.3
23:10 น.	28.9	29.1	29.1	29.1
23:20 น.	28.9	29.1	29.1	29.2
23:30 น.	28.7	29	29	28.9
23:40 น.	28.6	28.9	28.9	28.5
23:50 น.	28.5	28.8	28.8	28.7
0:00 น.	28.5	28.7	28.7	28.5
0:10 น.	28.4	28.6	28.6	28.6
0:20 น.	28.3	28.6	28.6	28.6
0:30 น.	28.3	28.6	28.6	28.4
0:40 น.	28.3	28.6	28.6	28.6
0:50 น.	28.3	28.5	28.5	28.6
1:00 น.	28.2	28.5	28.5	28.5

ตารางที่ 38 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก[°C]
1:10 น.	28.4	28.5	28.5	28.5
1:20 น.	28.4	28.5	28.6	29
1:30 น.	28.5	28.6	28.6	28.9
1:40 น.	28.4	28.5	28.6	28.8
1:50 น.	28.4	28.5	28.5	28.3
2:00 น.	28.4	28.5	28.5	28.4
2:10 น.	28.3	28.4	28.5	28.3
2:20 น.	28.3	28.3	28.4	28.8
2:30 น.	28.2	28.3	28.4	28.1
2:40 น.	28.1	28.3	28.3	28
2:50 น.	28.1	28.3	28.3	28.2
3:00 น.	28.1	28.2	28.3	28
3:10 น.	28.1	28.2	28.3	27.7
3:20 น.	27.9	28	28.1	26.9
3:30 น.	27.7	27.8	27.9	26.7
3:40 น.	27.4	27.4	27.4	24.4
3:50 น.	27	27.1	27	24.5
4:00 น.	26.6	26.7	26.5	24
4:10 น.	26.3	26.2	26	24.1
4:20 น.	26	26	25.7	24.3
4:30 น.	25.8	25.8	25.6	24.2
4:40 น.	25.6	25.6	25.5	24.1
4:50 น.	25.5	25.6	25.4	24.2

ตารางที่ 38 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก[°C]
5:00 น.	25.5	25.4	25.4	24.5
5:10 น.	25.5	25.4	25.4	24.5
5:20 น.	25.5	25.4	25.3	24.7
5:30 น.	25.5	25.5	25.5	24.8
5:40 น.	25.5	25.4	25.5	24.8
5:50 น.	25.6	25.5	25.5	25.2
6:00 น.	25.6	25.6	25.6	25.5

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 39 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
6:00 น.	25.6	25.6	25.6	25.5
6:10 น.	25.7	25.5	25.7	25.5
6:20 น.	25.9	25.7	25.7	25.8
6:30 น.	25.9	25.8	25.9	25.6
6:40 น.	26.1	26	26.1	25.9
6:50 น.	26.4	26.3	26.4	26.3
7:00 น.	26.8	26.6	26.7	26.8
7:10 น.	27.1	26.9	27	27.2
7:20 น.	27.4	27.2	27.2	27.3
7:30 น.	27.9	27.6	27.6	27.6
7:40 น.	28.4	28.1	28	27.9
7:50 น.	28.8	28.6	28.5	28.3
8:00 น.	29.4	29.1	28.9	28.9
8:10 น.	29.9	29.7	29.4	29.7
8:20 น.	30.4	30.2	30	28.9
8:30 น.	31.4	31	30.7	30.1
8:40 น.	31.9	31.6	31.3	30
8:50 น.	32.5	32.3	32.1	30.3
9:00 น.	32.9	32.7	32.5	31.1
9:10 น.	33	33	32.7	31
9:20 น.	33.4	33.4	33.1	31.2
9:30 น.	33.9	33.8	33.3	32.3
9:40 น.	34.2	34.2	33.9	32.6

ตารางที่ 39 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
9:50 น.	34.6	34.6	36.1	32.1
10:00 น.	35.1	35.1	34.8	32.9
10:10 น.	36	35.9	35.6	34
10:20 น.	36.2	36.4	36.1	33.2
10:30 น.	36.6	36.7	36.5	33.5
10:40 น.	36.5	36.8	36.4	33.4
10:50 น.	36.7	36.9	36.5	33.6
11:00 น.	36.9	37	36.7	34.1
11:10 น.	37.5	37.6	37.2	35.3
11:20 น.	38.3	38.3	38	36
11:30 น.	39.3	39.3	38.9	37.2
11:40 น.	39.5	39.8	39.4	35.4
11:50 น.	40.1	40.3	39.9	36.2
12:00 น.	40.1	40.5	40.2	34.5
12:10 น.	40.7	41	40.7	36.1
12:20 น.	40.9	41.2	40.9	36
12:30 น.	40.9	41.4	41.2	34.8
12:40 น.	40.6	41.1	41.1	34.7
12:50 น.	40.9	41.4	41.2	36.2
13:00 น.	40.9	41.5	41.2	35.1
13:10 น.	40.9	41.5	41.2	36.5
13:20 น.	41.2	41.8	41.7	36.8
13:30 น.	41.6	42.1	42	36.3

ตารางที่ 39 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
13:40 น.	41.8	42.3	42.2	36.2
13:50 น.	42.3	42.9	42.8	36.7
14:00 น.	42.4	43	42.9	36.8
14:10 น.	42.9	43.4	43.3	38
14:20 น.	43	43.7	43.4	39.6
14:30 น.	43	43.6	43.4	37.9
14:40 น.	43.2	43.8	43.6	37.2
14:50 น.	42.9	43.5	43.3	36.9
15:00 น.	42.3	43.1	42.7	35.6
15:10 น.	42	42.9	42.6	35.8
15:20 น.	42	42.9	42.8	36
15:30 น.	42.2	43.1	42.9	38
15:40 น.	42.3	43.4	43.3	37.4
15:50 น.	42.5	43.5	43.4	36.4
16:00 น.	42.4	43.5	43.4	35.9
16:10 น.	42.2	43.2	43.1	36
16:20 น.	41	42.2	42	35.1
16:30 น.	40.8	41.7	41.7	36.1
16:40 น.	40.7	41.6	41.4	36.5
16:50 น.	40.6	41.5	41.4	35.9
17:00 น.	40.9	41.6	41.4	38.2
17:10 น.	39.6	40.4	40.3	33.1
17:20 น.	38.3	39.4	39.1	32

ตารางที่ 39 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
17:30 น.	37.2	38.1	37.7	32.3
17:40 น.	36.2	37.1	36.6	31.2
17:50 น.	35.5	36.2	35.8	31.1
18:00 น.	34.9	35.6	35.3	31.4
18:10 น.	34.4	35.1	34.8	31.7
18:20 น.	33.7	34.4	34.2	30.7
18:30 น.	33.3	33.9	33.7	31.1
18:40 น.	32.9	33.5	33.3	31.2
18:50 น.	32.5	33.1	32.9	31.2
19:00 น.	32.2	32.7	32.7	30.9
19:10 น.	32	32.4	32.4	31.2
19:20 น.	31.8	32.2	32.2	31.3
19:30 น.	31.6	32	32	31.2
19:40 น.	31.5	31.8	31.8	31
19:50 น.	31.3	31.7	31.7	31.1
20:00 น.	31.2	31.5	31.5	30.9
20:10 น.	31.1	31.3	31.3	30.9
20:20 น.	30.9	31.2	31.3	30.8
20:30 น.	30.9	31.1	31.1	30.8
20:40 น.	30.7	31	31	30.5
20:50 น.	30.6	30.8	30.9	30.6
21:00 น.	30.5	30.8	30.7	30.5
21:10 น.	30.4	30.6	30.7	30.4

ตารางที่ 39 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
21:20 น.	30.3	30.5	30.5	30.2
21:30 น.	30.2	30.5	30.5	30.2
21:40 น.	30.1	30.4	30.4	30.2
21:50 น.	30	30.2	30.3	30
22:00 น.	30	30.2	30.3	30
22:10 น.	29.9	30.1	30.2	29.9
22:20 น.	29.9	30	30	29.8
22:30 น.	29.9	30	30.1	29.8
22:40 น.	29.8	30	30	29.9
22:50 น.	29.7	29.9	29.9	29.6
23:00 น.	29.6	29.9	29.9	29.8
23:10 น.	29.6	29.7	29.7	29.6
23:20 น.	29.5	29.7	29.7	29.6
23:30 น.	29.4	29.6	29.6	29.5
23:40 น.	29.4	29.5	29.6	29.4
23:50 น.	29.3	29.4	29.6	29.5
0:00 น.	29.2	29.4	29.4	29.4
0:10 น.	29.2	29.3	29.4	29.4
0:20 น.	29.1	29.2	29.3	29.5
0:30 น.	29.1	29.2	29.3	29.3
0:40 น.	29	29.2	29.2	29.4
0:50 น.	29	29.1	29.2	29.3
1:00 น.	29	29.1	29.1	29.2

ตารางที่ 39 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
1:10 น.	28.9	29	29.1	29.2
1:20 น.	29	29	29.1	29.3
1:30 น.	28.9	29	29	29.2
1:40 น.	28.9	28.9	29	29.2
1:50 น.	28.9	28.9	29	29.1
2:00 น.	28.8	28.9	28.9	29.1
2:10 น.	28.8	28.7	28.9	29
2:20 น.	28.8	28.8	28.9	29
2:30 น.	28.7	28.7	28.8	28.9
2:40 น.	28.6	28.7	28.7	28.9
2:50 น.	28.6	28.6	28.7	28.8
3:00 น.	28.5	28.6	28.6	28.6
3:10 น.	28.5	28.5	28.5	28.7
3:20 น.	28.4	28.5	28.5	28.6
3:30 น.	28.4	28.4	28.5	28.7
3:40 น.	28.3	28.4	28.4	28.7
3:50 น.	28.3	28.4	28.5	28.7
4:00 น.	28.3	28.3	28.4	28.7
4:10 น.	28.3	28.3	28.4	28.7
4:20 น.	28.3	28.4	28.4	28.8
4:30 น.	28.3	28.4	28.5	28.7
4:40 น.	28.3	28.4	28.4	28.7
4:50 น.	28.2	28.3	28.4	28.6

ตารางที่ 39 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
5:00 น.	28.2	28.3	28.3	28.6
5:10 น.	28.1	28.3	28.4	28.6
5:20 น.	28.2	28.2	28.3	28.7
5:30 น.	28.2	28.2	28.3	28.7
5:40 น.	28.2	28.3	28.3	28.7
5:50 น.	28.2	28.2	28.3	28.7
6:00 น.	28.1	28.2	28.3	28.6

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 40 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
6:00 น.	28.1	28.2	28.3	28.6
6:10 น.	28.1	28.2	28.3	28.6
6:20 น.	28.1	28.2	28.3	28.6
6:30 น.	28.3	28.3	28.3	28.8
6:40 น.	28.3	28.4	28.4	28.9
6:50 น.	28.5	28.6	28.6	29.5
7:00 น.	28.9	28.8	28.8	29.7
7:10 น.	29.1	29.2	29.1	30.2
7:20 น.	29.4	29.4	29.4	30.1
7:30 น.	29.8	29.8	29.6	30.5
7:40 น.	30.2	30.2	30	30.7
7:50 น.	30.6	30.7	30.5	31.1
8:00 น.	31	31	30.9	31.5
8:10 น.	31.3	31.4	31.2	31.9
8:20 น.	31.8	31.9	31.6	32.3
8:30 น.	32.1	32.2	32	30.7
8:40 น.	32.7	32.9	32.7	32.6
8:50 น.	32.9	33	32.9	31.2
9:00 น.	33.4	33.6	33.3	32.6
9:10 น.	33.9	34	33.7	32.1
9:20 น.	34.4	34.7	34.4	31.9
9:30 น.	35.2	35.4	35.2	33.3
9:40 น.	35.3	35.5	35.4	32.5

ตารางที่ 40 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
9:50 น.	35.9	36	35.9	34.3
10:00 น.	35.9	36.2	35.9	32.9
10:10 น.	35.8	36.2	36	32.6
10:20 น.	35.8	36.2	36.1	33.8
10:30 น.	36.3	36.7	36.4	35
10:40 น.	36.4	36.9	36.7	33.5
10:50 น.	37.1	37.5	37.2	33.7
11:00 น.	37.3	37.8	37.7	35
11:10 น.	37.5	38	37.8	34.3
11:20 น.	38.2	38.6	38.3	37
11:30 น.	38.3	38.7	38.5	34.6
11:40 น.	39	39.5	39.2	37.5
11:50 น.	39.6	40.2	40.1	38
12:00 น.	40.2	40.8	40.8	39
12:10 น.	40.2	41	41	36.4
12:20 น.	40.9	41.6	41.4	37.9
12:30 น.	40.6	41.5	41.4	36.3
12:40 น.	41	41.7	41.7	38.5
12:50 น.	41	41.8	41.6	36.8
13:00 น.	40.9	41.9	41.7	36.5
13:10 น.	41.1	42	42	37.2
13:20 น.	41.6	42.5	42.5	40.1
13:30 น.	41.9	42.8	42.8	38.9

ตารางที่ 40 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
13:40 น.	42.4	43.3	43.2	39.1
13:50 น.	42.5	43.5	43.4	38.3
14:00 น.	42	43.1	43	37.5
14:10 น.	42	43	42.8	37.4
14:20 น.	41.5	42.6	42.4	37.1
14:30 น.	41.4	42.6	42.3	36.4
14:40 น.	41.3	42.4	42.4	37.1
14:50 น.	41.1	42.2	42.1	36.3
15:00 น.	41.1	42.3	42.4	38.1
15:10 น.	41.4	42.5	42.5	38.4
15:20 น.	41.3	42.6	42.6	38
15:30 น.	41.3	42.7	42.6	37.5
15:40 น.	41.3	42.5	42.5	37.9
15:50 น.	40.9	42.2	42.3	36.7
16:00 น.	40.9	42.2	42.2	37
16:10 น.	40.5	41.8	41.6	36.5
16:20 น.	40.5	41.6	41.5	38.6
16:30 น.	40.2	41.4	41.2	36.6
16:40 น.	39.9	40.9	40.7	36.5
16:50 น.	39.6	40.6	40.5	36
17:00 น.	39.2	40.3	40.1	36.1
17:10 น.	38.5	39.5	39.5	34.7
17:20 น.	38.2	39.1	39	35.6

ตารางที่ 40 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
17:30 น.	37.1	38.1	38	33.4
17:40 น.	36.2	37.3	37	33
17:50 น.	35.4	36.4	36.1	32.5
18:00 น.	34.7	35.6	35.2	32.5
18:10 น.	34.1	34.9	34.7	32.2
18:20 น.	33.6	34.4	34.2	32
18:30 น.	33.2	33.9	33.8	31.9
18:40 น.	32.8	33.5	33.3	32.2
18:50 น.	32.5	33.1	33.1	31.8
19:00 น.	32.3	32.7	32.7	31.7
19:10 น.	32	32.5	32.4	31.3
19:20 น.	31.8	32.3	32.2	31.1
19:30 น.	31.6	32	31.9	30.9
19:40 น.	31.3	31.7	31.7	30.7
19:50 น.	31.1	31.5	31.6	30.8
20:00 น.	31	31.4	31.3	30.7
20:10 น.	30.8	31.2	31.1	30.5
20:20 น.	30.7	31	31	30.4
20:30 น.	30.5	30.9	30.9	30.2
20:40 น.	30.5	30.8	30.8	30.5
20:50 น.	30.4	30.6	30.8	30.1
21:00 น.	30.3	30.5	30.5	30.2
21:10 น.	30.2	30.4	30.4	30.1

ตารางที่ 40 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
21:20 น.	30.1	30.3	30.3	30.3
21:30 น.	30	30.2	30.3	30
21:40 น.	29.9	30.1	30.2	30.1
21:50 น.	29.8	30.1	30.1	29.9
22:00 น.	29.7	29.9	30	29.8
22:10 น.	29.7	29.9	30	29.9
22:20 น.	29.6	29.8	29.9	29.8
22:30 น.	29.6	29.8	29.9	29.8
22:40 น.	29.6	29.8	29.8	29.8
22:50 น.	29.6	29.8	29.8	29.8
23:00 น.	29.5	29.7	29.8	29.7
23:10 น.	29.5	29.7	29.8	29.8
23:20 น.	29.5	29.6	29.8	29.6
23:30 น.	29.4	29.6	29.8	29.6
23:40 น.	29.3	29.5	29.6	29.6
23:50 น.	29.3	29.5	29.5	29.5
0:00 น.	29.2	29.4	29.4	29.5
0:10 น.	29.2	29.4	29.4	29.5
0:20 น.	29.1	29.3	29.4	29.4
0:30 น.	29.1	29.2	29.3	29.4
0:40 น.	29.1	29.2	29.3	29.5
0:50 น.	29	29.2	29.2	29.4
1:00 น.	29	29.2	29.2	29.5

ตารางที่ 40 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
1:10 น.	29	29.2	29.3	29.4
1:20 น.	29.1	29.2	29.3	29.5
1:30 น.	29	29.2	29.3	29.3
1:40 น.	29.1	29.2	29.3	29.4
1:50 น.	29	29.1	29.2	29.4
2:00 น.	29	29.1	29.2	29.3
2:10 น.	28.9	29	29.1	29.2
2:20 น.	28.9	29	29.1	29.2
2:30 น.	28.9	29	29	29.3
2:40 น.	28.9	29	29	29.3
2:50 น.	28.9	29	29	29.2
3:00 น.	28.8	28.9	28.9	29.1
3:10 น.	28.8	28.9	29	29.1
3:20 น.	28.8	28.8	28.9	29.1
3:30 น.	28.8	28.8	28.9	29.2
3:40 น.	28.7	28.7	28.9	29
3:50 น.	28.7	28.7	28.8	28.9
4:00 น.	28.6	28.6	28.7	28.9
4:10 น.	28.6	28.7	28.7	29
4:20 น.	28.5	28.6	28.6	28.9
4:30 น.	28.5	28.5	28.6	28.8
4:40 น.	28.4	28.5	28.6	28.9
4:50 น.	28.4	28.5	28.5	29

ตารางที่ 40 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
5:00 น.	28.4	28.4	28.5	29
5:10 น.	28.3	28.4	28.4	28.9
5:20 น.	28.3	28.4	28.5	28.9
5:30 น.	28.3	28.4	28.5	28.9
5:40 น.	28.3	28.4	28.4	28.9
5:50 น.	28.3	28.4	28.4	28.9
6:00 น.	28.2	28.4	28.4	29

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 41 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
6:00 น.	27.8	27.9	28	28.3
6:10 น.	27.8	27.9	27.9	28.4
6:20 น.	27.8	27.8	27.9	28.2
6:30 น.	27.8	27.9	27.9	28
6:40 น.	27.8	27.8	27.9	28.4
6:50 น.	27.9	27.9	27.9	28.9
7:00 น.	28.1	27.9	28	29.2
7:10 น.	28.3	28	28.1	29.2
7:20 น.	28.5	28.2	28.3	29.8
7:30 น.	28.8	28.4	28.6	29.8
7:40 น.	29.2	28.8	28.9	30
7:50 น.	29.6	29.1	29.2	30.5
8:00 น.	30	29.4	29.5	31.8
8:10 น.	30.6	29.9	30.1	31.2
8:20 น.	31.2	30.4	30.7	31.8
8:30 น.	31.9	31	31.3	33.3
8:40 น.	32.5	31.7	31.9	32.9
8:50 น.	33.3	32.2	32.5	34.2
9:00 น.	34	33	33.3	34.3
9:10 น.	34.5	33.6	33.9	34.5
9:20 น.	35.1	34.2	34.6	32.9
9:30 น.	35.5	34.7	35.1	35.8
9:40 น.	36	35.2	35.6	35

ตารางที่ 41 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
9:50 น.	36.2	35.7	36	34.4
10:00 น.	36.6	36.1	36.4	33.5
10:10 น.	36.7	36.4	36.7	35.2
10:20 น.	36.9	36.6	36.8	35.8
10:30 น.	37.2	36.9	37.1	35.6
10:40 น.	37.7	37.3	37.6	36.5
10:50 น.	38.2	37.7	38.1	38
11:00 น.	38.8	38.2	38.6	36.2
11:10 น.	39	38.6	39	36.2
11:20 น.	39.3	38.9	39.4	35.2
11:30 น.	39.3	39.2	39.5	35.4
11:40 น.	39.4	39.2	39.6	36.5
11:50 น.	39.6	39.5	39.8	37.1
12:00 น.	40.1	39.8	40.2	37.5
12:10 น.	40.5	40.1	40.5	39.4
12:20 น.	41	40.5	41	36
12:30 น.	41	40.7	41.1	37
12:40 น.	41.2	40.8	41.4	38.2
12:50 น.	41.2	41	41.5	36.8
13:00 น.	41.1	40.9	41.5	35.3
13:10 น.	40.9	40.8	41.2	36.6
13:20 น.	40.9	40.8	41.2	37.2
13:30 น.	40.7	40.8	41.1	35.9

ตารางที่ 41 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
13:40 น.	40.5	40.8	41	34.7
13:50 น.	40.3	40.5	40.8	35.7
14:00 น.	40.3	40.5	40.7	36.7
14:10 น.	40.5	40.5	40.8	38.2
14:20 น.	40.6	40.5	40.9	34.7
14:30 น.	40.6	40.6	41.1	34.1
14:40 น.	39.9	40.3	40.5	32.9
14:50 น.	38.8	39.6	39.6	33.5
15:00 น.	38.2	38.9	38.8	35.9
15:10 น.	38.2	38.7	38.6	35.1
15:20 น.	38.1	38.5	38.4	35.2
15:30 น.	38.3	38.4	38.4	35
15:40 น.	38.4	38.4	38.4	35
15:50 น.	38.6	38.6	38.6	37.7
16:00 น.	39.1	38.9	39	38.1
16:10 น.	39.4	39.2	39.4	36.4
16:20 น.	39.6	39.4	39.7	37.2
16:30 น.	39.6	39.6	39.9	36
16:40 น.	39.6	39.7	40	35.3
16:50 น.	39.4	39.6	39.9	35.9
17:00 น.	39	39.4	39.7	35.8
17:10 น.	38.6	39.2	39.4	34.2
17:20 น.	38.1	38.9	38.9	34.6

ตารางที่ 41 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
17:30 น.	37.7	38.5	38.5	34.3
17:40 น.	37.1	38.1	38	33.8
17:50 น.	36.5	37.5	37.4	33.5
18:00 น.	36	37	36.8	32.8
18:10 น.	35.4	36.5	36.2	32.4
18:20 น.	34.8	36	35.8	32.1
18:30 น.	34.4	35.5	35.2	31.9
18:40 น.	33.9	35	34.6	31.9
18:50 น.	33.4	34.5	34.2	31.3
19:00 น.	33.1	34.1	33.8	31
19:10 น.	32.7	33.7	33.4	31.1
19:20 น.	32.4	33.4	33	30.8
19:30 น.	32.2	33.1	32.6	30.5
19:40 น.	31.9	32.8	32.4	30.6
19:50 น.	31.7	32.5	32.1	30.4
20:00 น.	31.5	32.3	31.9	30.4
20:10 น.	31.2	32	31.7	30.4
20:20 น.	31.1	31.8	31.5	30.5
20:30 น.	30.9	31.6	31.3	30.6
20:40 น.	30.9	31.4	31.2	30.3
20:50 น.	30.7	31.2	31	30.3
21:00 น.	30.5	31.1	30.9	29.8
21:10 น.	30.4	31	30.8	29.9

ตารางที่ 41 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
21:20 น.	30.3	30.8	30.7	30.1
21:30 น.	30.2	30.7	30.5	29.9
21:40 น.	30	30.5	30.4	29.8
21:50 น.	29.9	30.4	30.3	29.5
22:00 น.	29.7	30.2	30.1	29.6
22:10 น.	29.6	30.1	30	29.6
22:20 น.	29.5	29.9	29.8	29.4
22:30 น.	29.3	29.8	29.7	29.4
22:40 น.	29.3	29.7	29.6	29.4
22:50 น.	29.2	29.5	29.5	29.5
23:00 น.	29.1	29.5	29.4	29.3
23:10 น.	29	29.4	29.3	29.1
23:20 น.	29	29.3	29.2	29.2
23:30 น.	28.8	29.2	29.1	28.9
23:40 น.	28.7	29.1	29	28.5
23:50 น.	28.7	29	29	28.7
0:00 น.	28.5	28.9	28.8	28.5
0:10 น.	28.4	28.8	28.8	28.6
0:20 น.	28.4	28.7	28.7	28.6
0:30 น.	28.4	28.6	28.6	28.4
0:40 น.	28.4	28.6	28.6	28.6
0:50 น.	28.3	28.5	28.5	28.6
1:00 น.	28.3	28.5	28.5	28.5

ตารางที่ 41 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
1:10 น.	28.3	28.5	28.5	28.5
1:20 น.	28.4	28.5	28.6	29
1:30 น.	28.4	28.5	28.5	28.9
1:40 น.	28.4	28.5	28.6	28.8
1:50 น.	28.5	28.5	28.6	28.3
2:00 น.	28.4	28.6	28.6	28.4
2:10 น.	28.3	28.5	28.5	28.3
2:20 น.	28.3	28.4	28.5	28.8
2:30 น.	28.3	28.4	28.4	28.1
2:40 น.	28.2	28.4	28.4	28
2:50 น.	28.2	28.3	28.3	28.2
3:00 น.	28.2	28.3	28.3	28
3:10 น.	28.2	28.3	28.4	27.7
3:20 น.	28.1	28.3	28.3	26.9
3:30 น.	28	28.2	28.2	26.7
3:40 น.	27.8	28.1	28	24.4
3:50 น.	27.4	27.9	27.7	24.5
4:00 น.	27	27.6	27.3	24
4:10 น.	26.6	27.2	26.8	24.1
4:20 น.	26.2	26.9	26.3	24.3
4:30 น.	26	26.6	26.1	24.2
4:40 น.	25.6	26.3	25.8	24.1
4:50 น.	25.5	26.1	25.6	24.2

ตารางที่ 41 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนชังข้าวโพด[°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
5:00 น.	25.4	25.9	25.5	24.5
5:10 น.	25.4	25.7	25.4	24.5
5:20 น.	25.3	25.6	25.3	24.7
5:30 น.	25.3	25.6	25.4	24.8
5:40 น.	25.4	25.5	25.3	24.8
5:50 น.	25.4	25.5	25.3	25.2
6:00 น.	25.4	25.5	25.3	25.5

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 42 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
6:00 น.	25.4	25.5	25.3	25.5
6:10 น.	25.4	25.4	25.3	25.5
6:20 น.	25.5	25.5	25.4	25.8
6:30 น.	25.5	25.4	25.4	25.6
6:40 น.	25.6	25.5	25.6	25.9
6:50 น.	25.9	25.7	25.7	26.3
7:00 น.	26.2	25.8	25.9	26.8
7:10 น.	26.4	26.1	26	27.2
7:20 น.	26.7	26.3	26.3	27.3
7:30 น.	27.1	26.6	26.5	27.6
7:40 น.	27.6	27	26.9	27.9
7:50 น.	28	27.3	27.2	28.3
8:00 น.	28.5	27.7	27.6	28.9
8:10 น.	28.8	28.1	27.9	29.7
8:20 น.	29.4	28.7	28.5	28.9
8:30 น.	29.9	29.2	29	30.1
8:40 น.	30.5	29.7	29.5	30
8:50 น.	31.1	30.3	30.2	30.3
9:00 น.	31.5	30.6	30.5	31.1
9:10 น.	31.8	30.9	30.9	31
9:20 น.	32.2	31.4	31.3	31.2
9:30 น.	32.5	31.7	31.6	32.3
9:40 น.	33	32.2	32.2	32.6

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 42 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
9:50 น.	**33.5**	**32.7**	**32.6**	**32.1**
10:00 น.	**33.8**	**32.9**	**32.9**	**32.9**
10:10 น.	34.4	33.5	33.4	34
10:20 น.	34.9	34	34.1	33.2
10:30 น.	35.3	34.6	34.6	33.5
10:40 น.	35.5	34.9	34.8	33.4
10:50 น.	35.6	35.1	34.9	33.6
11:00 น.	35.6	35.3	35.1	34.1
11:10 น.	36.1	35.6	35.4	35.3
11:20 น.	36.6	36	35.9	36
11:30 น.	37.3	36.4	36.4	37.2
11:40 น.	37.9	37.1	37.1	35.4
11:50 น.	38.4	37.5	37.5	36.2
12:00 น.	38.6	37.8	37.9	34.5
12:10 น.	38.9	38.1	38.2	36.1
12:20 น.	39.3	38.4	38.6	36
12:30 น.	39.4	38.7	38.9	34.8
12:40 น.	39.6	38.8	39.1	34.7
12:50 น.	39.5	38.9	39.2	36.2
13:00 น.	39.6	39	39.2	35.1
13:10 น.	39.7	39.4	39.5	36.5
13:20 น.	39.9	39.4	39.6	36.8
13:30 น.	40.1	39.6	39.9	36.3

ตารางที่ 42 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
13:40 น.	40.4	39.8	40	36.2
13:50 น.	40.8	40.2	40.4	36.7
14:00 น.	41.1	40.4	40.7	36.8
14:10 น.	41.3	40.7	41	38
14:20 น.	41.4	41	41.1	39.6
14:30 น.	41.7	41.1	41.4	37.9
14:40 น.	41.9	41.4	41.6	37.2
14:50 น.	42	41.5	41.7	36.9
15:00 น.	41.8	41.5	41.6	35.6
15:10 น.	41.5	41.3	41.3	35.8
15:20 น.	41.5	41.3	41.3	36
15:30 น.	41.4	41.3	41.3	38
15:40 น.	41.4	41.5	41.4	37.4
15:50 น.	41.5	41.5	41.6	36.4
16:00 น.	41.7	41.6	41.8	35.9
16:10 น.	41.5	41.6	41.7	36
16:20 น.	41.2	41.4	41.5	35.1
16:30 น.	40.6	41.1	41	36.1
16:40 น.	40.4	41.1	41	36.1
16:50 น.	40.1	40.6	40.5	35.9
17:00 น.	40.2	40.6	40.3	38.2
17:10 น.	40	40.4	40.3	33.1
17:20 น.	39.2	40	39.7	32

ตารางที่ 42 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
17:30 น.	37.9	39.2	38.8	32.3
17:40 น.	37	38.4	37.8	31.2
17:50 น.	36.1	37.5	36.9	31.1
18:00 น.	35.3	36.8	36.1	31.4
18:10 น.	34.7	36.1	35.4	31.7
18:20 น.	34.3	35.6	34.9	30.7
18:30 น.	33.7	35	34.4	31.1
18:40 น.	33.3	34.5	33.9	31.2
18:50 น.	32.9	34.1	33.5	31.2
19:00 น.	32.5	33.7	33.1	30.9
19:10 น.	32.3	33.2	32.7	31.2
19:20 น.	31.9	33	32.5	31.3
19:30 น.	31.8	32.7	32.2	31.2
19:40 น.	31.6	32.5	32	31
19:50 น.	31.5	32.2	31.8	31.1
20:00 น.	31.3	32	31.6	30.9
20:10 น.	31.2	31.8	31.5	30.9
20:20 น.	31	31.7	31.4	30.8
20:30 น.	30.9	31.6	31.2	30.8
20:40 น.	30.8	31.4	31.1	30.5
20:50 น.	30.7	31.2	30.9	30.6
21:00 น.	30.6	31.1	30.8	30.5
21:10 น.	30.5	30.9	30.7	30.4

ตารางที่ 42 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
21:20 น.	30.4	30.8	30.6	30.2
21:30 น.	30.3	30.7	30.5	30.2
21:40 น.	30.2	30.6	30.4	30.2
21:50 น.	30.1	30.5	30.3	30
22:00 น.	30.1	30.4	30.2	30
22:10 น.	30.1	30.4	30.2	29.9
22:20 น.	29.9	30.2	30	29.8
22:30 น.	29.9	30.2	30	29.8
22:40 น.	29.9	30.1	30	29.9
22:50 น.	29.8	30	29.9	29.6
23:00 น.	29.8	30	29.8	29.8
23:10 น.	29.6	29.9	29.7	29.6
23:20 น.	29.6	29.8	29.7	29.6
23:30 น.	29.5	29.8	29.6	29.5
23:40 น.	29.5	29.7	29.6	29.4
23:50 น.	29.4	29.6	29.5	29.5
0:00 น.	29.3	29.5	29.4	29.4
0:10 น.	29.3	29.5	29.4	29.4
0:20 น.	29.2	29.4	29.2	29.5
0:30 น.	29.1	29.3	29.2	29.3
0:40 น.	29.1	29.3	29.2	29.4
0:50 น.	29.1	29.3	29.2	29.3
1:00 น.	29	29.2	29.1	29.2

ตารางที่ 42 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
1:10 น.	29	29.1	29	29.2
1:20 น.	29	29.2	29	29.3
1:30 น.	28.9	29	29	29.2
1:40 น.	28.9	29	28.9	29.2
1:50 น.	28.9	29	28.9	29.2
2:00 น.	28.8	29	28.9	29.1
2:10 น.	28.8	28.9	28.8	29
2:20 น.	28.8	28.9	28.8	29
2:30 น.	28.7	28.9	28.7	28.9
2:40 น.	28.6	28.8	28.7	28.9
2:50 น.	28.6	28.7	28.6	28.8
3:00 น.	28.6	28.7	28.6	28.6
3:10 น.	28.5	28.6	28.5	28.7
3:20 น.	28.5	28.6	28.5	28.6
3:30 น.	28.4	28.5	28.4	28.7
3:40 น.	28.3	28.5	28.4	28.7
3:50 น.	28.3	28.5	28.3	28.7
4:00 น.	28.3	28.4	28.3	28.7
4:10 น.	28.3	28.4	28.3	28.7
4:20 น.	28.3	28.4	28.3	28.8
4:30 น.	28.3	28.4	28.3	28.7
4:40 น.	28.3	28.4	28.3	28.7
4:50 น.	28.3	28.4	28.3	28.6

ตารางที่ 42 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
5:00 น.	28.2	28.4	28.3	28.6
5:10 น.	28.3	28.3	28.3	28.6
5:20 น.	28.3	28.3	28.2	28.7
5:30 น.	28.2	28.3	28.2	28.7
5:40 น.	28.2	28.3	28.2	28.7
5:50 น.	28.2	28.3	28.2	28.7
6:00 น.	28.2	28.3	28.2	28.6

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 43 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาภายนอก [°C]
6:00 น.	28.2	28.3	28.2	28.6
6:10 น.	28.2	28.3	28.2	28.6
6:20 น.	28.1	28.2	28.1	28.6
6:30 น.	28.2	28.2	28.2	28.8
6:40 น.	28.2	28.3	28.1	28.9
6:50 น.	28.3	28.3	28.2	29.5
7:00 น.	28.6	28.4	28.3	29.7
7:10 น.	28.7	28.5	28.5	30.2
7:20 น.	29.1	28.8	28.7	30.1
7:30 น.	29.5	29	28.9	30.5
7:40 น.	29.8	29.4	29.2	30.7
7:50 น.	30.3	29.8	29.6	31.1
8:00 น.	30.6	30	30	31.5
8:10 น.	31	30.5	30.3	31.9
8:20 น.	31.5	30.9	30.8	32.3
8:30 น.	31.9	31.3	31.2	30.7
8:40 น.	32.2	31.8	31.6	32.6
8:50 น.	32.4	32	31.8	31.2
9:00 น.	32.8	32.2	32.1	32.6
9:10 น.	33.3	32.6	32.5	32.1
9:20 น.	33.9	33.2	33.2	31.9
9:30 น.	34.3	33.7	33.7	33.3
9:40 น.	34.6	34	34	32.5

ตารางที่ 43 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาภายนอก [°C]
9:50 น.	34.9	34.2	34.3	34.3
10:00 น.	35.3	34.7	34.6	32.9
10:10 น.	35.4	35.1	35.1	32.6
10:20 น.	35.3	35.1	35.1	33.8
10:30 น.	35.4	35.1	35	35
10:40 น.	35.9	35.5	35.5	33.5
10:50 น.	36.3	35.7	35.7	33.7
11:00 น.	36.7	36.1	36.2	35
11:10 น.	36.8	36.4	36.4	34.3
11:20 น.	37	36.5	36.6	37
11:30 น.	37.5	37	37	34.6
11:40 น.	37.9	37.4	37.5	37.5
11:50 น.	38.6	38	38	38
12:00 น.	39	38.5	38.6	39
12:10 น.	39.5	38.9	39.1	36.4
12:20 น.	39.9	39.4	39.4	37.9
12:30 น.	40.2	39.7	39.7	36.3
12:40 น.	40.2	39.9	39.9	38.5
12:50 น.	40.4	40.1	40.1	36.8
13:00 น.	40.6	40.3	40.3	36.5
13:10 น.	40.7	40.5	40.5	37.2
13:20 น.	41	40.7	40.7	40.1
13:30 น.	41.3	41	40.9	38.9

ตารางที่ 43 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาภายนอก [°C]
13:40 น.	41.6	41.2	41.2	39.1
13:50 น.	41.7	41.5	41.5	38.3
14:00 น.	41.7	41.5	41.5	37.5
14:10 น.	41.5	41.4	41.3	37.4
14:20 น.	41.4	41.3	41.3	37.1
14:30 น.	41.1	41.3	41.1	36.4
14:40 น.	41	41.2	41	37.1
14:50 น.	41	41.2	41	36.3
15:00 น.	40.8	41.2	40.9	38.1
15:10 น.	40.9	41.2	40.9	38.4
15:20 น.	41	41.2	41	38
15:30 น.	41	41.3	41.1	37.5
15:40 น.	41	41.2	41	37.9
15:50 น.	40.7	41.3	40.9	36.7
16:00 น.	40.6	41.1	40.8	37
16:10 น.	40.4	41	40.6	36.5
16:20 น.	40.1	40.8	40.3	38.6
16:30 น.	40	40.6	40.1	36.6
16:40 น.	39.8	40.4	39.9	36.5
16:50 น.	39.4	40.2	39.7	36
17:00 น.	39.2	39.9	39.4	36.1
17:10 น.	38.8	39.6	39.1	34.7
17:20 น.	38.3	39.1	38.6	35.6

ตารางที่ 43 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาภายนอก [°C]
17:30 น.	37.7	38.6	38.2	33.4
17:40 น.	37	38.2	37.6	33
17:50 น.	36.2	37.5	36.9	32.5
18:00 น.	35.5	36.9	36.1	32.5
18:10 น.	34.9	36.2	35.5	32.2
18:20 น.	34.3	35.7	34.9	32
18:30 น.	33.8	35.1	34.4	31.9
18:40 น.	33.4	34.6	33.9	32.2
18:50 น.	33	34.1	33.6	31.8
19:00 น.	32.7	33.8	33.2	31.7
19:10 น.	32.5	33.4	32.9	31.3
19:20 น.	32.3	33.2	32.6	31.1
19:30 น.	32	32.8	32.3	30.9
19:40 น.	31.7	32.6	32.1	30.7
19:50 น.	31.5	32.3	31.8	30.8
20:00 น.	31.4	32.1	31.7	30.7
20:10 น.	31.2	31.9	31.5	30.5
20:20 น.	31	31.6	31.3	30.4
20:30 น.	30.9	31.6	31.1	30.2
20:40 น.	30.8	31.4	31	30.5
20:50 น.	30.6	31.2	30.9	30.1
21:00 น.	30.5	31	30.7	30.2
21:10 น.	30.4	30.9	30.6	30.1

ตารางที่ 43 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาภายนอก [°C]
21:20 น.	30.3	30.8	30.5	30.3
21:30 น.	30.2	30.6	30.4	30
21:40 น.	30.1	30.5	30.3	30.1
21:50 น.	30	30.5	30.2	29.9
22:00 น.	29.9	30.3	30.1	29.8
22:10 น.	29.9	30.2	30	29.9
22:20 น.	29.8	30.2	30	29.8
22:30 น.	29.8	30	29.9	29.8
22:40 น.	29.7	30	29.9	29.8
22:50 น.	29.7	30	29.8	29.8
23:00 น.	29.7	29.9	29.8	29.7
23:10 น.	29.7	29.9	29.8	29.8
23:20 น.	29.6	29.8	29.8	29.6
23:30 น.	29.6	29.8	29.7	29.6
23:40 น.	29.5	29.8	29.6	29.6
23:50 น.	29.5	29.7	29.6	29.5
0:00 น.	29.4	29.6	29.5	29.5
0:10 น.	29.4	29.6	29.5	29.5
0:20 น.	29.3	29.5	29.4	29.4
0:30 น.	29.2	29.4	29.3	29.4
0:40 น.	29.2	29.4	29.3	29.5
0:50 น.	29.1	29.4	29.2	29.4
1:00 น.	29.1	29.3	29.2	29.5

ตารางที่ 43 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาภายนอก [°C]
1:10 น.	29.1	29.3	29.2	29.4
1:20 น.	29.2	29.3	29.2	29.5
1:30 น.	29.2	29.3	29.2	29.3
1:40 น.	29.1	29.3	29.2	29.4
1:50 น.	29.1	29.2	29.1	29.4
2:00 น.	29.1	29.2	29.2	29.3
2:10 น.	29	29.2	29.1	29.2
2:20 น.	29	29.1	29.1	29.2
2:30 น.	28.9	29.1	29	29.3
2:40 น.	28.9	29.1	29	29.3
2:50 น.	28.9	29	28.9	29.2
3:00 น.	28.9	29	28.9	29.1
3:10 น.	28.9	29	29	29.1
3:20 น.	28.8	28.9	28.9	29.1
3:30 น.	28.8	28.9	28.8	29.2
3:40 น.	28.8	28.9	28.9	29
3:50 น.	28.7	28.8	28.8	28.9
4:00 น.	28.6	28.8	28.7	28.9
4:10 น.	28.6	28.7	28.7	29
4:20 น.	28.6	28.7	28.7	28.9
4:30 น.	28.5	28.6	28.6	28.8
4:40 น.	28.4	28.6	28.6	28.9
4:50 น.	28.4	28.5	28.5	29

ตารางที่ 43 อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิผิวผนังด้านในของกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
5:00 น.	28.5	28.5	28.4	29
5:10 น.	28.4	28.5	28.4	28.9
5:20 น.	28.4	28.5	28.4	28.9
5:30 น.	28.4	28.5	28.4	28.9
5:40 น.	28.4	28.4	28.3	28.9
5:50 น.	28.4	28.4	28.4	28.9
6:00 น.	28.4	28.4	28.4	29

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 44 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
6:00 น.	28.5	27.8	27.8	28.3
6:10 น.	28.5	27.8	27.8	28.4
6:20 น.	28.6	27.7	27.9	28.2
6:30 น.	28.6	27.7	27.9	28
6:40 น.	28.7	27.8	27.9	28.4
6:50 น.	28.9	27.9	27.9	28.9
7:00 น.	29.1	28	28	29.2
7:10 น.	29.4	28.2	28.3	29.2
7:20 น.	29.7	28.5	28.4	29.8
7:30 น.	30.1	28.8	28.8	29.8
7:40 น.	30.5	29.1	29.2	30
7:50 น.	31	29.5	29.5	30.5
8:00 น.	31.4	30	30	31.8
8:10 น.	31.9	30.6	30.7	31.2
8:20 น.	32.6	31.1	31.2	31.8
8:30 น.	32.9	31.8	31.8	33.3
8:40 น.	33	32.5	32.5	32.9
8:50 น.	33.1	33.2	33.2	34.2
9:00 น.	33.1	33.8	34	34.3
9:10 น.	33.4	34.4	34.5	34.5
9:20 น.	34	35	35.3	32.9
9:30 น.	34.8	35.4	35.6	35.8
9:40 น.	35.5	35.8	36	35

ตารางที่ 44 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
9:50 น.	36	36.1	36.4	34.4
10:00 น.	36.6	36.4	36.7	33.5
10:10 น.	36.8	36.6	36.8	35.2
10:20 น.	37.1	36.9	36.9	35.8
10:30 น.	37.4	37.4	37.4	35.6
10:40 น.	37.6	37.8	37.8	36.5
10:50 น.	37.9	38.3	38.5	38
11:00 น.	38.1	38.8	39	36.2
11:10 น.	38.5	39.1	39.1	36.2
11:20 น.	39.2	39.2	39.4	35.2
11:30 น.	39.7	39.2	39.4	35.4
11:40 น.	39.9	39.4	39.6	36.5
11:50 น.	39.9	39.8	39.8	37.1
12:00 น.	40.2	40.3	40.4	37.5
12:10 น.	40.3	40.6	40.6	39.4
12:20 น.	40.2	40.9	40.9	36
12:30 น.	40.1	40.7	40.8	37
12:40 น.	40.4	40.8	41.1	38.2
12:50 น.	40.6	40.8	41.2	36.8
13:00 น.	40.8	40.7	41.1	35.3
13:10 น.	41.1	40.5	40.7	36.6
13:20 น.	41.3	40.6	40.8	37.2
13:30 น.	41.4	40.4	40.8	35.9

ตารางที่ 44 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
13:40 น.	41.6	40.4	40.5	34.7
13:50 น.	41.9	40.1	40.4	35.7
14:00 น.	42.1	40.2	40.4	36.7
14:10 น.	42.4	40.3	40.7	38.2
14:20 น.	42.5	40.4	40.7	34.7
14:30 น.	42.6	40.2	40.5	34.1
14:40 น.	42.8	39.2	39.5	32.9
14:50 น.	42.8	38.3	38.5	33.5
15:00 น.	42.8	38	38.1	35.9
15:10 น.	42.8	38.3	38.2	35.1
15:20 น.	42.8	38.2	38	35.2
15:30 น.	42.7	38.2	38.1	35
15:40 น.	42.5	38.3	38.2	35.4
15:50 น.	42.4	38.6	38.6	37.7
16:00 น.	42.4	39.2	39.2	38.1
16:10 น.	42.2	39.4	39.5	36.4
16:20 น.	41.9	39.6	39.7	37.2
16:30 น.	41.6	39.7	39.8	36
16:40 น.	41.2	39.6	39.8	35.3
16:50 น.	40.8	39.3	39.5	35.9
17:00 น.	40.3	38.9	39.2	35.8
17:10 น.	39.8	38.6	38.8	34.2
17:20 น.	39.3	38.2	38.4	34.6

ตารางที่ 44 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
17:30 น.	38.8	37.8	37.9	34.3
17:40 น.	38.2	37.2	37.3	33.8
17:50 น.	37.6	36.7	36.8	33.5
18:00 น.	36.9	36.2	36.2	32.8
18:10 น.	36.4	35.7	35.7	32.4
18:20 น.	35.7	35.2	35.2	32.1
18:30 น.	35.3	34.7	34.7	31.9
18:40 น.	34.9	34.3	34.2	31.9
18:50 น.	34.4	33.9	33.8	31.3
19:00 น.	34.1	33.5	33.4	31
19:10 น.	33.7	33.1	33.1	31.1
19:20 น.	33.5	32.9	32.7	30.8
19:30 น.	33.2	32.5	32.4	30.5
19:40 น.	33	32.3	32.2	30.6
19:50 น.	32.9	32.1	31.9	30.4
20:00 น.	32.7	32	31.8	30.4
20:10 น.	32.6	31.6	31.5	30.4
20:20 น.	32.4	31.4	31.4	30.5
20:30 น.	32.2	31.3	31.3	30.6
20:40 น.	32.1	31.1	31.2	30.3
20:50 น.	32	31	31	30.3
21:00 น.	31.9	30.8	30.8	29.8
21:10 น.	31.7	30.7	30.7	29.9

ตารางที่ 44 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
21:20 น.	31.7	30.6	30.6	30.1
21:30 น.	31.6	30.5	30.5	29.9
21:40 น.	31.5	30.3	30.3	29.8
21:50 น.	31.4	30.1	30.2	29.5
22:00 น.	31.3	30	30	29.6
22:10 น.	31.2	29.8	29.9	29.6
22:20 น.	31.1	29.7	29.7	29.4
22:30 น.	31	29.6	29.6	29.4
22:40 น.	31	29.5	29.5	29.4
22:50 น.	31	29.4	29.5	29.5
23:00 น.	30.9	29.3	29.4	29.3
23:10 น.	30.8	29.1	29.2	29.1
23:20 น.	30.8	29.1	29.1	29.2
23:30 น.	30.7	29	29.1	28.9
23:40 น.	30.7	28.9	29	28.5
23:50 น.	30.6	28.8	28.9	28.7
0:00 น.	30.5	28.7	28.8	28.5
0:10 น.	30.5	28.6	28.6	28.6
0:20 น.	30.3	28.6	28.6	28.6
0:30 น.	30.3	28.5	28.6	28.4
0:40 น.	30.2	28.5	28.6	28.6
0:50 น.	30.2	28.4	28.5	28.6
1:00 น.	30.1	28.4	28.5	28.5

ตารางที่ 44 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
1:10 น.	30.1	28.5	28.6	28.5
1:20 น.	30.1	28.5	28.6	29
1:30 น.	30	28.6	28.6	28.9
1:40 น.	29.9	28.6	28.6	28.8
1:50 น.	30	28.6	28.6	28.3
2:00 น.	29.8	28.5	28.5	28.4
2:10 น.	29.8	28.4	28.5	28.3
2:20 น.	29.7	28.3	28.4	28.8
2:30 น.	29.6	28.4	28.4	28.1
2:40 น.	29.6	28.3	28.3	28
2:50 น.	29.6	28.3	28.3	28.2
3:00 น.	29.5	28.4	28.4	28
3:10 น.	29.4	28.3	28.3	27.7
3:20 น.	29.4	28.2	28.2	26.9
3:30 น.	29.3	28	28.1	26.7
3:40 น.	29.3	27.7	27.7	24.4
3:50 น.	29.3	27.3	27.2	24.5
4:00 น.	29.2	26.9	26.7	24
4:10 น.	29.2	26.6	26.2	24.1
4:20 น.	29.3	26.4	25.9	24.3
4:30 น.	29.1	26.1	25.7	24.2
4:40 น.	29.3	25.9	25.5	24.1
4:50 น.	29.3	25.7	25.3	24.2

ตารางที่ 44 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 14 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
5:00 น.	29.3	25.6	25.2	24.5
5:10 น.	29.2	25.5	25.2	24.5
5:20 น.	29.1	25.4	25.1	24.7
5:30 น.	29.3	25.4	25.1	24.8
5:40 น.	29.3	25.3	25.1	24.8
5:50 น.	29.4	25.3	25.1	25.2
6:00 น.	29.4	25.4	25.2	25.5

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 45 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
6:00 น.	29.4	25.4	25.2	25.5
6:10 น.	29.4	25.3	25.2	25.5
6:20 น.	29.3	25.4	25.2	25.8
6:30 น.	29.4	25.4	25.3	25.6
6:40 น.	29.3	25.5	25.4	25.9
6:50 น.	29.5	25.8	25.6	26.3
7:00 น.	29.6	26.1	25.8	26.8
7:10 น.	29.8	26.3	26	27.2
7:20 น.	29.9	26.7	26.3	27.3
7:30 น.	29.9	27.1	26.6	27.6
7:40 น.	30.1	27.5	27	27.9
7:50 น.	30.3	27.8	27.3	28.3
8:00 น.	30.5	28.2	27.8	28.9
8:10 น.	30.7	28.7	28.1	29.7
8:20 น.	31.2	29.2	28.7	28.9
8:30 น.	31.7	29.7	29.1	30.1
8:40 น.	32.3	30.4	29.7	30
8:50 น.	33	30.8	30.2	30.3
9:00 น.	33.7	31	30.4	31.1
9:10 น.	34.4	31.3	30.8	31
9:20 น.	35.2	31.8	31.2	31.2
9:30 น.	35.8	32.2	31.7	32.3
9:40 น.	36.4	32.9	32.3	32.6

ตารางที่ 45 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
9:50 น.	36.5	33.1	32.6	32.1
10:00 น.	36.6	33.4	32.9	32.9
10:10 น.	37	34	33.5	34
10:20 น.	37.5	34.6	34.1	33.2
10:30 น.	38.1	34.9	34.3	33.5
10:40 น.	38.6	35.1	34.4	33.4
10:50 น.	38.7	35.2	34.4	33.6
11:00 น.	38.6	35.4	34.7	34.1
11:10 น.	38.2	36	35.3	35.3
11:20 น.	38	36.5	35.8	36
11:30 น.	38.2	37	36.4	37.2
11:40 น.	38.5	37.7	37	35.4
11:50 น.	39	37.8	37.2	36.2
12:00 น.	39.5	38	37.4	34.5
12:10 น.	40	38.2	37.7	36.1
12:20 น.	40.3	38.5	38	36
12:30 น.	40.6	38.5	38.3	34.8
12:40 น.	40.9	38.7	38.3	34.7
12:50 น.	41.1	38.7	38.3	36.2
13:00 น.	41.4	38.8	38.5	35.1
13:10 น.	41.5	39.3	38.7	36.5
13:20 น.	41.7	39.4	38.9	36.8
13:30 น.	41.9	39.6	39.1	36.3

ตารางที่ 45 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
13:40 น.	41.9	39.8	39.4	36.2
13:50 น.	42	40.2	39.8	36.7
14:00 น.	42	40.5	40.1	36.8
14:10 น.	42	40.7	40.3	38
14:20 น.	42	40.8	40.4	39.6
14:30 น.	42	41	40.7	37.9
14:40 น.	41.8	41.3	40.9	37.2
14:50 น.	41.7	41.2	40.9	36.9
15:00 น.	41.7	41	40.7	35.6
15:10 น.	41.7	41	40.6	35.8
15:20 น.	41.7	41	40.6	36
15:30 น.	41.6	41	40.7	38
15:40 น.	41.7	41.2	40.9	37.4
15:50 น.	41.7	41.3	40.9	36.4
16:00 น.	41.6	41.4	41.1	35.9
16:10 น.	41.4	41.2	40.9	36
16:20 น.	41.3	40.8	40.5	35.1
16:30 น.	41.1	40.4	40.2	36.1
16:40 น.	40.8	40.3	39.9	36.5
16:50 น.	40.2	40.2	39.7	35.9
17:00 น.	39.7	40.2	39.7	38.2
17:10 น.	39.1	39.8	39.5	33.1
17:20 น.	38.4	38.8	38.4	32

ตารางที่ 45 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
17:30 น.	37.7	37.8	37.4	32.3
17:40 น.	37.1	37	36.5	31.2
17:50 น.	36.5	36.1	35.7	31.1
18:00 น.	35.9	35.5	35.1	31.4
18:10 น.	35.4	35.1	34.6	31.7
18:20 น.	34.8	34.7	34.2	30.7
18:30 น.	34.4	34.2	33.8	31.1
18:40 น.	34	33.8	33.3	31.2
18:50 น.	33.6	33.4	32.9	31.2
19:00 น.	33.2	33.1	32.7	30.9
19:10 น.	33	32.7	32.4	31.2
19:20 น.	32.8	32.6	32.2	31.3
19:30 น.	32.6	32.2	31.9	31.2
19:40 น.	32.4	32.1	31.7	31
19:50 น.	32.2	31.9	31.6	31.1
20:00 น.	32.1	31.7	31.4	30.9
20:10 น.	31.8	31.5	31.3	30.9
20:20 น.	31.7	31.4	31.1	30.8
20:30 น.	31.6	31.2	31	30.8
20:40 น.	31.5	31.1	30.9	30.5
20:50 น.	31.3	31	30.7	30.6
21:00 น.	31.2	30.8	30.6	30.5
21:10 น.	31.1	30.7	30.6	30.4

ตารางที่ 45 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
21:20 น.	31	30.6	30.4	30.2
21:30 น.	31	30.5	30.3	30.2
21:40 น.	30.9	30.4	30.2	30.2
21:50 น.	30.8	30.3	30.1	30
22:00 น.	30.7	30.2	30	30
22:10 น.	30.7	30.2	30	29.9
22:20 น.	30.6	30.1	29.9	29.8
22:30 น.	30.5	30.1	29.9	29.8
22:40 น.	30.6	30	29.8	29.9
22:50 น.	30.4	29.9	29.7	29.6
23:00 น.	30.3	29.8	29.6	29.8
23:10 น.	30.3	29.7	29.6	29.6
23:20 น.	30.2	29.7	29.5	29.6
23:30 น.	30.2	29.6	29.4	29.5
23:40 น.	30	29.5	29.4	29.4
23:50 น.	30	29.4	29.3	29.5
0:00 น.	30	29.4	29.3	29.4
0:10 น.	29.9	29.3	29.2	29.4
0:20 น.	29.9	29.3	29.1	29.5
0:30 น.	29.8	29.2	29.1	29.3
0:40 น.	29.8	29.1	29.1	29.4
0:50 น.	29.7	29.1	29	29.3
1:00 น.	29.7	29.1	29	29.2

ตารางที่ 45 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
1:10 น.	29.7	29	28.9	29.2
1:20 น.	29.6	29	28.9	29.3
1:30 น.	29.6	29	28.9	29.2
1:40 น.	29.6	28.9	28.8	29.2
1:50 น.	29.5	28.8	28.8	29.1
2:00 น.	29.5	28.9	28.7	29.1
2:10 น.	29.5	28.8	28.7	29
2:20 น.	29.5	28.7	28.6	29
2:30 น.	29.5	28.8	28.6	28.9
2:40 น.	29.3	28.6	28.6	28.9
2:50 น.	29.4	28.6	28.4	28.8
3:00 น.	29.2	28.5	28.4	28.6
3:10 น.	29.2	28.5	28.4	28.7
3:20 น.	29.3	28.4	28.3	28.6
3:30 น.	29.2	28.4	28.3	28.7
3:40 น.	29.2	28.3	28.3	28.7
3:50 น.	29.1	28.3	28.2	28.7
4:00 น.	29.1	28.3	28.2	28.7
4:10 น.	29.1	28.3	28.2	28.7
4:20 น.	29.1	28.3	28.2	28.8
4:30 น.	29	28.3	28.2	28.7
4:40 น.	28.9	28.4	28.2	28.7
4:50 น.	28.8	28.3	28.1	28.6

ตารางที่ 45 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 15 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
5:00 น.	28.9	28.3	28.1	28.6
5:10 น.	28.8	28.2	28.1	28.6
5:20 น.	28.9	28.2	28.1	28.7
5:30 น.	28.8	28.2	28.1	28.7
5:40 น.	28.8	28.2	28	28.7
5:50 น.	28.8	28.2	28.1	28.7
6:00 น.	28.7	28.1	28.1	28.6

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 46 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
6:00 น.	28.7	28.1	28.1	28.6
6:10 น.	28.8	28.2	28	28.6
6:20 น.	28.7	28.1	28	28.6
6:30 น.	28.8	28.1	28	28.8
6:40 น.	28.9	28.2	28.1	28.9
6:50 น.	29.1	28.3	28.1	29.5
7:00 น.	29.3	28.6	28.3	29.7
7:10 น.	29.5	28.8	28.5	30.2
7:20 น.	29.8	29.1	28.8	30.1
7:30 น.	30	29.4	29.1	30.5
7:40 น.	30.5	29.9	29.4	30.7
7:50 น.	30.9	30.3	29.9	31.1
8:00 น.	31.3	30.6	30.2	31.5
8:10 น.	31.7	31.1	30.6	31.9
8:20 น.	32.1	31.5	31.1	32.3
8:30 น.	32.6	31.8	31.5	30.7
8:40 น.	33.1	32.1	31.7	32.6
8:50 น.	33.6	32.3	32	31.2
9:00 น.	34.2	32.7	32.2	32.6
9:10 น.	34.6	33.2	32.8	32.1
9:20 น.	34.9	33.8	33.6	31.9
9:30 น.	35.2	34	33.8	33.3
9:40 น.	35.8	34.3	33.9	32.5

ตารางที่ 46 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
9:50 น.	36.3	34.6	34.3	34.3
10:00 น.	36.8	35	34.5	32.9
10:10 น.	37.2	35.1	34.8	32.6
10:20 น.	37.7	34.9	34.6	33.8
10:30 น.	37.9	35.4	35.1	35
10:40 น.	38.2	35.9	35.5	33.5
10:50 น.	38.4	36.2	35.8	33.7
11:00 น.	38.6	36.4	36.1	35
11:10 น.	38.8	36.6	36.2	34.3
11:20 น.	39	36.9	36.5	37
11:30 น.	39	37.6	37.1	34.6
11:40 น.	39.2	37.9	37.6	37.5
11:50 น.	39.4	38.7	38.1	38
12:00 น.	39.5	39.2	38.7	39
12:10 น.	39.5	39.5	39.2	36.4
12:20 น.	39.7	40	39.5	37.9
12:30 น.	39.9	40	39.5	36.3
12:40 น.	40.2	40.1	39.7	38.5
12:50 น.	40.5	40.4	39.9	36.8
13:00 น.	40.8	40.7	40.2	36.5
13:10 น.	41.1	40.8	40.3	37.2
13:20 น.	41.3	41.1	40.6	40.1
13:30 น.	41.2	41.4	41	38.9

ตารางที่ 46 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
13:40 น.	41.2	41.6	41.2	39.1
13:50 น.	41.2	41.7	41.3	38.3
14:00 น.	41.4	41.5	41.1	37.5
14:10 น.	41.5	41.2	40.9	37.4
14:20 น.	41.7	41.2	40.8	37.1
14:30 น.	41.9	41.1	40.7	36.4
14:40 น.	42.2	41.2	40.6	37.1
14:50 น.	42.2	41.2	40.7	36.3
15:00 น.	42.3	41.2	40.6	38.1
15:10 น.	42.2	41.3	40.7	38.4
15:20 น.	42.2	41.4	40.8	38
15:30 น.	42.2	41.4	40.8	37.5
15:40 น.	42.1	41.2	40.7	37.9
15:50 น.	41.8	41.1	40.6	36.7
16:00 น.	41.6	40.9	40.4	37
16:10 น.	41.2	40.8	40.1	36.5
16:20 น.	40.9	40.5	39.9	38.6
16:30 น.	40.5	40.3	39.7	36.6
16:40 น.	40.2	40	39.5	36.5
16:50 น.	39.6	39.8	39.2	36
17:00 น.	39	39.5	38.9	36.1
17:10 น.	38.5	39	38.6	34.7
17:20 น.	38	38.5	38	35.6

ตารางที่ 46 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
17:30 น.	37.6	37.9	37.6	33.4
17:40 น.	37.2	37.3	36.9	33
17:50 น.	36.6	36.5	36.1	32.5
18:00 น.	36	35.9	35.4	32.5
18:10 น.	35.3	35.3	34.9	32.2
18:20 น.	34.6	34.9	34.4	32
18:30 น.	34.1	34.4	34	31.9
18:40 น.	33.6	34	33.6	32.2
18:50 น.	33.2	33.6	33.3	31.8
19:00 น.	32.9	33.3	32.9	31.7
19:10 น.	32.6	33	32.6	31.3
19:20 น.	32.4	32.7	32.4	31.1
19:30 น.	32.2	32.4	32.1	30.9
19:40 น.	32	32.2	31.9	30.7
19:50 น.	31.8	31.9	31.6	30.8
20:00 น.	31.7	31.7	31.5	30.7
20:10 น.	31.5	31.6	31.3	30.5
20:20 น.	31.4	31.3	31.1	30.4
20:30 น.	31.3	31.2	31	30.2
20:40 น.	31.2	31.1	30.9	30.5
20:50 น.	31.1	30.9	30.8	30.1
21:00 น.	31	30.7	30.6	30.2
21:10 น.	30.9	30.7	30.5	30.1

ตารางที่ 46 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
21:20 น.	30.9	30.5	30.3	30.3
21:30 น.	30.8	30.4	30.3	30
21:40 น.	30.8	30.3	30.2	30.1
21:50 น.	30.7	30.2	30.1	29.9
22:00 น.	30.7	30.1	30	29.8
22:10 น.	30.6	30	29.9	29.9
22:20 น.	30.6	29.9	29.8	29.8
22:30 น.	30.5	29.9	29.9	29.8
22:40 น.	30.4	29.9	29.8	29.8
22:50 น.	30.4	29.9	29.7	29.8
23:00 น.	30.4	29.8	29.8	29.7
23:10 น.	30.3	29.8	29.8	29.8
23:20 น.	30.2	29.7	29.7	29.6
23:30 น.	30.1	29.6	29.6	29.6
23:40 น.	30.1	29.6	29.5	29.6
23:50 น.	30	29.5	29.5	29.5
0:00 น.	30	29.4	29.4	29.5
0:10 น.	29.9	29.4	29.4	29.5
0:20 น.	29.8	29.3	29.3	29.4
0:30 น.	29.7	29.3	29.2	29.4
0:40 น.	29.8	29.2	29.2	29.5
0:50 น.	29.7	29.2	29.1	29.4
1:00 น.	29.6	29.2	29.1	29.5

ตารางที่ 46 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
1:10 น.	29.6	29.2	29.2	29.4
1:20 น.	29.5	29.2	29.2	29.5
1:30 น.	29.5	29.2	29.1	29.3
1:40 น.	29.5	29.2	29.1	29.4
1:50 น.	29.4	29.1	29	29.4
2:00 น.	29.3	29.1	29	29.3
2:10 น.	29.3	29	29	29.2
2:20 น.	29.3	28.9	29	29.2
2:30 น.	29.2	29	28.9	29.3
2:40 น.	29.1	29	28.9	29.3
2:50 น.	29	28.9	28.9	29.2
3:00 น.	29	28.9	28.8	29.1
3:10 น.	28.9	28.9	28.8	29.1
3:20 น.	29	28.7	28.7	29.1
3:30 น.	28.9	28.8	28.8	29.2
3:40 น.	28.8	28.7	28.8	29
3:50 น.	28.8	28.7	28.7	28.9
4:00 น.	28.7	28.6	28.6	28.9
4:10 น.	28.8	28.6	28.6	29
4:20 น.	28.7	28.5	28.5	28.9
4:30 น.	28.7	28.4	28.4	28.8
4:40 น.	28.7	28.4	28.4	28.9
4:50 น.	28.6	28.4	28.4	29

ตารางที่ 46 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้ง3กล่องและอากาศภายนอกวันที่ 16 เมษายน 2557 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ไม่ติดตั้งฉนวน [°C]	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่ติดตั้งฉนวนซังข้าวโพด [°C]	อุณหภูมิอากาศภาย ในกล่องที่ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีน[°C]	อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]
5:00 น.	28.6	28.4	28.3	29
5:10 น.	28.6	28.4	28.3	28.9
5:20 น.	28.6	28.4	28.4	28.9
5:30 น.	28.6	28.3	28.4	28.9
5:40 น.	28.6	28.3	28.3	28.9
5:50 น.	28.6	28.3	28.3	28.9
6:00 น.	28.6	28.3	28.2	29

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	อนุภา สกุลพาณิชย์
ที่อยู่	6 ซอย จรัญสนิทวงศ์59 ถนน จรัญสนิทวงศ์ แขวง บางบำหรุ เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2549	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมไทย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2557	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2549 – ปัจจุบัน	ทำงานในตำแหน่งสถาปนิก ห้างหุ้นส่วนจำกัด AUDO

มหาวิทยาลัยศิลปากร