



การพัฒนาผนังซีเมนต์เส้นใยพืช สำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ

โดย

นางสาวสิริพร วาสนาประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาผนังซีเมนต์เส้นใยพืช สำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ

โดย

นางสาวสิริพร วาสนาประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF CEMENT-CELLULOSE WALL FOR PASSIVE BUILDING

By

Siriporn Vasanaprasert

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

MASTER OF ARCHITECTURE

Department of Architecture

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2007

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การพัฒนาผนังซีเมนต์เส้นใยพืช สำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ ” เสนอโดย นางสาวสิริพร วาสนาประเสริฐ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่เดือน พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์

อาจารย์ วรธรรม อุ๋นจิตติชัย

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร. กิจชัย จิตขจรวานิช)

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

..... กรรมการ

(ผศ.ดร. ปรีชญา มหัทธนนทวิ)

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

..... กรรมการ

(ผศ.ดร. พันธุดา พุฒิไพโรจน์)

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

..... กรรมการ

(อาจารย์ วรธรรม อุ๋นจิตติชัย)

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

46054211 : MAJOR : ARCHITECTURE

KEY WORD : CEMENT-CELLULOSE WALL / AGRICULTURAL WASTES

SIRIPORN VASANAPRASERT : DEVELOPMENT OF CEMENT-CELLULOSE WALL FOR PASSIVE BUILDING. THESIS ADVISORS : ASST.PROF. PANTUDA PUTHIPIROJ Ph.D AND WORATHAM OONJITTICHAJ. 137 pp.

The objective of this research is to develop the cement-cellulose wall from agricultural wastes. The advantages of this panel compared to the conventional ones are low cost, simple to produce, and having a good thermal property. The development can be divided into four steps: 1.) producing the cellulose fibers from straw, corn peel, and banana chunk; 2.) producing the cement-cellulose panels by using the cellulose fiber-and-cement ratios of 20:80, 30:70 and 40:60; 3.) testing the physical, mechanical, and thermal properties of the cement-cellulose walls; and 4.) price comparison.

From the research, it was found that only the banana chunk can be used to produce the appropriate cellulose fiber for the development of the cement-cellulose panel. The straw and corn peel can not be used since they can not be broken into the cellulose fiber by using the chemical process used in this study. From the testing of the physical and mechanical properties of the cement-cellulose walls produced from banana chunk, it was found that the cellulose fiber-to-cement ratio of 20:80 gave the best properties and the ratios of 40:60 and 30:70 had a less preferable properties, respectively. Also, the density of the walls was found to be 1,348, 1,290 and 1,232 kilogram per cubic meter, respectively. From the testing of the thermal properties, the wall with the cellulose fiber-and-cement ratio of 20:80 has the thermal conductivity coefficient (k-value) of 0.30 W/m.K. Comparing to two commercial walls with the same type, the obtained k-value is in number two. Also, from the results of the heat resistance test and comparing to those of the two commercial panels, the cement-cellulose wall has a lower efficiency. During those 3 day experiment with time range from 6 am to 6 pm, the maximum temperature measured in the box is 2.57 degree Celsius higher, the average temperature measured in the box is 1.67 degree Celsius higher, the average temperature measured at the inner side wall of the box is 2.07 degree Celsius higher and the average temperature measured at the outside wall of the box is 1.29 degree Celsius higher.

For the price comparison, the production cost of the wall with 20:80 cellulose fiber-to-cement ratios is lower than the commercial wall 1 and 2 of 58% and 64%, respectively. Finally, it can be concluded that the cement-cellulose wall from banana chunk used in this study is appropriate for real world application. It has good physical, mechanical, and thermal properties and is cheaper when compared to the commercial walls.

Department of Architecture Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2007

Student's signature

Thesis Advisor's signature 1 2

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณในความช่วยเหลือที่ดีเยี่ยมจาก ผศ.ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้แนวความคิด คำแนะนำในการดำเนินการวิจัย การเขียนวิทยานิพนธ์ และการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น อาจารย์วราธรรม อุ่นจิตติชัย นักวิชาการ 8 ว. สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำการผลิต การทดสอบแผ่นซีเมนต์เส้นใยและซีเมนต์ซีแอมซ์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ พร้อมทั้งให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ และ ผศ.ดร.กิจชัย จิตขจรวานิช ประธานกรรมการ ผศ.ดร.ปรีชญา มัทธนที กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงงานวิจัยนี้จนเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจแรงบันดาลใจทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใย คุณสุรชัย อังสุวรรณ ที่ช่วยทำงานเก็บต้นกล้าและแยกเส้นใยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ คุณจิตมณี ดีอุดมจันทร์ ที่ช่วยอ่านงานวิจัยร่วมไปถึงการวางเรื่องให้น่าอ่าน และบุคคลที่ไม่ได้กล่าวถึงที่ให้ความช่วยเหลือ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
สารบัญแผนภูมิ	ฏ

บทที่

1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา	1
	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
	ขอบเขตของการศึกษา	4
	ขั้นตอนการศึกษา	4
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
	คำจำกัดความสำหรับงานวิจัย	5
2	การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
	วัสดุผสม(Composite Materials)	6
	ความหมายของวัสดุผสม	6
	องค์ประกอบของวัสดุผสม	8
	ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุผสม	8
	เส้นใย(Fibers)	11
	ส่วนประกอบทางเคมีของไม้(Cheical components)	12
	คุณสมบัติของเส้นใยเซลลูโลส	13
	คุณสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยเซลลูโลส	15
	วิธีการผลิตเส้นใยพืช	18
	แผ่นซีเมนต์เส้นใยในประเทศไทย	24
	ประเภทของแผ่นไม้อัดซีเมนต์	24

บทที่		หน้า
	วัตถุประสงค์ที่ใช้ผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	25
	อัตราส่วนเส้นใยพืชผสมปูนซีเมนต์	32
	กระบวนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	33
	คุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	33
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
3	การดำเนินงานวิจัย	38
	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	38
	การผลิตเส้นใยพืช	40
	การผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	46
	การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	54
	การเปรียบเทียบราคา	66
	วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	66
	ขั้นตอนการผลิตเส้นใยพืช	66
	ขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	66
	ขั้นตอนการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน	68
	สถานที่ในการทำวิจัย	69
4	ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	70
	ผลการผลิตเส้นใยพืช	70
	ผลการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	71
	ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	73
	ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ	73
	ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	76
	ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน	79
	ผลการเปรียบเทียบราคา	109
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	111
	สรุปผลการวิจัย	111

บทที่	หน้า
การผลิตเส้นใยพืช	111
การผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	111
การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	112
การเปรียบเทียบราคา	114
ปัญหาที่พบในงานวิจัย	114
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	115
ประโยชน์ในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้	115
บรรณานุกรม	116
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก. การหาปริมาณความชื้นของเส้นใย	118
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงกล	119
ภาคผนวก ค. รายงานผลการวิเคราะห์หาค่า Thermal Conductivity	131
ภาคผนวก ง. การคำนวณหาค่าความร้อน	133
ภาคผนวก จ. ปริมาณผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทย	134
ภาคผนวก ฉ. แผนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์	135
ประวัติผู้วิจัย	136

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงคุณสมบัติพิเศษของเซลลูโลส	13
2	แสดงปริมาณผลผลิตของข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และกล้วย เป็นรายภาค	30
3	แสดงองค์ประกอบของวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร	31
4	แสดงการใช้ปริมาณส่วนเสริมแรงที่ให้ผลดี	32
5	แสดงตัวอย่างปริมาณส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	49
6	แสดงจำนวนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชในแต่ละอัตราส่วนผสมที่นำไปทดสอบ	49
7	แสดงการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงกายภาพ และเชิงความร้อน	55
8	แสดงปริมาตรของต้นกล้วยแห้งที่นำมาผลิตเป็นเส้นใยย่อย	71
9	แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช กับสินค้าชนิดเดียวกัน ที่ขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ	78
10	แสดงผลการวิเคราะห์ทดสอบแผ่นซีเมนต์เส้นใยต้นกล้วย ด้วยเทคนิค TCA.	79
11	แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช กับสินค้า ชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ	80
12	แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	81
13	แสดงการเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตในหนึ่งแผ่นของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 20/80	109
14	แสดงการเปรียบเทียบราคาวัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยต้นกล้วย ทั้ง 3 สูตร	110
15	แสดงการเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช กับแผ่นทดลอง	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงการใช้วัสดุในท้องถิ่น เช่น ไม้ไผ่ มาทำผนังบ้าน	1
2	แสดงการใช้วัสดุในท้องตลาด เช่น สังกะสี ซีเมนต์บล็อก มาทำผนังบ้าน	2
3	แสดงส่วนประกอบของผนังซีเมนต์เส้นใยพืชที่ผลิตจากเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จาก ส่วนเหลือใช้จากการเกษตรในท้องถิ่น	3
4	แสดงวัสดุผสมตามลักษณะของตัวเสริมแรง	7
5	แสดงค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในเส้นใยและค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าสัมผัส ของเส้นใย	9
6	แสดงผลของความยาวเส้นใยเสริมแรงที่มีต่อความเค้นแรงดึงของเส้นใย	9
7	แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูป 2 มิติอย่างง่ายของก้อนวัสดุผสม เนื่องจากผลกระทบจากการไหล	10
8	แสดงรูปหน้าตัดขวางของเส้นใย	11
9	แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวนมวลสาร	16
10	แสดงการนำความร้อนของแผ่นราบ	17
11	แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลลูโลสในผนังเซลล์ของพืชต่างๆ ไป	27
12	แสดงฟางข้าวที่นำมาใช้เป็นวัสดุดิบ	29
13	แสดงเปลือกข้าวโพดที่นำมาใช้	29
14	แสดงต้นกล้วยที่นำมาใช้	30
15	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	39
16	ขั้นตอนที่ 3 พืชที่แช่ในน้ำละลายสารส้มที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักเส้นใย	41
17	ขั้นตอนที่ 6 พืชที่ตากแห้งแล้ว	41
18	แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเส้นใยครั้งที่ 2 โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ...	43
19	ขั้นตอนที่ 1 การใช้วิธีทางธรรมชาติ โดยการปล่อยให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เปื่อยยุ่ยไปเอง.....	44
20	ขั้นตอนที่ 2 แช่น้ำไว้ 1-2 วัน แล้วล้างเอาฝุ่นดินออก นำขึ้นไปตากให้แห้ง.....	44
21	ขั้นตอนที่ 3 นำมาแช่ในสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ : พืชแห้ง คือ 200 กรัม : 40 ลิตร : 4 กิโลกรัม.....	44

ภาพที่	หน้า	
22	ขั้นตอนที่4 การต้มเส้นใยโดยไม่ต้องล้างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก	45
23	ขั้นตอนที่5 การล้างเส้นใยที่ต้มแล้วด้วยน้ำจันทน์หอมสารเคมี	45
24	ขั้นตอนที่6 การทำเส้นใยที่ทำความสะอาดให้แห้ง	45
25	ขั้นตอนที่7 การย่อยเส้นใยด้วยเครื่องย่อย	46
26	เส้นใยที่ผ่านการย่อยแล้ว 3 ครั้ง	46
27	แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช	51
28	ขั้นตอนที่1 การเตรียมเส้นใยก่อนผสม	52
29	ขั้นตอนที่2 การเตรียมปูนซีเมนต์ ก่อนผสมด้วยมือให้เข้ากัน	52
30	ขั้นตอนที่3 การเตรียมน้ำ ก่อนนำไปฉีดใส่ส่วนผสมเส้นใยกับปูนซีเมนต์	52
31	ขั้นตอนที่4 การคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากันด้วยมือ	53
32	ขั้นตอนที่5 การเตรียมแบบหล่อเหล็กก่อนนำเข้าเครื่องอัดเย็น	53
33	ขั้นตอนที่6 การอัดแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชด้วยเครื่องอัดเย็น	53
34	ขั้นตอนที่7 การบ่มแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชเมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมง	54
35	แสดงการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	55
36	แผนผังการหาค่าเฉลี่ยของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ในแต่ละสูตรการผลิต	55
37	แสดงตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาวและความหนาของชิ้นทดสอบ	56
38	การชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบ ต้องชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	56
39	เครื่องมือวัดความหนาชิ้นทดสอบ ต้องวัดด้วยไมโครมิเตอร์ (Micrometer)	57
40	เครื่องมือวัดความกว้างยาว ชิ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (verniercaliper)	57
41	การนำชิ้นทดสอบเข้าเตาอบความร้อน	58
42	การนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำ เพื่อหาค่าที่จะทดสอบ	59
43	แสดงการวางชิ้นทดสอบความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น	60
44	แสดงการจับยึดชิ้นงานหาค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน	60
45	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหาค่าการนำความร้อน	61
46	แสดงลักษณะกล่องและการใช้วัสดุทำกล่องทดลองการถ่ายเทความร้อน	63
47	แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลองการถ่ายเทความร้อน	64
48	แสดงลักษณะกล่องและตำแหน่งวางกล่องทดลอง	65

ภาพที่		หน้า
49	แสดงจุดที่ติดตั้งเทอร์มอคัปเปิลที่กล่องทดลอง	65
50	เครื่องย่อยเส้นใย ยี่ห้อ HAMMER MILL	67
51	เครื่องหาค่าความชื้น ยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น MA 40	67
52	เครื่องอัดเย็น ยี่ห้อ HAMMER MILL	68
53	เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger รุ่น testo 177-74	68
54	สายวัดอุณหภูมิเทอร์มอคัปเปอร (Themocouple Type-T)	69
55	เครื่องคอมพิวเตอร์	69
56	แสดงรูปต้นกล้วยที่นำมาผลิตให้ได้เส้นใยเซลลูโลสที่สะอาด	71
57	แบบเหล็กก่อน – หลังการอัดแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีด้วยเครื่องอัดแรง	72
58	แสดงจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิคือ จุดที่ 1 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอก จุดที่ 2 อุณหภูมิผิวผนังด้านใน จุดที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง และ จุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายนอก	82
59	แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง วัสดุทดลอง และตำแหน่งวัด อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง	83
60	แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง วัสดุทดลอง และตำแหน่งวัด อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง	92
61	แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง วัสดุทดลอง และตำแหน่งวัด อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่อง	100

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1	แสดงความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชทั้งหมด 3 สูตร คือ 20/80 30/70 และ40/60	73
2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณความชื้นของ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ40/60	74
3	แสดงการดูดซึมน้ำในเวลาหลัง 2 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมงของ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ40/60	75
4	แสดงการขยายตัวหลังแช่น้ำในเวลา 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงของ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ40/60	75
5	แสดงความสัมพันธ์ของการดูดซึมน้ำและการพองตัวหลังแช่น้ำ ในเวลา 2 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมงของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชทั้งหมด 3 สูตร คือ 20/80 30/70 และ40/60	76
6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความต้านทานมอดูลัสแตกร้าว ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ40/60	77
7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่น ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ40/60	77
8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ40/60	78
9	เปรียบเทียบคุณสมบัติสูงสุดเฉลี่ย ทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง ของทั้ง 4 ตำแหน่ง ระหว่างกล่องทดลองที่ 1 (แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร20/80)กล่องทดลองที่ 2 (วัสดุทดลองยี่ห้อที่1) และกล่องทดลองที่3 (วัสดุทดลองยี่ห้อที่2)	84
10	เปรียบเทียบคุณสมบัติเฉลี่ย ทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง ของทั้ง 4 ตำแหน่ง ระหว่าง กล่องทดลองที่ 1 (แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร20/80) กล่องทดลองที่ 2 (แผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1) และกล่องทดลองที่ 3 (แผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 2) ในช่วงเวลา 6.00-18.00 นาฬิกา วันที่ 1-3 เมษายน 2550.....	84
11	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างคุณสมบัติอากาศภายในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับคุณสมบัติอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1-3 เมษายน 2550	85

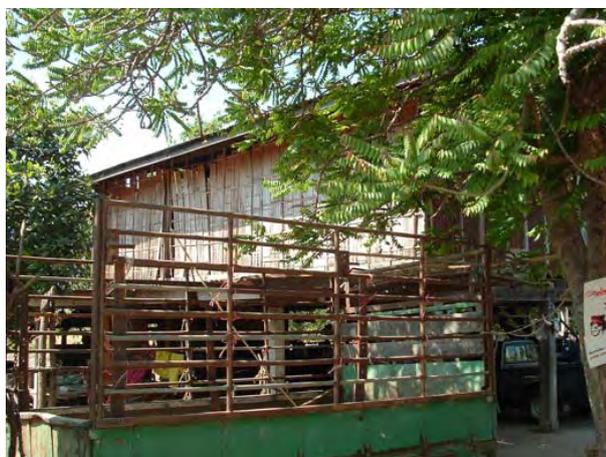
แผนภูมิที่	หน้า
26	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1 เมษายน 2550 103
27	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่องวันที่ 2-3 เมษายน 2550(เวลากลางคืน) 104
28	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 2 เมษายน 2550 105
29	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่องวันที่ 2-3 เมษายน 2550(เวลากลางคืน) 106
30	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 3 เมษายน 2550 107
31	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่องวันที่ 3-4 เมษายน 2550(เวลากลางคืน) 108

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

การสร้างที่อยู่อาศัยของคนชนบทในอดีตได้สะท้อนถึงภูมิปัญญาของท้องถิ่นนั้นๆ ให้เห็นในงานสถาปัตยกรรมในรูปแบบของลักษณะอาคาร วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง แนวความคิดที่สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย ทั้งภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ทรัพยากรธรรมชาติ และวิถีความเป็นอยู่ของคนไทยในแต่ละถิ่นที่อยู่อาศัยที่แสดงออกให้เห็นจากการประยุกต์ใช้วัสดุในท้องถิ่นในด้านการก่อสร้างเรือนที่พักอาศัยได้อย่างเหมาะสม การเลือกใช้วัสดุท้องถิ่นในงานสถาปัตยกรรมนับว่าเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงวิถีการใช้ภูมิปัญญาไทยของท้องถิ่นในงานสถาปัตยกรรมเฉพาะถิ่นได้เป็นอย่างดี อย่างในภาคอีสานมีการใช้ฝาปรีด ฝาไม้ไผ่ (ดูภาพที่ 1) แต่ในปัจจุบันวัสดุที่ได้จากธรรมชาติในท้องถิ่นนั้นๆ มักไม่ได้รับความสนใจอันเนื่องมาจากความไม่คงทนถาวร หาได้ยากเพราะไม่มีผู้สนใจทำ ไม่ทันสมัยและไม่สวยงามตามความต้องการในปัจจุบัน ปัญหาเหล่านี้ทำให้วัสดุที่มีขายอยู่ในท้องตลาดเป็นวัสดุที่ผลิตออกมาเพื่อตอบสนองความต้องการของงานก่อสร้างในปัจจุบันที่ต้องการความรวดเร็ว และรูปแบบที่ทันสมัย เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย แต่วัสดุเหล่านี้ก็มีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและใช้พลังงานในการผลิตมาก ขั้นตอนในการได้มาของวัสดุนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้างอย่างมาก การผลิตมีทั้งผลิตในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศที่ทำให้สินค้ามีราคาแพง



ภาพที่ 1 แสดงการใช้วัสดุในท้องถิ่น เช่น ไม้ไผ่ มาทำผนังบ้าน

ในชนบทการสร้างบ้านเรือนเริ่มเป็นปัญหากับผู้ที่มีรายได้น้อย ที่เมื่ออดีตการสร้างบ้านเรือนจะใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นมาใช้เมื่อมีการขำรุดก็หาวัสดุได้ง่ายเพราะมีอยู่ในท้องถิ่นอย่างมากมาย แต่ปัจจุบันวัสดุเหล่านั้นไม่ได้รับความนิยม หาได้ยากขึ้นเพราะมีการขยายพื้นที่ทำการเกษตรออกไปมาก และรัฐบาลประกาศปิดป่าห้ามนำของออกจากป่าตั้งแต่วันที่ 14 มกราคม 2532 ทำให้ชาวบ้านไม่สามารถนำไม้ในป่ามาทำบ้านเรือนได้อีก เป็นผลทำให้ต้องใช้วัสดุที่มีขายในท้องตลาด (ดูภาพที่ 2) ส่วนใหญ่ผนังที่ใช้จะเป็นแผ่นสังกะสี ซีเมนต์บล็อก ที่มีราคาถูกสามารถซื้อได้

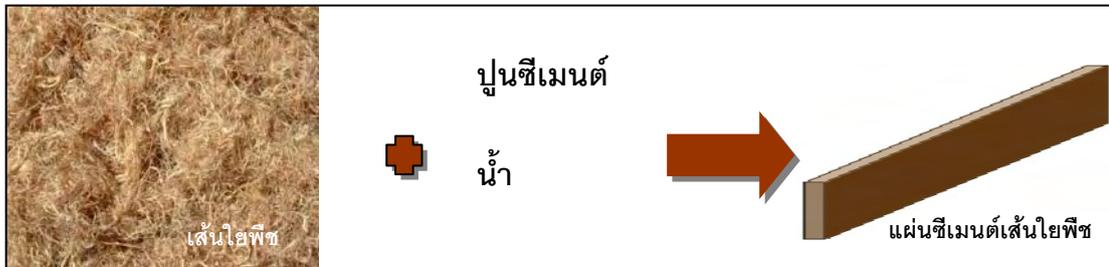


ภาพที่ 2 แสดงการใช้วัสดุในท้องตลาด เช่น สังกะสี ซีเมนต์บล็อก มาทำผนังบ้าน

ในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างมีความสำคัญมากต่อการเกิดสภาวะความสบายในการอยู่อาศัยของผู้ใช้อาคาร วัสดุที่ใช้ต้องสามารถตอบสนององการใช้งานในแต่ละสภาพภูมิอากาศได้เป็นอย่างดี จะเห็นว่าวัสดุท้องถิ่นเป็นวัสดุที่สามารถตอบสนององความต้องการเหล่านี้ได้แต่กลับไม่ได้รับความนิยมในการเลือกมาใช้ งาน สาเหตุมาจากความไม่แข็งแรงทนทาน อายุการใช้งานสั้น คุณภาพในการผลิตไม่แน่นอนและหาได้ยากในปัจจุบัน หากจะมีการศึกษาวัสดุที่มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างให้เป็นที่ยอมรับได้นั้น วัสดุท้องถิ่นหรือทรัพยากรในท้องถิ่นจากการเกษตรก็สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทำให้มีคุณค่ามากขึ้นและเป็นการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน เห็นได้จากการศึกษาของคณะทำงานศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารและวิธีการก่อสร้างในโครงการพัฒนาเคหะชนบทของการเคหะแห่งชาติ เป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากการทำเกษตรกรรมมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1.1 การนำมาใช้โดยตรง เช่น อิฐผสมฟางข้าว ฟางข้าวอัดแผ่น ไม้ไผ่อัดแผ่น เศษไม้อัดแผ่น เป็นต้น

1.2 การนำบางส่วนมาใช้ เช่น ผลิตเป็นวัสดุสำเร็จรูปแล้วจึงนำไปผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างอีกครั้ง ซึ่งก็คือเซลลูโลสจากพืชนั่นเอง (ดูภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แสดงส่วนประกอบของผนังซีเมนต์เส้นใยพืช ที่ผลิตจากเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากส่วนเหลือใช้จากการเกษตรในท้องถิ่น

การวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงรายละเอียดของวัสดุแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ที่ผลิตจากส่วนเหลือใช้ทางการเกษตรในท้องถิ่น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่จะตอบสนองความต้องการในการใช้งานของอาคารในท้องถิ่นชนบทปัจจุบันได้อย่างเหมาะสมที่สุด โดยมีหลักการที่จะใช้ทรัพยากรในท้องถิ่น กรรมวิธีผลิตที่ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชาวบ้านให้สามารถทำได้เอง ทำให้เกิดวัสดุที่มีคุณภาพดีราคาถูกสามารถใช้งานได้และลดการถ่ายเทความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช เพื่อเป็นการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างและส่งเสริมให้วัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น ส่งผลให้ชาวบ้านลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ซ่อมแซมบ้านเรือนทำให้บ้านเรือนอยู่ในสภาพดี และมีคุณสมบัติทำให้อุณหภูมิภายในเรือนอยู่ในสภาวะน่าสบายมากที่สุด

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในท้องถิ่นมาผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช เพื่อใช้ทดแทนแผ่นวัสดุชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด โดยใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ชาวบ้านสามารถทำได้เองไม่ยุ่งยากซับซ้อน ทั้งด้านกรรมวิธี และสัดส่วนการผสมเส้นใย
2. ศึกษาประสิทธิผลในการป้องกันความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเปรียบเทียบกับแผ่นวัสดุชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด
3. ศึกษาเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชกับแผ่นวัสดุชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด

ขอบเขตของการศึกษา

1. วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาศึกษาจะครอบคลุมเพียง 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและหาได้ง่ายในท้องถิ่น
2. วัสดุที่นำมาเปรียบเทียบ คือแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชที่มีขายในท้องตลาด โดยเลือกมา 2 ยี่ห้อ

ขั้นตอนการศึกษา

1. ทบทวนเอกสารและข้อมูลจากงานวิจัยที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกันและสิ่งตีพิมพ์ต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ
2. ศึกษากรรมวิธีผลิตเส้นใยเซลลูโลสจากพีชคือ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วย แล้วทำการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชในสัดส่วน เส้นใยพีชต่อปูนซีเมนต์ 3 สูตร คือ 20/80 30/70 และ 40/60 เพื่อนำแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชที่ได้มาทดสอบคุณภาพของแผ่นด้วยการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล หาสูตรสัดส่วนการผลิตที่ดีที่สุด
3. นำแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชจากสูตรสัดส่วนการผลิตที่มีคุณสมบัติดีที่สุดทั้งด้านสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล มาทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ ในด้านคุณสมบัติการต้านทานความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร โดยใช้กล่องทดสอบ หันด้านที่ติดตั้งแผ่นทดสอบไปทางทิศใต้เพื่อให้ได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์มากที่สุด นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และอภิปรายผล โดยการทำเป็นแผนภูมิหรือตารางเปรียบเทียบ
4. ศึกษาราคาต้นทุนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชที่มีขายในท้องตลาด
5. สรุปผลจากการวิจัย เสนอแนะข้อดีข้อเสีย และข้อเสนอนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. กระตุ้นให้เกิดความสนใจในการนำส่วนเหลือใช้จากภาคเกษตรมาใช้ทำวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นการทำให้เกิดประโยชน์ เพื่อนำมาเป็นวัสดุทดแทนการใช้แผ่นไม้ สังกะสี ซีเมนต์ บล็อก และวัสดุอื่นๆ ที่มีการใช้พลังงานในการผลิตมาก
2. พัฒนาความเข้าใจคุณสมบัติในการลดความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นวัสดุชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด

คำจำกัดความสำหรับงานวิจัย

1. เซลลูโลส (Cellulose) หมายถึง สารประกอบคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทโพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ชนิดที่ซับซ้อน ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสมากมายเชื่อมโยงกันเป็นองค์ประกอบสำคัญของเนื้อไม้¹

2. เส้นใย (Fibers) หมายถึง สิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว หรือเอ็น หรือใย เป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืชจะมีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งได้จากหลายส่วนของพืช²

3. แผ่นซีเมนต์เส้นใย หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ผสมหรืออัดยัดติดกับเส้นใย

¹จินดา จันทรอ่อน, พจนานุกรม ไทย-ไทย ราชบัณฑิตยสถาน [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 23 September 2007. เข้าถึงได้จาก <http://search.sanook.com/knowledge/>

²จินดา จันทรอ่อน, พจนานุกรม ไทย-ไทย ราชบัณฑิตยสถาน [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 23 September 2007. เข้าถึงได้จาก <http://search.sanook.com/knowledge/>

บทที่ 2

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตวัสดุแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนไม้และไม่เป็นการทำลายป่าไม้ธรรมชาติ เนื้อหาที่ทำการศึกษาจะเกี่ยวกับเส้นใยธรรมชาติ ส่วนผสมการผลิต และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ

วัสดุผสม (Composite Materials)

1. ความหมายของวัสดุผสม¹

วัสดุผสม คือ วัสดุที่เกิดจากการผสมวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิด หรือมากกว่าเข้าด้วยกัน อาจเป็นการผสมหรือการสร้างพันธะเข้าด้วยกัน โดยที่เนื้อของวัสดุผสมจะประกอบด้วยวัสดุต่างชนิดกัน ไม่กลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ได้คุณสมบัติรวมของวัสดุผสมที่ไม่สามารถหาได้จากวัสดุชนิดเดียวที่มีปัญหา ทั้งนี้ยังคงสามารถแยกสถานะ (Phase) ของวัสดุแต่ละประเภทในเนื้อของวัสดุผสมนั้นได้

วัสดุผสมประกอบด้วยสารพื้น (Matrix phase) และสารเสริมแรง (Reinforcement phase) การรวมกันของวัสดุที่เป็นตัวเสริมแรง (เป็นอนุภาคหรือเส้นใย) กับสารพื้นหรือวัสดุเชื่อมประสาน ซึ่งในบางกรณีจะถือว่าสารพื้นเป็นเสมือนกาวเชื่อมวัสดุเสริมแรงเข้าด้วยกันและปกป้องวัสดุเสริมแรงจากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม

วัสดุผสมสามารถแบ่งได้ดังนี้²

ก. ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous Composites)

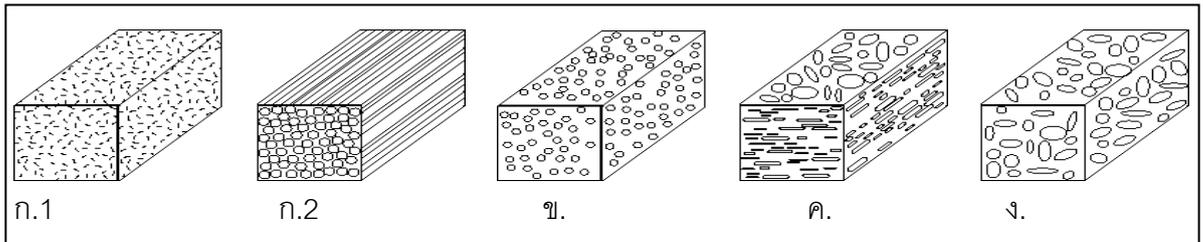
ก.1 เส้นใยสั้นแบบสุ่ม (Random/Short Fiber)

ก.2 เส้นใยยาว/เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous/Long Fiber)

¹ MTEC a member of NSTDA, คอมโพสิท (composites) [Online], accessed 29 July 2007. Available from http://www.mtec.or.th/th/news/word/mat_word13.html

² efunda engineering fundamentals, Composite Materials [Online], accessed 8 June 2007. Available from http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/composites/comp_intro.cfm

- ข. ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นอนุภาค (Particulate Composites)
- ค. ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นแผ่นหรือชิ้นเล็กๆ (Flake Composites)
- ง. ตัวเสริมแรงเป็นสารตัวเติม (Filler Composites)



ภาพที่ 4 แสดงวัสดุผสมตามลักษณะของตัวเสริมแรง

ที่มา : efunda engineering fundamentals, Composite Materials [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 8 June 2007. เข้าถึงได้จาก http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/composites/comp_intro.cfm

หลักการพิจารณาวัสดุว่าเป็นวัสดุผสมหรือไม่พิจารณาได้จากหลัก 3ประการ

- 1.1 ส่วนผสมของทั้งคู่ต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม และปริมาณมากกว่า 5%
- 1.2 ส่วนผสมต้องมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นวัสดุผสมจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากคุณสมบัติของส่วนผสม เช่น ในกรณีของพลาสติก ถึงแม้จะมีการเติมสารเติมแต่งลงไปมากมายเพื่อช่วยในการขึ้นรูปและเหตุผลในทางการค้า แต่พลาสติกดังกล่าวก็ไม่ถูกเรียกว่าเป็นวัสดุผสม

1.3 ส่วนผสมต้องไม่ผสมกลมกลืนกันเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถแบ่งแยกเฟสอย่างชัดเจน

คุณสมบัติของวัสดุผสมขึ้นอยู่กับส่วนต่างๆ ดังนี้

- 1.1 การยึดติดระหว่างสารพื้นและสารเสริมแรง
- 1.2 สมบัติของสารพื้นและสารเสริมแรง
- 1.3 ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง
- 1.4 ปริมาณสารเสริมแรง
- 1.5 กระบวนการผลิต
- 1.6 การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง
- 1.7 ตำแหน่งหรือช่องว่างภายในวัสดุผสม

2. องค์ประกอบของวัสดุผสม

วัสดุผสมสามารถแบ่งส่วนประกอบได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังนี้

2.1 สารพื้น (Matrix) คือ ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของวัสดุผสม โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าสารเสริมแรง สารพื้นจะเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่องและปกคลุมส่วนที่เป็นสารเสริมแรงจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เมื่อวัสดุผสมได้รับการกระทบกระเทือน ภาระที่กระทำจะถูกส่งผ่านจากสารพื้นไปสู่สารเสริมแรงซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่า เป็นผลให้เกิดการรับภาระได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุที่เป็นสารพื้นที่ไม่มีการเสริมแรง

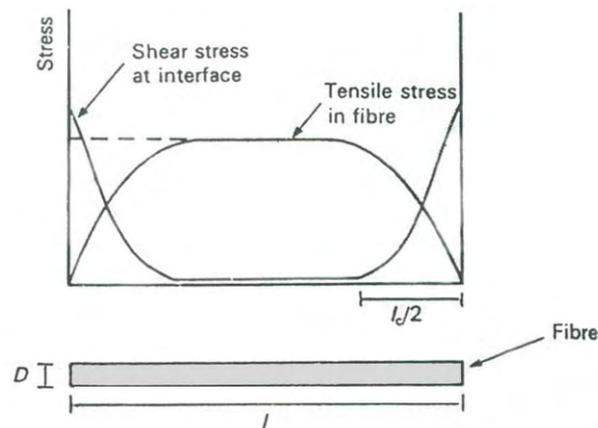
2.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือ ส่วนประกอบที่ช่วยทำให้สมบัติความแข็งแรงของวัสดุผสมดีขึ้น โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงมากกว่าสารพื้น เป็นส่วนรับแรงที่ส่งผ่านมาจากสารพื้น ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการเสริมแรง ซึ่งจะทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น

3. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุผสม³

ปัจจัยในส่วนของอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยธรรมชาติ เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อสมบัติของวัสดุผสม วัสดุผสมที่มีเส้นใยสั้นเป็นสารเสริมแรง จะมีค่าวิกฤตของอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย (Critical Aspect Ratio, l_c/D ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยน้อยที่สุดที่สามารถทำให้เส้นใยรับความเค้นได้มากที่สุด ในการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นที่เส้นใยและความเค้นเฉือนตามความยาวของเส้นใยที่วางตัวขนานกันกับทิศทางของภาระ (ดูภาพที่ 5) ส่วนในการเสริมแรงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยในการผลิตวัสดุผสมควรจะมีค่ามากกว่าค่าอัตราส่วนความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤต เพื่อให้ค่าความเค้นที่มากที่สุดเคลื่อนที่ไปยังเส้นใยก่อนที่วัสดุผสมจะเกิดการเสียรูป หากอัตราส่วนของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤตจะส่งผลทำให้เส้นใยไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการเสริมแรง คือ เส้นใยสั้นกว่าจุดที่เกิดแรงเค้นมากที่สุดทำให้เส้นใยไม่สามารถรับแรงเค้นได้ ส่วนในกรณีที่อัตราส่วนของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยสูงมากเกินไป ก็อาจจะทำให้เกิดการพันกันของเส้นใยในระหว่างการผสม เป็นผลทำให้เกิดปัญหาเส้นใย

³ Matthews, F.L. and Rawlings, R.D., Composite Materials : Engineering and Science, (London : Chapman & Hall,1994), 287-320.

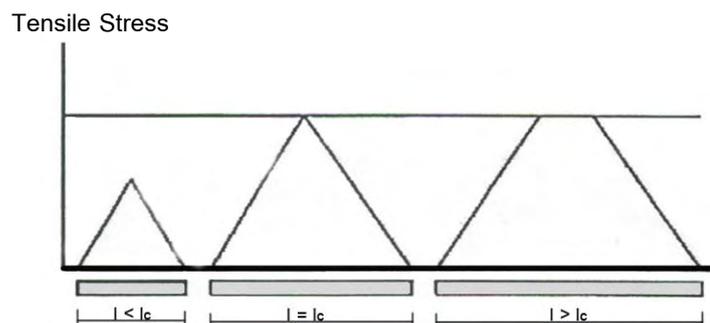
ไม่กระจายตัวในระหว่างการผสมได้ เส้นใยเสริมแรงของวัสดุผสมจะต้องมีความยาวอย่างน้อยที่สุดค่าหนึ่ง เพื่อให้สามารถทำหน้าที่ในการรับภาระที่ถูกส่งผ่านจากสารพื่นสู่เส้นใยได้ ค่าความยาวอย่างน้อยที่สุดค่านี้เรียกว่า ค่าความยาววิกฤต (Critical Length : l_c) แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 แสดงค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในเส้นใยและค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าสัมผัสเส้นใย

l = ความยาวของเส้นใย, D = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นใย, l_c = ค่าความยาววิกฤต

ที่มา : Matthews, F.L. and Rawlings, R.D., Composite Materials : Engineering and Science (London : Chapman and Hall, 1994), 298.



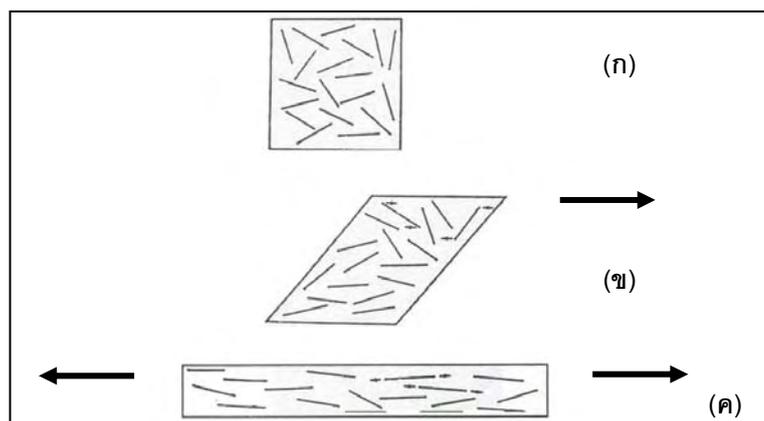
ภาพที่ 6 แสดงผลของความยาวเส้นใยเสริมแรงที่มีต่อความเค้นแรงดึงของเส้นใย

l = ความยาวของเส้นใย, l_c = ค่าความยาววิกฤต

ที่มา : Matthews, F.L. and Rawlings, R.D., Composite Materials : Engineering and Science (London : Chapman and Hall, 1994), 303.

จากการศึกษาของ ฉัตรชัย แถมเงิน และคณะ (2547 : 130) ได้ผลการวิจัยว่าความต้านทานแรงดัดของวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยกากตะกอนชานอ้อยมีค่าต่ำกว่าวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยกากตะกอนยูคาลิปตัสที่ทุกอายุการบ่ม และความต้านทานแรงดัดลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าลักษณะเส้นใยในกากตะกอนทั้งสองชนิดแตกต่างกันค่อนข้างมาก กล่าวคือเส้นใยที่อยู่ในกากตะกอนยูคาลิปตัสไม่มีเศษชิ้นไม้ปนเปื้อนอยู่และเส้นใยสั้นที่สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีมากถึงร้อยละ 25 ดังนั้นเส้นใยจากกากตะกอนยูคาลิปตัสจึงกระจายเข้าไปแทรกตัวอยู่ในเนื้อซีเมนต์ได้ดีกว่า

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุผสม คือ การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง ซึ่งมีความสำคัญเท่าๆ กับความยาวของเส้นใยเสริมแรง การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตวัสดุผสม การจัดเรียงตัวของเส้นใยในสารพื้นจะมีผลกับสมบัติไอโซโทรปิก (Isotropic) ของวัสดุคือ ถ้าหากเส้นใยจัดเรียงตัวกันในทิศทางที่สอดคล้องและเหมือนกันทุกพื้นที่แล้ว คุณสมบัติโดยรวมของวัสดุผสมนั้นจะถือว่าเป็นไอโซโทรปิก แต่ถ้าการจัดเรียงตัวไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันเนื่องจากกรรมวิธีการผลิตหรือสาเหตุใดก็ตาม เช่น ในวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้นก็อาจจะทำให้มีสมบัติเปลี่ยนไปเป็นแอนไอโซโทรปิกได้ ในส่วนของวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยยาวต่อเนื่องก็มีสมบัติเป็นแอนไอโซโทรปิกได้เช่นกัน แต่จะอาศัยการจัดเรียงตัวในทิศทางที่ต้องการให้มีความแข็งแรงสูงสุดให้เป็นประโยชน์ เพื่อให้ได้ความแข็งแรงสูงสุดในทิศทางที่ต้องการ



ภาพที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูป 2 มิติ อย่างง่ายของก้อนวัสดุผสมเนื่องจากผลกระทบจากการไหล (ก) การกระจายตัวแบบสุ่ม (ข) การหมุนของเส้นใยเสริมแรงระหว่างการไหลเนื่องจากแรงเฉือน (ค) การจัดเรียงเส้นใยระหว่างการไหลเนื่องจากการยืด

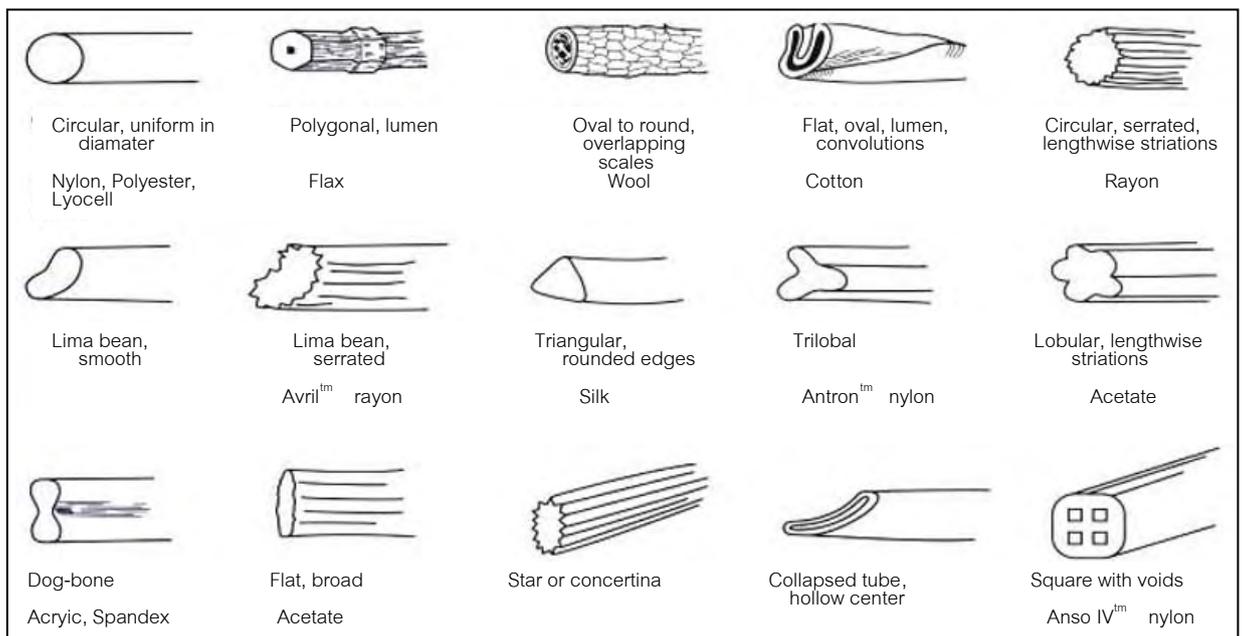
ที่มา : Matthews, F.L. and Rawlings, R.D., Composite Materials : Engineering and Science (London : Chapman and Hall, 1994), 291.

การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของเส้นใยมีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะรูปร่างของเส้นใย สมบัติความเหนียวของสารพื้นเมื่อมีการเติมเส้นใย การออกแบบแม่พิมพ์ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ เนื่องจากการผลิตที่แตกต่างกันในหลายกระบวนการผลิต และผลกระทบจากกระบวนการไหลมีผลต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในรูป 2 มิติอย่างง่าย แสดงในภาพที่ 7

เส้นใย (Fibers)⁴

เส้นใยสามารถแยกประเภทได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่ง ในกรณีนี้เราจะแบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยซึ่งจะแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) สามารถแบ่งย่อยได้อีก คือ เส้นใยพืช เช่น ฝ้าย ปอ ป่าน เส้นใยสัตว์ เช่น ขนสัตว์ ผม ไหม และแร่ เช่น แร่ใยหิน (Asbestos)
2. เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made Fibers) สามารถแบ่งย่อยได้อีก คือ ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เช่น เรยอน อะซิเตต เส้นใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ ไนลอน และแร่ เหล็ก เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก



ภาพที่ 8 แสดงรูปหน้าตัดขวางของเส้นใย

ที่มา : MTEC a member of NSTDA, [เส้นใย \(Fibers\)](http://www.mtec.or.th/Th/research/textile/textile%20sci.html) [Online], accessed 16 June 2006. Available from [www.mtec.or.th/Th/research/textile/textile sci.html](http://www.mtec.or.th/Th/research/textile/textile%20sci.html)

⁴MTEC a member of NSTDA, [เส้นใย \(Fibers\)](http://www.mtec.or.th/Th/research/textile/textile%20sci.html) [Online], accessed 16 June 2006. Available from [www.mtec.or.th/Th/research/textile/textile sci.html](http://www.mtec.or.th/Th/research/textile/textile%20sci.html)

โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใย สามารถดูได้จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขนาด 250-1000 เท่า โครงสร้างทางกายภาพครอบคลุมในส่วนของ ความยาว ขนาดหรือ เส้นผ่าศูนย์กลาง รูปร่างภาคตัดขวาง รูปร่างของผิวและความหยักของเส้นใย

เส้นใยนั้นมีทั้งชนิดสั้นและยาว ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติและการนำไปใช้งานของ ผลิตภัณฑ์ เส้นใยสั้น (Staple Fibers) เป็นกลุ่มเส้นใยธรรมชาติทั้งหมดยกเว้นเส้นใยไหม เช่น ฝ้าย นุ่น ส่วนเส้นใยยาว (Filament Fibers) เป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องอันเกิดจากวิธีการผลิต

ขนาดของเส้นใยจะมีผลต่อสมรรถนะของผลิตภัณฑ์และสมบัติทางผิวสัมผัส เส้นใยที่มี ขนาดใหญ่จะให้ความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า แต่ในเส้น ใยธรรมชาติมักมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ

1. ส่วนประกอบทางเคมีของไม้ (Chemical components of wood)⁵

ส่วนประกอบหลักทางเคมีของไม้สามารถแบ่งออกเป็น เซลลูโลส(Cellulose) มี ปริมาณ 40-50% เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) มีปริมาณ 20-35% ลิกนิน(Lignin) มีปริมาณ 15-35% และสารแทรก (Extractives) มีปริมาณ 3-10% ซึ่งสารเหล่านี้สามารถหาปริมาณได้ ด้วยการย่อยสลายโครงสร้างของสารก่อน

โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) คือส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเส้นใยที่มี อยู่ประมาณ 60-80% ของเนื้อไม้ เป็นสารคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล สูง ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยา(Hydrolyzed) กับกรดเจือจางจะได้น้ำตาลกลูโคส (Glucose) แมนโนส (Mannose) และไซโรส (Xylose) โพลีแซคคาไรด์แบ่งออกเป็น เซลลูโลส(Cellulose) และเฮมิ เซลลูโลส (Hemicellulose) รวมเรียกว่าโฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) ซึ่งสามารถสกัดจากเนื้อ ไม้ได้โดยใช้วิธีการออกซิไดซ์ (Oxidized) เพื่อสกัดเอาสารแทรก ลิกนิน ออกไปให้เหลือแต่โฮโล เซลลูโลส หลังจากนั้นเอาโฮโลเซลลูโลสไปทำปฏิกิริยากับด่างเจือจาง (เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 17.5% หรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 10-24%) จะทำละลายกับเฮมิเซลลูโลสออกมา 15-30% ส่วนที่ไม่ละลายในด่างเจือจางก็จะเหลือเพียง เซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) คือองค์ประกอบส่วนใหญ่ของผนังเซลล์ของเส้นใยไม้พวก โมเลกุลต่อเนื่อง มีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่เรียกว่า ไมโครไฟเบอร์ (Micro Fiber) ที่เกิดจาก การควบแน่นของอณู (Polymerization) ของหน่วยพื้นฐานของสารน้ำตาลกลูโคส(Glucose) เซลลูโลสมีความเหนียว น้ำหนักโมเลกุลสูง และเป็นสารที่มีความเป็นผลึกสูง เป็นองค์ประกอบ

⁵ เพ็ญศรี อติวรรณพัฒน์, เคมีของไม้และการผลิตเยื่อไม้และกระดาษ, (กรุงเทพฯ :

ของไม้ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้สำหรับต้มเยื่อไม้ และไม่ถูกออกซิไดซ์โดยสารเคมีที่ใช้ฟอกเยื่อไม้ ทำให้สามารถแยกเอาสารแทรกกลืนออกจากไม้ได้โดยเซลลูโลสยังคงอยู่

เฮมิเซลลูโลส(Hemicellulose) คือโมเลกุลรวมของโพลีแซคคาไรด์ น้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกไซแลน (Xylans) และกลูโคแมนแนน (Glucomannans) ที่มีโมเลกุลข้างเคียง (Branched Chain) เป็นโมเลกุลที่แตกต่างจากโมเลกุลยาวเดิม เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลรวมของน้ำตาลหลายชนิดมีโครงสร้างซับซ้อนและเป็นผลึกมากกว่าเซลลูโลส

ลิกนิน(Lignin) เป็นสารชนิดหนึ่งที่มีอยู่ระหว่างและในผนังเซลล์ชั้นนอกของเส้นใยไม้ ทำหน้าที่คล้ายกาวเป็นตัวเชื่อมเส้นใยเข้าด้วยกันทำให้โครงสร้างของต้นไม้มีความแข็งแรง เป็นพวกสารโมเลกุลฟีนิลโพรเพน (Essentially Substituted Phenylpropane three-dimensional Polymers) ยึดเกาะกันด้วยอีเทอร์และคาร์บอน ลักษณะไม่เป็นผลึกมีความสามารถในการดูดซึ่มสูงและเมื่อถูกความร้อนจะอ่อนตัวลง

2. คุณสมบัติของเส้นใยเซลลูโลส⁶

คุณสมบัติพิเศษของเซลลูโลสที่ต่างจากองค์ประกอบอื่นๆ ของเยื่อไม้ คือ ทนต่อการเนาเปื่อย ทนต่อแรงบิด ทนต่อสารเคมีที่เป็นด่างหรือกรดอ่อนๆ และทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ (ดูจากตารางที่ 1) ทำให้เมื่อกระบวนการผลิตเส้นใยจากพืชมีการนำคุณสมบัติพิเศษเหล่านี้มาใช้ทำให้ส่วนที่เหลือสุดท้ายจึงเป็น เส้นใยเซลลูโลส แต่ความบริสุทธิ์ของเส้นใยเซลลูโลสในขั้นสุดท้ายนั้นก็ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติพิเศษของเซลลูโลส

สารต่างๆ ที่ประกอบเป็นพืช	
เซลลูโลส	สารอื่นๆ ที่ไม่ใช่เซลลูโลส
1. ทนการเนาเปื่อย	1. ไม่ทนการเนาเปื่อย
2. ทนต่อแรงบิด	2. ไม่ทนต่อแรงบิด
3. ทนต่อด่างหรือกรดอ่อนๆ	3. ไม่ทนต่อด่างหรือกรด
4. ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ	4. ไม่ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ

⁶ คณะทำงานศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารและวิธีการก่อสร้างในโครงการพัฒนาเคหะชนบท, โครงการศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารและวิธีการก่อสร้างในโครงการพัฒนาเคหะชนบท : ศึกษาเฉพาะกรณีพื้นที่ หมู่ที่ 4 บ้านวังกะทะ และหมู่ที่ 7 บ้านคลองป่าหมู อบต.วังกะทะอ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา, (กรุงเทพฯ : 2546), 52-53.

พืชที่มีศักยภาพในการนำเส้นใยมาผลิตเอาเซลลูโลสเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ

2.1 กลุ่มที่ปลูกเพื่ออุตสาหกรรม (Industrial Crops) ได้แก่ ฝ้าย ป่านครนารายณ์ ปอชนิดต่างๆ และไม้โตเร็ว

2.2 กลุ่มส่วนที่เหลือจากการทำการเกษตร (Agricultural By-products) ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด ชังข้าวโพด ชานอ้อย ใบสับปะรด ใยมะพร้าว กัลฉวยและธัญพืชต่างๆ

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

ข้อดีของการพัฒนาเส้นใยเซลลูโลสเป็นวัสดุก่อสร้าง

- เส้นใยเซลลูโลสไม่เป็นสารพิษ (non-Toxic Substance) และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะที่เส้นใยหิน (Asbestos) ที่ใช้ผลิตกระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องแผ่นเรียบและไม้ฝาเทียมเป็นวัสดุที่มีพิษต่อร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะต่อระบบทางเดินหายใจเมื่อมีการใช้งานนานๆ
- เป็นวัสดุที่ผลิตใช้ได้ไม่มีวันหมดไปเหมือนแร่ธาตุตามธรรมชาติ ในพืชทุกชนิดในต้นไม้ทุกต้น มีเส้นใยเซลลูโลสอยู่ประมาณ 40-60% ดังนั้นจึงมีเส้นใยเซลลูโลสอยู่รอบตัวมากมายมหาศาลและเกิดใหม่ได้ตลอดเวลา
- เป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) ด้วยคุณสมบัติพิเศษของเส้นใยเซลลูโลสหากใช้กรรมวิธีที่เหมาะสมก็จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ปัจจุบันมีการนำกระดาษที่ใช้แล้ว (เยื่อกระดาษก็คือเซลลูโลสของต้นไม้ที่นำมาผลิต) นำกลับมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น วัสดุผิวพื้นและแผ่นไฟเบอร์อัดแน่น
- ช่วยแก้ปัญหาสภาวะของโลก จากการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาส่วนเหลือใช้จากการทำการเกษตรกรรมช่วงหลังการเก็บเกี่ยว
- มีน้ำหนักเบาและความหนาแน่นต่ำ แม้เส้นใยธรรมชาติจะมีความแข็งแรงไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ แต่เมื่อนำมาผลิตเป็นวัสดุผสม (Composite) ก็จะได้วัสดุที่มีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง เนื่องจากมีสมบัติด้านความหนาแน่นต่ำ
- ไม่ขีดสีและสร้างความสึกหรอให้เครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูป
- ใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

3. คุณสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยเซลลูโลส⁷

ฉนวน หมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุหรือการถ่ายเทความร้อน(Heat Transfer) ระหว่างวัตถุ สามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองด้านมีความแตกต่างกัน

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

- 1) ประเภทที่เป็นเส้นใย (Fiber) ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กๆ จำนวนมาก
- 2) ประเภทที่เป็นช่องหรือเซลล์ (Cell) โดยแต่ละช่องผลึกแยกออกจากกัน
- 3) ประเภทที่วัสดุที่เป็นโพรง หรือช่องกลวง (Granule) ซึ่งอากาศสามารถถ่ายเทผ่านช่องเหล่านั้นได้
- 4) ประเภทที่วัสดุที่เป็นเกล็ดหรือแผ่นเล็กๆ (Flake)
- 5) ประเภทที่เป็นแผ่นบางๆ (Sheet)

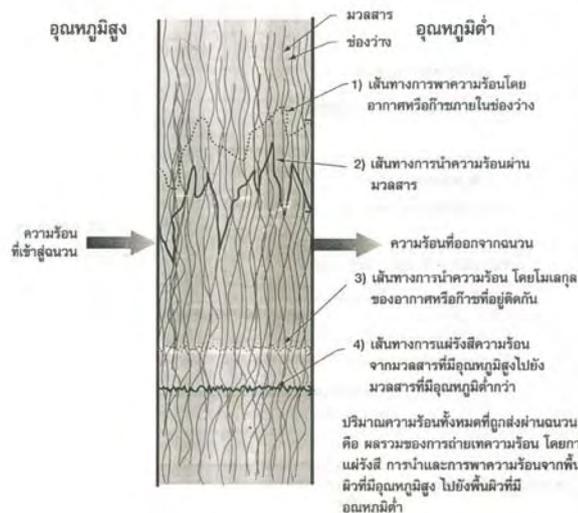
จากคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่า เส้นใยธรรมชาติจากส่วนเหลือใช้จากการเกษตรเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนหรือมีค่าความต้านทานความร้อนประเภทหนึ่ง ที่อยู่ในรูปของเส้นใยเซลลูโลส ทำให้การนำมาใช้เป็นส่วนผสมหนึ่งในการทำผนังซีเมนต์เส้นใยพีช มีประโยชน์ในด้านการเป็นฉนวนและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ถูกต้องควรจะเข้าใจถึงกลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ ก่อนจึงจะเป็นการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยช่องโพรงเล็กๆ และช่องอากาศภายในวัสดุที่มีลักษณะแบบปิดทึบ (Totally Enclosed) เรียกว่า ฉนวนมวลสาร (Mass Insulation) ช่องเล็กๆ เหล่านี้อาจเกิดขึ้นจากเกล็ด (Flakes) เส้นใย (Fibers) หรือเซลล์ของตัววัสดุเองก็ได้

⁷ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, การใช้ฉนวน (กรุงเทพ : โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543), 7-12.

เมื่อมาพิจารณาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวน ที่ค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนใดๆ นั้น สภาพการนำความร้อนปรากฏ (Apparent Thermal Conductivity) ที่เกิดขึ้นจะลดลง เนื่องจากการพาความร้อนโดยอากาศภายในฉนวนกันความร้อนนั้นลดลง เพราะการลดขนาดของช่องอากาศระหว่างเซลล์ของเส้นใยที่ทำให้อากาศภายในฉนวนกันความร้อนหยุดนิ่งไม่เคลื่อนที่จนมีสภาพเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดี ถึงแม้ว่าภายในเซลล์บางส่วนจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยแต่ละเส้นภายในฉนวนนั้นก็ตาม เมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มมากขึ้น (เส้นใยแต่ละเส้นติดกัน) การแผ่รังสีตามทิศทางเคลื่อนที่ของความร้อนจะลดลง เนื่องจากผลของอุณหภูมิตั้งเส้นใยติดกันมีค่าใกล้เคียงกัน

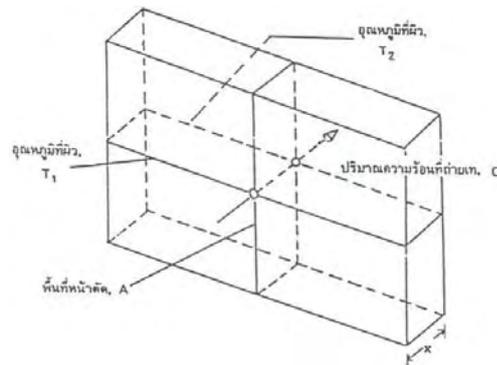
เมื่อความหนาแน่นของวัสดุหรือฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยสู่เส้นใย และพื้นผิวสู่พื้นผิวจะลดลง ทำให้สภาพการนำความร้อนปรากฏลดลงด้วย จนกระทั่งเมื่อค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเส้นใยหรือเซลล์ต่อเชื่อมกันจนเป็นเนื้อเดียวกัน จะเกิดการนำความร้อนขึ้นภายในวัสดุจนถึงจุดที่การแผ่รังสีความร้อนที่ลดลงมีค่าน้อยกว่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น (จากผลของการเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุที่ทำให้เส้นใยชิดกันมากขึ้น) สภาพการนำความร้อนปรากฏจะเริ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการใช้ฉนวนมวลสารนั้น จะมีค่าความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภทที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้น (ก่อนการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น จะเริ่มมีค่ามากกว่าการแผ่รังสีความร้อนที่ลดลง) ดังนั้น ฉนวนกันความร้อนที่ดี จึงควรเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าสภาพการนำความร้อนปรากฏต่ำสุด แสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวนมวลสาร

ที่มา : กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, การใช้ฉนวน (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543), 9.

การพิจารณาการนำความร้อน (Thermal conductivity) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากอะตอมในของแข็งมีสภาพการนำความร้อนต่ำ การสั่นของโมเลกุลข้างเคียงคิดว่าจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการนำความร้อน จากการทดลองพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิคร่อมผิววัตถุ (ด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำ) และพื้นที่ผิวที่ความร้อนไหลผ่าน (ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน) แต่จะเป็นสัดส่วนกลับกันกับความหนาของวัตถุนั้น การนำความร้อนของแผ่นราบ (ดูภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 แสดงการนำความร้อนของแผ่นราบ

ที่มา : ตระการ ก้าวกลีกรรม, คู่มือฉนวนความร้อน (กรุงเทพฯ : เอ็มแอนดีอี, 2537), 6.

การคำนวณค่าความร้อนสามารถหาได้จากสูตร ต่อไปนี้

- **ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance; C)** คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน กับความหนาของวัสดุ สามารถคำนวณได้ดังสมการ ต่อไปนี้

$$\text{สูตร} \quad C = k / \Delta x \quad (2.1)$$

เมื่อ C = ค่าการนำความร้อน (W/m² K)

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W / m. K)

Δx = ความหนาของวัสดุ (m.)

- **ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance; R-Value)** ประกอบไปด้วย ค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ และค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ คือ ส่วนกลับของค่าการนำความร้อน สามารถคำนวณได้ดังสมการ ต่อไปนี้

$$\text{สูตร} \quad R = 1 / C \text{ หรือ } \Delta x / k \quad (2.2)$$

เมื่อ R = ค่าการต้านทานความร้อน (m² K/W)

4. วิธีการผลิตเส้นใย

การศึกษากระบวนการและขั้นตอนในการผลิตเส้นใยมีด้วยกันอยู่หลายวิธี แต่หลักสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือวิธีที่สามารถแยกส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยเซลลูโลสออกให้ได้มากที่สุด มีผลต่อสิ่งแวดล้อมน้อยและสามารถทำได้ง่าย

ข้อควรพิจารณาในการเลือกกระบวนการผลิตเส้นใยเซลลูโลส^๑

- คุณภาพของเส้นใย คือ กระบวนการผลิตสามารถกำจัดส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไปให้มากที่สุด โดยไม่ทำให้คุณสมบัติพิเศษของเส้นใยเซลลูโลสลดลง ผลผลิตเส้นใยที่ได้ก็จะเป็นเส้นใยที่มีคุณภาพ นำไปผลิตวัสดุก่อสร้างก็จะทำให้ได้วัสดุก่อสร้างที่มีคุณภาพ
- ได้ปริมาณเส้นใยสูง เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนกับวัตถุดิบที่ใช้ ในกระบวนการผลิตที่ดีจะได้เส้นใยเซลลูโลสเกินกว่า 40% โดยน้ำหนัก
- ต้นทุนการผลิตต่ำ ผลผลิตที่ได้เมื่อนำไปผลิตวัสดุก่อสร้างจะต้องมีราคาถูกกว่าวัสดุที่จะนำไปใช้ทดแทน เช่น วัสดุที่ใช้ทำฝ้าผนังจะต้องถูกกว่า หรือใกล้เคียงกับแผ่นไม้เทียมในท้องตลาด
- ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น กระบวนการผลิตจะต้องไม่ทำให้เกิดน้ำเสีย ควันพิษหรือสารเคมีที่เป็นโทษต่อสิ่งแวดล้อม หรือพื้นที่การทำเกษตรกรรม

บูรฉัตร จิตรวิระ และ พิชัย นิमितยสกุล (2538 : 40-71) ได้ทำการทดลองปรับปรุงเส้นใยป่านศรนารายณ์ พบว่า การปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติสามารถใช้น้ำสบู่ และสารส้มในการปรับปรุงเส้นใยได้โดยมีกรรมวิธีดังนี้

- นำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาตัดให้ได้ความยาว 22 ซม.
- มัดเป็นกลุ่มๆ ละ 20 กรัม โดยมีระยะห่างจากปลาย 4 ซม.
- นำมาแช่น้ำสบู่ที่ทำจากน้ำมันมะพร้าวความเข้มข้น 2% นาน 24 ชั่วโมง
- นำมาแช่ต่อในน้ำละลายสารส้มที่มีความเข้มข้น 0.75% โดยน้ำหนัก(นำสารส้มละลายในน้ำร้อนและปล่อยให้เย็นตัวก่อนใช้) เป็นเวลา 30 นาที

^๑ คณะทำงานศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารและวิธีการก่อสร้างในโครงการพัฒนาเคหะชนบท, โครงการศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารและวิธีการก่อสร้างในโครงการพัฒนาเคหะชนบท : ศึกษาเฉพาะกรณีพื้นที่ หมู่ที่ 4 บ้านวังกะทะ และหมู่ที่ 7 บ้านคลองป่าหมู อบต.วังกะทะอ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา, 55.

การทดลองนี้ ทำให้เส้นใยป่านศรนารายณ์มีการดูดซึมน้ำ และมีกำลังดึงมากขึ้น ตัวแปรหลัก คือ ความเข้มข้นของน้ำละลายสารส้ม และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใย

เพ็ญศรี อติวรรณพัฒน์ (2540 : 50-58) ได้ศึกษาวิธีการผลิตเยื่อไม้ เพื่อนำกรรมวิธีการผลิตเยื่อ (Type of Pulping Process) มาประยุกต์ใช้ผลิตเส้นใยเซลลูโลส แบ่งการผลิตออกเป็น 3 วิธีคือ

- 1.1 กรรมวิธีทางเคมี (Chemical Process)
- 1.2 กรรมวิธีกึ่งเคมี (Semi-chemical Process)
- 1.3 กรรมวิธีใช้เครื่องจักรบดไม้ (Mechanical Process)

1.1 กรรมวิธีทางเคมี (Chemical Process) เป็นการใช้สารเคมีเพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ กรรมวิธีซัลไฟต์ (Sulfite Process) และกรรมวิธีต้มเยื่อโดยใช้ด่าง (Alkali Process)

1.1.1 กรรมวิธีซัลไฟต์ (Sulfite Process) เป็นการต้มเยื่อไม้โดยใช้กรดซัลฟูรัส (Sulfurous acid) โดยการเผากำมะถัน (Sulfur) ทำให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide) ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำได้กรดซัลฟูรัส แต่จะเกิดกรดซัลฟูรัสน้อย (H_2SO_3) เนื่องจากสารละลายมีความเป็นกรดต่ำทำให้การแตกตัวเกิดเป็นกรดซัลฟูรัสที่จำกัด เมื่อเติมด่าง (Base) เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไป จะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูรัสเกิดเป็นไบซัลไฟต์ (Bisulfite) และโมโนซัลไฟต์ (Monosulfite)

นอกจากใช้โซเดียม เบส (Na Base) แล้วสามารถใช้แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และแอมโมเนียม เบส (Ammonium Base) แทนได้ ซึ่งจะทำให้สภาวะการต้มเยื่อต่างกันออกไป ทำให้การต้มเยื่อโดยสารซัลไฟต์สามารถแยกออกได้ตามสภาวะความเป็นกรดต่าง ดังนี้

- กรรมวิธีแอซิดซัลไฟต์ (Acid sulfite Process)
- กรรมวิธีไบซัลไฟต์ (Bisulfite Process)
- กรรมวิธีนิวทรัลซัลไฟต์ (Neutral sulfite Process)
- กรรมวิธีแอลคาไลน์ซัลไฟต์ (Alkaline sulfite Process)

1.1.2 กรรมวิธีต้มเยื่อโดยใช้ด่าง (Alkali Process) เป็นการต้มเยื่อไม้โดยใช้สารเคมีหลัก คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ กรรมวิธีโซดา

(Soda Process) และกรรมวิธีคราฟหรือซัลเฟต (The Kraft or Sulfate Process) ในกรรมวิธีซัลเฟตใช้สารโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ร่วมด้วย

- กรรมวิธีโซดา (Soda Process) สารเคมีที่ใช้ต้มเยื่อประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาคอสติไซซิง (Causticizing) เพื่อผลิต โซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่เกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์
- กรรมวิธีคราฟหรือซัลเฟต (The Kraft or Sulfate Process) สารเคมีที่ใช้ต้มเยื่อประกอบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) หรือที่เรียกว่ากรรมวิธีคราฟ เนื่องจากเยื่อไม้ที่ผลิตได้มีความแข็งแรงมากโดยเฉพาะ เมื่อใช้เวลาในการต้มเยื่อน้อย และปริมาณลิกนินในเยื่อไม้ค่อนข้างสูง

1.2 กรรมวิธีกึ่งเคมี (Semi-chemical Process) การผลิตแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก การนำชิ้นไม้มาทำปฏิกิริยากับสารเคมีเจือจาง เพื่อให้การยึดเกาะระหว่างเซลล์อ่อนตัวลง โดยการละลายเอาเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ออกมาบางส่วน ขั้นตอนที่สองนำชิ้นไม้มาบดด้วยเครื่องจักรเพื่อแยกเส้นใยออกจากกัน

เยื่อที่ผลิตด้วยกรรมวิธีเคมีคอลล มีผลผลิตอยู่ระหว่าง 60-80% เยื่อที่ผลิตด้วยกรรมวิธีเคมีเมคคานิคคอลล มีผลผลิตอยู่ระหว่าง 85-95% เมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อที่ผลิตด้วยกรรมวิธีเคมี ซึ่งมีลิกนินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย กรรมวิธีเคมีคอลลเยื่อที่ได้อาจมีลิกนินเหลือในเยื่อมากกว่า 10-15% ซึ่งพบมากในไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ส่วนกรรมวิธีเคมีเมคคานิคคอลลยังมีปริมาณลิกนินอยู่เกือบทั้งหมด แต่จะถูกแยกเอาสารแทรกและเฮมิเซลลูโลสโมเลกุลสั้นๆ ออกไปบางส่วน

เยื่อไม้ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีเคมีคอลลที่ให้ผลผลิตสูง ต้องใช้เครื่องจักรบดพอประมาณ เรียกว่าเยื่อผลผลิตสูง (High-yield Pulp) โดยเฉพาะเยื่อไม้ที่ต้มโดยวิธีซัลไฟต์หรือวิธีซัลเฟต

กรรมวิธีเคมีเมคคานิคคอลล ใช้สารเคมีที่เจือจางกว่าและการบดชิ้นไม้ใช้สภาวะที่รุนแรงมากกว่าทั้ง 2 วิธีเปลี่ยนไม้มาเป็นเยื่อโดยที่เส้นใยแตกหรือหักเพียงเล็กน้อย ถ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์เยื่อที่ผลิตได้จะคล้ายเยื่อเคมีมากกว่าเยื่อบด ไม้ที่ใช้สามารถนำไม้เนื้อแข็ง ราคา

ถูกและมืออยู่มากเป็นวัตถุดิบในการผลิต เยื่อไม้ที่ได้ให้ผลผลิตสูงเหมาะสำหรับทำกระดาษ มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์เด่นๆ แบ่งย่อยได้อีกดังนี้

- นิวทรัลซัลไฟต์เซมิเคมีคอล (Neutral sulfite semi-chemical pulping) (NSSC) การผลิตโดยนำไม้มาสับเป็นชิ้น และต้มด้วยสารละลายของโซเดียมซัลไฟต์ ($\text{Na}_2 \text{SO}_3$) ผสมกับด่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$) โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ชิ้นไม้ที่ต้มแล้วถูกนำมาบดด้วยจานบดให้เป็นเยื่อ แล้วนำมาล้างเพื่อผลิตเป็นกระดาษ
- แอซิดซัลไฟต์เซมิเคมีคอล (Acid sulfite semi-chemical pulping) สารเคมีที่ใช้ต้มเยื่อใช้สารละลายซัลไฟต์ที่มีด่างแคลเซียม (Ca-base sulfite liquor) และไม้ที่ใช้ผลิตเป็นพวกสนเมืองหนาว
- ไบซัลไฟต์เซมิเคมีคอล (Bisulfite semi-chemical pulping) สารเคมีที่ใช้ต้มเยื่อ ใช้สารไบซัลไฟต์ไดออกไซด์ (SO_2) ในปริมาณที่พอเหมาะใช้แทนแคลเซียมเบสแอซิดซัลไฟต์ (Ca-base acid sulfite liquor) เพื่อเตรียมเยื่อซัลไฟต์ผลผลิตสูง (high yield sulfite pulp)

เนื่องจากแคลเซียมไบซัลไฟต์ (Calcium bisulfite) ไม่ละลาย การเตรียมน้ำยาต้องละลายในด่างพวกโซเดียม (Na) และแมกนีเซียม (Mg) หรือแอมโมเนีย (Ammonia) ร่วมด้วย แต่คุณภาพของเยื่อที่ได้ไม่เท่ากับเยื่อที่ผลิตจากสภาวะไร้ด่าง (Nongaseous bases) ทำให้คุณสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณสารเคมีที่ใช้ และระดับการต้มเยื่อ (Degree of cooking) อย่างเช่น เยื่อที่ผลิตจากไม้สนเมืองหนาวเพื่อผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ ถ้าต้มโดยใช้น้ำยาเคมีไบซัลไฟต์ (Bisulfite liquor) จะได้เยื่อที่ขาวกว่าและแข็งแรงกว่าเยื่อที่ต้มโดยใช้น้ำยาเคมีที่เป็นกรด (Acid liquor)

การต้มเยื่อโดยกรรมวิธีไบซัลไฟต์ (Bisulfite) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเยื่อไม้และกระดาษเร็วมาก เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายอย่างเช่น น้ำยาสำหรับต้มเยื่อเตรียมได้ง่าย และเก็บง่ายไม่ต้องเก็บในภาชนะภายใต้ความดัน (Pressure vessels) และน้ำยาที่ใช้ต้มแล้วมีวิธีนำกลับคืนมาใช้ใหม่ได้อีก (Recovery) ได้หลายวิธี

- คราฟท์เซมิเคมีคอล (Kraft semi-chemical pulping) เป็นการใช้กรรมวิธีต้มเยื่อโดยใช้วิธีคราฟท์ แต่ลดปริมาณสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้ในการ

ต้มเยื่อลง เพื่อให้ได้ผลผลิตของเยื่อสูง และนำชิ้นไม้ที่ต้มแล้วมาบด ขณะที่ยังร้อนโดยไม่ต้องล้างน้ำยาที่ต้มออก เพื่อช่วยลดพลังงานที่ใช้บด นำเยื่อที่ได้มาร้อนและล้างก่อนแล้วนำมาบดอีกครั้ง

ปริมาณที่ผลิตได้จากไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ให้ผลผลิต 56-65% แล้วนำมาบดด้วยเครื่องจักร เยื่อที่ได้เหมาะสำหรับผลิตกระดาษลูกฟูกสำหรับทำผิวกล่อง (Line board) ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ให้ผลผลิต 60-70% แล้วนำมาทำเช่นเดียวกับไม้เนื้ออ่อน แต่เยื่อที่ได้เหมาะสำหรับผลิตกระดาษลูกฟูกสำหรับทำตัวกล่อง (Corrugating board)

ความแข็งแรงของเยื่อที่ผลิตได้จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลผลิตเพิ่มขึ้น และถ้าผลิตเยื่อให้ได้ปริมาณมาก ความแข็งแรงของเยื่อจะต่ำกว่านิวตรอลซัลไฟต์เคมีคอลล (NSSC) ยกเว้นค่าความต้านทานแรงฉีกขาด ถ้าต้องการให้เยื่อที่ผลิตได้มีค่าความแข็งแรงของเยื่อเท่ากับนิวตรอลซัลไฟต์เคมีคอลลต้องต้มให้ได้ผลผลิตน้อยลง เนื่องจากถ้าต้มให้ได้ผลผลิตมาก น้ำยาที่ใช้ต้มจะไปละลายเอาเฮมิเซลลูโลสออกมามากกว่าลิกนิน ทำให้ความแข็งแรงของเยื่อต่ำลง

1.3 กรรมวิธีใช้เครื่องจักรบดไม้ (Mechanical Process) เมื่อการผลิตเยื่อไม้ถูกพัฒนาขึ้นมาประมาณ ปี ค.ศ. 1843 โดยใช้วิธีบดไม้ขณะเปียก (Wet grinding) โดยใช้หินบด (Grindstone) ขนาดใหญ่ วิธีการโดยเขวอนท่อนซุงส่งเข้าไปโดยใช้ความดัน (Pressure) และให้ความยาวของท่อนซุงขนานกับแกนของหินบดเพราะจะทำให้เส้นใย (Fiber) ในไม้ให้ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่หมุนของหินบด กรรมวิธีนี้จะทำให้ได้เส้นใยที่ยาว และในระหว่างการบดจะพ่นไอน้ำเข้าไปด้วย เพื่อล้างเยื่อออกมา และลดความร้อนที่เกิดขึ้นขณะบด แรงเสียดทานระหว่างท่อนซุงกับหินบดจะฉีกเส้นใยออกจากท่อนซุง และอยู่ในร่องของหินบดถูกบดเป็นเยื่อเรียกว่า เยื่อบด (Ground wood pulp) ซึ่งจะแตกต่างจากเยื่อเคมี (Chemical pulp) โดยลิกนินยังไม่ถูกแยกออก และเส้นใยที่ได้จะหยابและหักบ้างบางส่วน แต่ให้ผลผลิตสูงประมาณ 90-95% เรียกกรรมวิธีที่กล่าวมานี้ว่า กรรมวิธีใช้หินบด (Stone ground wood process) นอกจากนี้ยังมีอีกหลายวิธี

คณะทำงานศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารและวิธีการก่อสร้างในโครงการพัฒนาเคหะชนบท (2546 : 54-57) ได้ทำการศึกษาการผลิตเส้นใยเซลลูโลสจากพืช โดยการแยกเอาส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เส้นใยเซลลูโลสออก เพื่อให้เหลือเฉพาะเส้นใย (Fiber) ความบริสุทธิ์ของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต สามารถแบ่งวิธีการผลิตหลักๆ ได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 วิธีกำจัดส่วนประกอบอื่นๆ หรือสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่เซลลูโลสออก โดยอาศัยคุณสมบัติพิเศษของเซลลูโลสจากคุณสมบัติข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อมาประยุกต์ใช้เป็นกระบวนการผลิตโดยใช้กรรมวิธีการผลิตดังนี้

- กรรมวิธีทางธรรมชาติ (Natural Process)
- กรรมวิธีทางกล (Mechanical Process)
- กรรมวิธีทางเคมี (Chemical Process)
- กรรมวิธีทางความร้อน (Thermal Process)

วิธีที่ 2 วิธีใช้สารเคมี โดยการละลายเซลลูโลสออกจากส่วนประกอบอื่นๆ ของพืชแล้วคืนรูปในลักษณะเส้นใย วิธีการนี้ใช้มากในการผลิตเส้นใยสำหรับอุตสาหกรรมทอผ้า

ในส่วนของกระบวนการผลิตเส้นใยเซลลูโลส การเลือกใช้กระบวนการผลิตเป็นไปตามความมุ่งหวังของการใช้วัสดุซึ่งต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม การศึกษาจึงเลือกจากวิธีที่ 1 ที่สามารถนำมาจัดเป็นกระบวนการผลิตได้หลายกระบวนการผลิต ซึ่งในแต่ละกระบวนการผลิตยังมีตัวแปรต่างๆ ที่ยังต้องทำการวิจัยในรายละเอียดอีกมาก เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามวัตถุประสงค์ของแต่ละกระบวนการผลิต โดยมีกระบวนการผลิตดังนี้

กระบวนการผลิตที่ 1 มีขั้นตอนการผลิต คือ

- การใช้วิธีทางกลมาใช้โดยการบดวัสดุ
- การใช้วิธีทางเคมี โดยการนำวัสดุมาแช่ในโซดาไฟ (ต่าง)
- ล้างด้วยน้ำ กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 100
- การใช้วิธีทางความร้อน ต้มด้วยโซดาไฟ
- ล้างด้วยน้ำ กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 100

ในกระบวนการผลิตที่ 1 จะได้เส้นใยเซลลูโลสที่มีส่วนประกอบอื่นๆ น้อยที่สุด ใช้เวลาผลิตน้อยที่สุด ต้นทุนที่สูงคือ การใช้โซดาไฟ นอกจากนี้กระบวนการผลิตยังมีการปล่อยของเสียคือ สารเคมีออกมา

กระบวนการผลิตที่ 2 มีขั้นตอนการผลิตเหมือนกระบวนการผลิตที่ 1 แต่จะลดต้นทุนจากการใช้โซดาไฟลง 50% จากผลการทดลองได้ผลไม่แตกต่างกัน คือ

- การใช้วิธีทางกลมาใช้โดยการบดวัสดุ
- การใช้วิธีทางเคมี โดยการนำวัสดุมาแช่ในโซดาไฟ (ต่าง)

- การใช้วิธีทางความร้อน โดยนำวัสดุที่แช่ในโซดาไฟมาต้ม
- ล้างด้วยน้ำ กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 100

กระบวนการผลิตที่ 3 มีขั้นตอนการผลิต คือ

- การใช้วิธีทางกลมาใช้โดยการบดวัสดุ
- การใช้วิธีทางธรรมชาติ การปล่อยให้เน่าเปื่อยโดยกองทิ้งไว้ และพรมน้ำ
- การใช้วิธีทางความร้อน โดยการต้มด้วยน้ำ
- ล้างด้วยน้ำ กรองด้วยตะแกรงเบอร์ 100
- ตากแดดจนแห้ง แล้วนำไปตีเอาส่วนอื่นๆ ออก

ในกระบวนการผลิตที่ 3 มีต้นทุนต่ำสุดแต่ใช้เวลามาก ในส่วนของคุณภาพเส้นใยอาจมีส่วนประกอบอื่นๆ นอกจากเส้นใยเซลลูโลสปนอยู่มากกว่ากระบวนการผลิตที่ 1 และ 2

แผ่นซีเมนต์เส้นใยในประเทศไทย

ในประเทศไทยการผลิตแผ่นไม้อัดซีเมนต์เริ่มต้นมีประมาณปี พ.ศ.2499 เริ่มต้นโดยการผลิตแผ่นฝอยไม้อัดซีเมนต์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2529 เริ่มต้นการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ และเมื่อปี พ.ศ. 2543 ได้เริ่มต้นการผลิตแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ขึ้น โดยใช้เยื่อกระดาษประมาณ 10% และได้ผสมเส้นใยหินด้วยเล็กน้อย กับปูนซีเมนต์ 90%

1. ประเภทของแผ่นไม้อัดซีเมนต์

แผ่นไม้อัดซีเมนต์สามารถแบ่งตามลักษณะของไม้ที่นำมาเป็นตัวเสริมแรงของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ วัสดุนี้เป็นการประสานข้อดีของส่วนผสมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้วัสดุใหม่ที่มีคุณสมบัติดีขึ้น มีการจำแนกแผ่นวัสดุดังนี้

1.1 แผ่นฝอยไม้อัดซีเมนต์ (Wood-wool Cement Board) วัสดุดิบไม้ที่ใช้ คือ ไม้ผสมผง สามารถนำไปใช้ในวงกรก่อสร้างได้หลายลักษณะ คือ ทำฝ้าเพดานทั้งภายในและภายนอกอาคารในที่อับชื้นหรือห้องเย็น ทำผนังห้องประชุม ห้องใต้ดินเพื่อเป็นวัสดุเก็บเสียงกันสะท้อน ผนังต่างๆ ไป เช่น ผนังภายใน ภายนอกอาคารและผนังห้องน้ำ สามารถตกแต่งผิวด้วยการฉาบปูน ติดกระเบื้องได้

1.2 แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ (Cement bonded Particleboard) วัสดุดิบไม้ที่ใช้ คือ ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส เป็นแผ่นวัสดุที่ได้นำคุณสมบัติพิเศษของไม้และซีเมนต์มาใช้ร่วมกันได้อย่างชัดเจนจะเห็นได้จากสามารถนำมาเลื่อย ตัด เจาะ เชาะร่อง ทำลึ้น บังใบ มนขอบได้เช่นเดียวกับไม้จริง ตกแต่งผิวด้วยการทาสี ทาน้ำมันวาร์นิชแลคเกอร์ ติดวอลล์เปเปอร์ แผ่นพีวีซีหรือแผ่นไม้บางๆ ได้มีการพัฒนาจนสามารถพับ (Folding) โดยการตัดเชาะร่องขอบแผ่น

ขึ้นไม้อัดซีเมนต์แล้วพบเข้ามุมฉากใช้กาวยพิเศษจับยึดรอยต่อเป็นรูปเหลี่ยมต่างๆ เช่น รูปตัว C L U เป็นต้น และยังพัฒนาให้เป็นโครงเคร่าในงานก่อสร้าง เช่น เสา ตง รอด คาน เป็นต้น

1.3 แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ (Cement bonded Fiberboard) ได้มีการพัฒนาแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ขึ้นมาใช้เป็นเวลานานแล้ว แต่เนื่องจากช่วงแรกๆ ไม่ได้มีการพัฒนา เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเตรียมเส้นใยจากพืชและผลิตแผ่น จึงทำให้ไม่ได้รับความนิยม แต่ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทันสมัยมากขึ้น จึงได้มีการทำแผ่นหลังคา แผ่นซีเมนต์ใยไม้ เพื่อทดแทนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหินที่เป็นมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จนทำให้สามารถพัฒนาวัสดุแผ่นซีเมนต์เส้นใยออกสู่ตลาด อย่างเช่น SHERA flexy board, Eterpan , Smart Board

2. วัตถุดิบที่ใช้ผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

การผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชมีส่วนประกอบในการผลิตหลักๆ อยู่ 4 ส่วน คือ ปูนซีเมนต์ เส้นใยเซลลูโลส สารปรับปรุงคุณภาพ และน้ำ ในที่นี้น้ำที่ใช้เป็นน้ำประปาจะไม่กล่าวถึงรายละเอียด โดยจะอธิบายเฉพาะ 3 ส่วนแรกดังนี้

2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์⁹

ขบวนการผลิตปูนซีเมนต์เกิดจากการเผาวัตถุดิบได้แก่ สารอ็อกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก และสารอื่นๆ สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีรวมตัวกันเป็นสารประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ 4 ชนิดคือ

2.1.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate, $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ or C_3S) เป็นสารประกอบที่ให้ความแข็งแรงสูง ให้ความร้อนสูงจากการทำปฏิกิริยากับน้ำ

2.1.2 ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ or C_2S) เป็นสารประกอบที่ให้ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ในระยะแรกสูง และจะให้กำลังค่อยๆ สูงขึ้นภายหลัง และให้ความร้อนต่ำเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

2.1.3 ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium aluminate, $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ or C_3A) เป็นสารประกอบที่ให้กำลังคอนกรีตในระยะแรกเพียงเล็กน้อย และเป็นตัวทำให้ซีเมนต์มอร์ต้าลั้นมี Plasticity สูง แต่ซีเมนต์ที่มีสารประกอบ C_3A มากจะไม่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตในดินหรือน้ำได้ นอกจากนั้นยังทำให้การก่อตัวแข็งของปูนมอร์ต้าเร็วขึ้น

⁹ไพฑูรย์ ประสมศรี, วัสดุศาสตร์, (2542), 193.

2.1.4 เทตะคัลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium aluminoferrite, $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_3\text{O}_4$ or C_4AF) เป็นสารประกอบที่ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีดำ สารละลายของคัลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ช่วยในเรื่องความอยู่ตัว (Soundness) เพิ่มความคงทนถาวรให้กับงานคอนกรีต โดยเฉพาะงานโครงสร้างในน้ำ และมีคุณสมบัติช่วยป้องกันปฏิกิริยาทางเคมีจากสิ่งที่มีผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีต

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการตัดสินใจเลือกใช้ปูนซีเมนต์

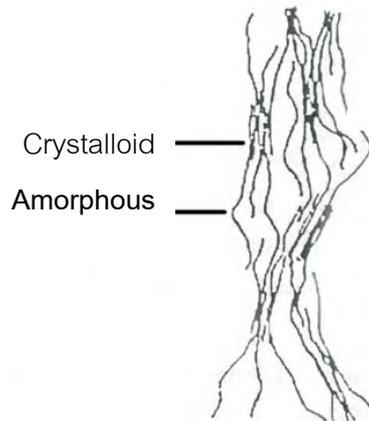
- ชนิดหรือประเภทของปูนซีเมนต์ แต่ละตราเครื่องหมายการค้าของแต่ละบริษัทผู้ผลิตจะมีความแตกต่างกันแต่อาจเทียบเท่ากับตราอื่นของบริษัทอื่นๆ
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละประเภทและซีเมนต์ผสม จะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานแตกต่างกัน แต่ละชนิด ประเภท จะมีคุณสมบัติพื้นฐานต่องานไม่เหมือนกัน
- การออกแบบส่วนผสมและอัตราการใช้ปูนซีเมนต์ และการเลือกใช้วัสดุมวลผสมอื่นๆ จะมีผลโดยตรงต่อจำนวนการใช้ปูนซีเมนต์และคุณภาพของคอนกรีตโดยรวม
- ขบวนการต่างๆ ในงานคอนกรีต เช่น วิธีการผสม การลำเลียง การเท การทำให้แน่น การบ่ม การทำแบบ และการถอดแบบ หรือการควบคุมอุณหภูมิล้วนมีผลต่อคุณภาพทั้งสิ้น
- อายุของปูนซีเมนต์ที่มากขึ้น จะทำให้คุณภาพของซีเมนต์นั้นลดลง
- ความเคยชินในการใช้วัสดุและวิธีการทำงาน อาจมีส่วนบั่นทอนทำให้คุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

2.2 เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibers)

วัตถุดิบสำคัญที่จะนำมาแยกหาเส้นใยเซลลูโลส คือ ไม้ หรือวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลักทางอินทรีย์เคมี 3 ชนิดคือ เซลลูโลส(Cellulose) เฮมิเซลลูโลส(Hemicelluloses) และลิกนิน(Lignin) ซึ่งในพืชจะมีสารแทรก อาจเรียกว่า สารยับยั้ง ที่จะเข้าไปยับยั้งขีดขวางการก่อตัว(Setting) ของปูนซีเมนต์หรือการจับยึดกันระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์ ได้แก่ น้ำตาล แป้ง ไขมัน น้ำฟาด ยางน้ำมันไม้ ควิโนน ฟินอล และเฮมิเซลลูโลส เป็นต้น ทำให้ต้องใช้กระบวนการในการแยกหาเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมกับพืชชนิดนั้นๆ ต่อไป

การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตเทคโนโลยี(Concrete Technology) ถือว่าเส้นใยที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เป็นมวล(Aggregate) ชนิดหนึ่ง ความเหมาะสมของมวลขึ้นอยู่กับสมบัติต่างๆ ของมวลสารนั้นๆ ถ้าวัสดุที่นำมาผสมเบาเกินไปวัสดุที่ได้จะมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ แต่ถ้าหนักเกินไปจะแปรรูปได้ยากและวัสดุที่ได้ก็จะมีน้ำหนักหนาแน่นสูงเกินไป ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมคือ 25-30%

เซลลูโลส (Cellulose) ประกอบไปด้วยโมเลกุลของกลูโคสมากมายต่อเชื่อมกันในผนังเซลล์ของพืชเกาะจับตัวกันจนเป็นเส้นใย เซลลูโลสมีส่วนประกอบทางเคมีพวกคาร์โบไฮเดรต มีโมเลกุลใหญ่ประกอบไปด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเดี่ยวที่ได้สูญเสียน้ำไป 1 โมเลกุล มีโครงสร้างทางเคมี คือ $(C_6H_{10}O_5)$ โมเลกุลนี้จะเชื่อมต่อกันหลายๆ โมเลกุลจนเป็นเส้นใยที่ย่อยได้ยากกว่าส่วนอื่นๆ ของพืช เซลลูโลสมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายต่างอ๋อนๆ แต่ละลายในสารละลายกรดและด่างแก่ ในพืชมีเซลลูโลสประมาณร้อยละ 30-50 ของน้ำหนักแห้ง เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชและเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญทางอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตกระดาษและสิ่งทอ



ภาพที่ 11 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลลูโลสในผนังเซลล์ของพืชต่างๆ ไป

ที่มา : Jurasek L.M. and Other (1987 : 131-137)

เซลลูโลส มีโมเลกุลที่จัดเรียงกันเป็นมัดๆ หรือเรียกว่า Fibril ในแต่ละมัดของโมเลกุลเซลลูโลสจะพบว่ามี การจัดเรียงตัวกัน 2 แบบ คือ แบบที่เป็นกระจุกที่อัดกันแน่น (Crystalloid) และแบบที่อยู่รวมกันแบบหลวมๆ (Amorphous) หรือเรียกว่า Fringe micelle แสดง

ในภาพที่ 11 แบบที่เป็นกระจกจะถูกย่อยสลายได้ยากกว่าเซลลูโลสทั่วไป ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้สารเคมีที่จะทำการย่อยสลายพืช หรือไม้ เพื่อให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์และปริมาณเส้นใยที่ได้หลังการผลิต

พืชชนิดต่างๆ จะมีปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักของพืช คือ ชนิด สายพันธุ์ อายุ ส่วนประกอบของพืช(จาก ลำต้น ใบ) และสถานะของพื้นที่ทำการเพาะปลูก องค์ประกอบหลักของพืชทั้ง 3 ส่วนนี้จะจับตัวกันค่อนข้างแน่นโดยลักษณะการเรียงตัวของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสจะถูกห่อหุ้มด้วยลิกนิน ทำให้การย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเกิดขึ้นได้ช้าและได้ในปริมาณน้อย

ในส่วนของวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วยที่นำมาผลิตเป็นเส้นใยในการเสริมแรงให้กับปูนซีเมนต์ เป็นพืชที่มีการเพาะปลูกมากและเป็นพืชที่ให้เส้นใยมาก(ดูจากตารางที่ 2) และมีอยู่จำนวนมากมายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว เส้นใยบางอย่างอาจถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เช่น ฟางข้าวนำมาเป็นอาหารสัตว์ เปลือกข้าวโพดนำมาทำตุ๊กตาประดิษฐ์ และต้นกล้วยนำมาทำกระดาษ แต่การนำวัสดุเหล่านี้มาปรับปรุงให้ได้เส้นใยเซลลูโลสเพื่อนำมาเป็นส่วนเสริมแรงให้กับวัสดุผสม(Composite Materials) ทำให้ได้วัสดุใหม่เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้และช่วยลดปริมาณการใช้เส้นใยสังเคราะห์ให้น้อยลง โดยมีรายละเอียดของวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรดังนี้

ฟางข้าว (Rice Straw) เป็นส่วนเหลือใช้จากการปลูกข้าว (ดูภาพที่ 12) ซึ่งในประเทศไทยข้าวมีปริมาณผลผลิตอยู่ในระดับต้นๆ ของผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ(ดูตารางที่ 2) ความสูงของต้นข้าวขึ้นอยู่กับพันธุ์และสิ่งแวดล้อม โดยเฉลี่ยข้าวพันธุ์พื้นเมืองของประเทศจะมีความสูงอยู่ในช่วง 120-160 เซนติเมตร มีปริมาณเยื่อใย(crude fiber) ร้อยละ 38.13 จากน้ำหนักแห้ง (ดูตารางที่ 3) จากลักษณะของลำต้นข้าวทำให้ฟางข้าวมีอัตราการย่อยสลายต่ำ ลักษณะเส้นใยของฟางข้าวมีความยาวประมาณ 0.7-3.5 มิลลิเมตร (เฉลี่ยประมาณ 1.5 มิลลิเมตร) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-15 ไมโครเมตร(เฉลี่ย 9 ไมโครเมตร) และเมื่อเปรียบเทียบขนาดของเส้นใยฟางข้าวพบว่าจะมีเส้นใยสั้นกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น



ภาพที่ 12 แสดงฟางข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ

เปลือกข้าวโพด (Corn Peel) เป็นส่วนเหลือใช้จากการเก็บฝักข้าวโพดแล้ว (ดูภาพที่ 13) ประเทศไทยในระหว่าง พ.ศ. 2531-2535 การผลิตข้าวโพดของไทยมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพอากาศมีความแห้งแล้งมากทำให้เกษตรกรหันไปปลูกพืชชนิดอื่นที่ทนความแห้งแล้งได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามแม้ว่าพื้นที่การผลิตจะลดลงแต่ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่กลับมีแนวโน้มสูงขึ้น จาก 400 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 435 กิโลกรัมต่อไร่ อันเนื่องมาจากการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้พันธุ์ดี และมีการจัดระบบการเกษตรกรรมที่ดีขึ้น ปัจจุบันผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เฉลี่ย 507 กิโลกรัมต่อไร่ พื้นที่เพาะปลูกมีอยู่ทั่วประเทศยกเว้นภาคใต้ เปลือกข้าวโพดมีปริมาณเยื่อใย (crude fiber) ร้อยละ 36.25 จากน้ำหนักแห้ง (ดูตารางที่ 3)



ภาพที่ 13 แสดงเปลือกข้าวโพดที่นำมาใช้

ต้นกล้วย (Banana Plant) เป็นพืชที่มีการปลูกแพร่หลายอยู่ในทุกภาคของประเทศไทย ต้นกล้วยส่วนที่โผล่พ้นจากดินนั้นในทางวิชาการถือว่าเป็นลำต้นเทียม (Pseudo stem) เกิดจากก้านใบจำนวนมากอัดกันแน่นเป็นชั้นๆ ชั้นนอกสุดมีความแข็งแรงและเหนียวมากกว่าก้านใบด้านใน (ดูภาพที่ 14) ความสูงของต้นกล้วยเมื่อโตเต็มที่อยู่ระหว่าง 3-5 เมตร ลำต้นกล้วยต้นโตๆ อาจจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 30 เซนติเมตร ลำต้นกล้วยส่วนกลางมีปริมาณเยื่อใย (crude fiber) ร้อยละ 24.10 จากน้ำหนักแห้ง และลำต้นกล้วยส่วนปลายมีปริมาณเยื่อใย (crude fiber) ร้อยละ 25 จากน้ำหนักแห้ง (ดูตารางที่ 3)



ส่วนที่นำมาใช้

ภาพที่ 14 แสดงต้นกล้วยที่นำมาใช้

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณผลผลิตของข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และกล้วย เป็นรายภาค

ภาค	ผลผลิต (ตัน)		
	ข้าว* (พ.ศ. 2549)	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์* (พ.ศ. 2549)	กล้วย** (พ.ศ. 2546)
เหนือ	6,455,397	2,330,756	470,806
ตะวันออกเฉียงเหนือ	10,292,959	688,414	479,285
กลาง	5,291,414	677,172	481,646
ใต้	799,925	-	175,848
รวมทั้งหมด	22,839,695	3,696,341	1,607,585

ที่มา : * สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

** กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบของวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร

ส่วนประกอบทางเคมี (% คัดจากน้ำหนักแห้ง)	ฟางข้าว*	เปลือก ข้าวโพด**	ต้นกล้วย***			
			โคน	กลาง	ปลาย	รวม
วัตถุแห้ง(dry matter)	90.00	28.00	3.9	4.3	4.8	4.9
โปรตีน(crude protein)	2.76	6.53	4.4	3.7	3.6	4.1
ไขมัน(ether extract)	2.00	1.01	0.5	0.5	0.6	0.4
เยื่อใย(crude fiber)	38.13	36.25	21.7	24.1	25.0	23.9
เถ้า(Ash)	14.54	-	31.3	30.8	24.2	31.4
ลิกนิน	-	-	4.1	4.2	4.11	4.51

ที่มา : * www.dld.go.th/nutrition/exhibision/feed_stuff/hay.htm

** www.dld.go.th/nutrition/nutrition_Knowlage/ARTICLE/ArtileQ.htm

*** www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowlage/ARTICLE/ArtileF.htm

2.3 สารปรับปรุงคุณภาพ (Additives)¹⁰

เป็นสารที่มีผลต่ออัตราเร็วการก่อตัวของซีเมนต์ ได้แก่ สารเร่งพวกเกลือต่างๆ เช่น แคลเซียมคลอไรด์(Calcium chloride, CaCl₂) แมกนีเซียมคลอไรด์(Magnesium chloride, MnCl₂) เฟอร์รัสคลอไรด์(Ferrous chloride, FeCl₂) เฟอริกคลอไรด์(Ferric chloride, FeCl₃) อลูมิเนียมซัลเฟต(Aluminum sulfate, Al₂(SO₄)₃) และไอรอนคลอไรด์(Iron chloride) เป็นต้น สารเร่งเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเร่งการก่อตัวของซีเมนต์ มีผลบ้างในการขัดขวางยับยั้ง ในยุโรปสารเร่งที่นิยมใช้ คือ แคลเซียมคลอไรด์ เนื่องจากมีราคาถูกและไม่มีสีในแผ่นไม้อัดซีเมนต์ แม้ว่าไอรอนคลอไรด์จะมีคุณภาพดีกว่า ส่วนในอเมริกานิยมใช้โซเดียมอลูมิเนียมซัลเฟต(Sodium Aluminum sulfate, Na₂Al₂(SO₄)₃)

การศึกษาสารเร่งโดยการวัดอุณหภูมิจากการทำปฏิกิริยากับน้ำ ปรากฏว่าเฟอริกคลอไรด์ให้ความร้อนสูงสุด ส่วนแคลเซียมคลอไรด์เป็นสารเร่งที่ดีในการแข็งตัว

¹⁰ สมชัย เบญจขย, “ผลกระทบของลักษณะขึ้นไม้ การปรับสภาพไม้และอัตราส่วนของไม้ต่อซีเมนต์ต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์” (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วนศาสตร์) สาขาวนศาสตร์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535), 14-19.

(Hardening) ของส่วนผสมไม้กับซีเมนต์ ได้มีการทดลองใช้แคลเซียมคลอไรด์ แอมโมเนียมคลอไรด์ อลูมิเนียมซัลเฟต ฟอรัมาลินแคลเซียมคลอไรด์ 1% และ 3% ปรากฏว่าค่าแรงดัดสูงสุดใน แอมโมเนียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ที่ 1% และ 3% ให้ผลไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าการดูดซึมน้ำและการขยายตัวความหนาหลังแช่น้ำต่ำสุดในฟอรัมาลินแคลเซียมคลอไรด์ ให้ค่าไม่แตกต่างกันในค่าการขยายตัวความหนาหลังแช่น้ำของแคลเซียมคลอไรด์ 3% การศึกษาโดย Kavvouras, P.K.,1987 การใช้สารเร่งต้องใช้ในอัตราส่วนต่อน้ำหนักซีเมนต์ที่เหมาะสม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ 1-3% ถ้าใช้มากกว่า 4% ซีเมนต์จะก่อตัวเร็วเกินไปทำให้ความแข็งแรงของแผ่นไม้อัดซีเมนต์ลดลงได้

3. อัตราส่วนเส้นใยพืชผสมปูนซีเมนต์

การศึกษาการทำแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ในส่วนการหาปริมาณการใช้เส้นใยที่เหมาะสมนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้คุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชตามที่ตั้งไว้ คือ แผ่นมีความแข็งแรงเทียบเท่ากับแผ่นชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาดและสามารถต้านทานความร้อนได้ โดยศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา(ดูตารางที่ 4) ทำให้ได้อัตราส่วนของเส้นใยพืชที่ปริมาณ 30% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และได้ทำการเพิ่มและลดปริมาณส่วนเสริมแรงอย่างละ 10% โดยมีสูตรการผลิต น้ำหนักเส้นใยพืช ต่อ ปูนซีเมนต์ ดังนี้ 1 : 4 (20/80), 1 : 2.33 (30/70), 1 : 1.5 (40/60)

ตารางที่ 4 แสดงการใช้ปริมาณส่วนเสริมแรงที่ให้ผลดี

ผู้ทำวิจัย \ รายการ	สารพื้น	ส่วนเสริมแรง	อัตราส่วนที่ดีที่สุด	ให้ผลดีที่สุดเรื่อง
นายสมชัย เบญจฉาย	ปูนซีเมนต์	แท่งไม้	1:3.25 (31%)*	ให้ค่าที่ดีในทุกสมบัติ ยกเว้น MOR, MOE
		เกล็ดไม้	1:3.25 (31%)*	
		ใยไม้	1:3.25 (31%)*	
นายบุรฉัตร ฉัตรวีระ	ปูนซีเมนต์	เส้นใยผักตบชวา	2%*	ค่า MOR, MOE สูงสุด
นส.ศิริรัตน์ อภัยไธ	Polypropylene และ Polyethylene hard	ผงซีลี้อยไม้ยูคา	30%*	ความหนาแน่นสูง
นายจักริน พรหมจิรสุข	PVC.	ผงซีลี้อยไม้ยูคา	33.3%*	มีสมบัติทางกลที่ดี

* คิดจากน้ำหนักของสารพื้น

4. วิธีการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใย

การทดลองผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีในส่วนของงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาการผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีราคาถูก วิธีการผลิตแผ่นมีความซับซ้อนน้อยที่สุดและราคาไม่แพงจนเกินไป ทำให้ได้กรรมวิธีการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีแบ่งเป็น 2 แบบดังนี้

4.1 การหล่อและอัดแรงธรรมดา คือ การผสมส่วนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยมือ ร่อนส่วนผสมลงในแบบหล่อเหล็ก แล้วกดอัดให้ได้ความหนาที่ต้องการด้วยการขันน็อต ทิ้งไว้ 48 ชั่วโมงจึงถอดแบบออก นำไปบ่มความชื้นอิมตัว 7 วัน บ่มที่อุณหภูมิห้องต่ออีก 21 วัน

4.2 การหล่อและอัดแรงไฮดรอลิก คือ กรรมวิธีการผสมเหมือนการหล่อธรรมดา แต่เมื่อร่อนส่วนผสมลงในแบบหล่อเหล็กที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถรับแรงอัดได้สูงแผ่นที่ได้มีความหนาตามที่ต้องการ แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ล็อกแบบเหล็กด้วยนอตปลดทิ้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงจึงถอดแบบออก นำไปบ่มความชื้นอิมตัว 7 วัน และบ่มในสภาพอุณหภูมิห้องต่ออีก 21 วัน

ส่วนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยในระบบโรงงานอุตสาหกรรม มีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนมากกว่า 2 ระบบแรก โดยมีขั้นตอนอย่างคร่าวๆ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1)ผสมวัตถุดิบ 2)การผลิต และ 3)แปรรูป โดยเริ่มต้นจากการนำวัตถุดิบที่ผ่านการผสมเรียบร้อยแล้วเข้าเครื่องจักรที่เรียกว่า "โรลหมุน" ซึ่งตัวโรลหมุนจะคู่วัตถุดิบที่ผสมกันแล้วเข้าไปพันกับโรล จนได้ความหนาตามที่ต้องการ จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้ ขั้นตอนต่อไปนำไปอบในห้องด้วยความร้อน 40 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นเฉลี่ยใช้เวลา 5-6 วัน นำไปทดสอบมาตรฐานการดูดซึมน้ำอีกครั้ง หลังจากนั้นนำไปเข้าอบ แต่เพิ่มอุณหภูมิเป็น 250-300 องศาเซลเซียส เป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใย

5. คุณสมบัติของแผ่นเส้นใยซีเมนต์¹¹

แผ่นเส้นใยซีเมนต์เป็นวัสดุที่นำคุณสมบัติที่ดีของเส้นใยเซลลูโลสจากพืชกับคุณสมบัติที่ดีของปูนซีเมนต์ มารวมกันเพื่อให้ได้แผ่นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีดังนี้

5.1 ทนทาน แข็งแกร่งและดัดโค้งได้ คือ ผลิตภัณฑ์ต้องแข็งแกร่งสามารถรับแรงกระแทกได้สูง ทนทานกว่าวัสดุแผ่นเรียบอื่นๆ และสามารถดัดโค้งได้ เพื่อตอบสนองงานออกแบบก่อสร้าง

¹¹ บริษัท โอลิมปิกกระเบื้องไทย จำกัด, "คุณสมบัติเด่น" เอกสารแจกผลิตภัณฑ์แผ่นเซลลูโลสไฟเบอร์ซีเมนต์เอนอราเฟล็กซ์บอร์ด, (แผ่นพับ)

5.2 มีความยืดหรือหดตัวต่ำมาก คือ ผลิตภัณฑ์มีความยืดหรือหดตัวต่ำมากเมื่อต้องสัมผัสความชื้น หรือสภาพอากาศที่แตกต่างจึงสามารถใช้ได้ทั้งผนังภายนอกและภายใน

5.3 คุณสมบัติการทนไฟและกันไฟ คือ ผลิตภัณฑ์สามารถป้องกันไฟได้ตามมาตรฐานระดับสากล

5.4 ค่าการนำความร้อนต่ำ คือ ผลิตภัณฑ์มีค่าการนำความร้อนต่ำและใกล้เคียงกับวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนทั่วไป จึงสามารถใช้เป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ดี

5.5 ทนปลวก มอด แมลง คือ ผลิตภัณฑ์ผลิตจากส่วนผสมของซีเมนต์เป็นตัวหลักทำให้ทนต่อแมลงต่างๆ ได้

5.6 รองรับการใช้งานหลากหลายรูปแบบ คือ ผลิตภัณฑ์สามารถทาสี หรือตกแต่งผิวด้วยลามิเนต ปูกระเบื้อง หรือติวอลล์เปเปอร์ได้ง่าย สามารถตัด ตอกตะปูได้ง่าย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมชัย เบญจชัย (2535) ได้ทำการศึกษาแผ่นไม้อัดซีเมนต์ จากไม้ยูคาลิปตัสคามาเลดูเลนซีส โดยศึกษาถึงผลกระทบของขึ้นไม้ที่มีลักษณะดังนี้ แท่งไม้ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดด้านมอดูลัสยืดหยุ่น แรงเกาะยึดภายใน ความหนาแน่นและปริมาณความชื้น เกล็ดไม้ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดด้านมอดูลัสแตกร้าว และยังให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ความหนาแน่น ปริมาณความชื้นและการขยายตัว ความยาวหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงได้ใกล้เคียงกับแท่งไม้ และเยื่อไม้ให้ทุกค่าสมบัติด้อยกว่าแท่งไม้ การปรับสภาพไม้ได้มีการใช้ 3 วิธีคือ ไม่มีการปรับสภาพไม้ ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดด้านมอดูลัสแตกร้าว แรงเกาะยึดภายใน ความหนาแน่น การแช่น้ำร้อน ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดด้านมอดูลัสยืดหยุ่น และการแช่สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ให้ค่าสมบัติที่ด้อยกว่าไม่มีการปรับสภาพและการแช่น้ำร้อน และอัตราส่วนไม้ต่อซีเมนต์มี 3 สูตร คือ สูตร 1 : 3.25(31%) ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดด้านแรงเกาะยึดภายในและความหนาแน่น สูตร 1 : 2.75(36%) และ 1 : 2.25(44%) ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดใกล้เคียงกันด้านมอดูลัสแตกร้าว มอดูลัสยืดหยุ่นและปริมาณความชื้น

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และคณะ (2537) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติกลของเส้นใยผักตบชวาและคุณสมบัติทางกลของแผ่นหลังคาเสริมเส้นใย โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของการใช้เส้นใยผักตบชวาร่วมกับน้ำยาลดน้ำพิเศษ (สารเพิ่ม) ผสมกับมอร์ต้าผสมซีเมนต์แก่กลบ ในการลดปริมาณน้ำที่ใช้แต่ยังคงสภาพความสามารถในการเทให้ได้เท่ากับมอร์ต้าไม่ผสมซีเมนต์แก่กลบ พบว่าเส้นใยผักตบชวามีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำและดูดซึมน้ำสูงมากทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำผสมมากขึ้น เพื่อทำให้มอร์ต้า

ต่ำอยู่ในสภาพเท่าได้ ส่วนผลิตภัณฑ์แผ่นหลังคาเสริมเส้นใยผสมซีเมนต์ให้ค่าโมดูลัสแตกหัก ค่าโมดูลัสรีซีเลียน(Resilience) และค่าโมดูลัสความเหนียวสูงกว่าผลิตภัณฑ์มอร์ต้าธรรมดา ผลิตภัณฑ์มอร์ต้าเสริมเส้นใยไม่ผสมซีเมนต์ให้ค่าโมดูลัสแตกหักต่ำกว่าผลิตภัณฑ์มอร์ต้าธรรมดาแต่ให้ความเหนียวดีกว่า ส่วนแผ่นหลังคาเสริมเส้นใยผสมซีเมนต์ให้ค่าความต้านทานการตัดก่อนการแตกหักครั้งแรกดีกว่าแผ่นหลังคาเสริมเส้นใยผักตบชวา แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานการตัดหลังการแตกหักกลับทำให้แผ่นหลังคาเสริมเส้นใยผักตบชวามีค่าสูงกว่าแผ่นหลังคาเสริมเส้นใยธรรมดา แล้วยังพบว่าแผ่นหลังคาเสริมเส้นใยผักตบชวากันน้ำรั่วซึมได้โดยไม่พบการรั่วซึมของน้ำบริเวณผิวกลางของแผ่นหลังคา ในส่วนของปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมคือ 2% โดยน้ำหนักของวัสดุผสมซีเมนต์ให้ค่าโมดูลัสแตกหัก ค่าโมดูลัสรีซีเลียน(Resilience) และค่าโมดูลัสความเหนียวสูงสุด

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และพิชัย นิमितยงสกุล (2538) ได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางเคมี และการใช้ซีเมนต์ให้ค่าโมดูลัสแตกหักเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีผลต่อความคงทนของผลิตภัณฑ์ โดยสารเคมีที่ใช้ปรับปรุงเส้นใยแต่ละอย่างจะถูกนำมาใช้โดยมีค่าความเข้มข้นต่างๆ กัน และหาช่วงเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใยดังกล่าวเวลาที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารเคมี คือ สบู่และสารส้ม ให้ผลดีและราคาถูกวิธีการทำ คือ นำเส้นใยแช่ในน้ำสบู่ที่ทำจากน้ำมันมะพร้าวมีความเข้มข้น 2% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปแช่ต่อในน้ำที่มีสารส้มละลายด้วยความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นมีความเข้มข้น 0.75% โดยน้ำหนักเส้นใยเป็นเวลา 30 นาที ขบวนการดังกล่าวทำให้เส้นใยป่านศรนารายณ์มีการดูดซึมน้ำและกำลังดึงมากขึ้น ในส่วนของผลจากการใช้ซีเมนต์ให้ค่าโมดูลัสแตกหักสูง รวมทั้งค่าโมดูลัสรีซีเลียน(Resilience) และค่าโมดูลัสความเหนียว เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยที่ถูกปรับปรุงเพียงอย่างเดียวและซีเมนต์ให้ค่าโมดูลัสแตกหักสูงเพียงอย่างเดียว หรือการใช้เส้นใยที่ไม่ได้ถูกปรับปรุงและซีเมนต์ให้ค่าโมดูลัสแตกหักสูง 30% แทนที่ซีเมนต์ 30% โดยน้ำหนัก ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยที่ถูกปรับปรุงเพียงอย่างเดียวหรือ

ซีเมนต์ที่เก็บเพียงอย่างเดียว ค่าโมดูลัสความเหนียวของผลิตภัณฑ์มอร์ต้าเสริมเส้นใยที่ถูกปรับปรุงแล้วและซีเมนต์ที่เก็บจะให้ค่าต่ำกว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในช่วงเวลาแรกกระยะสั้นๆ แต่ในระยะเวลาที่นานขึ้นจะให้ค่าที่สูงขึ้น แสดงว่าการใช้เส้นใยที่ถูกปรับปรุงด้วยเคมีแล้วและใช้ร่วมกับซีเมนต์เป็นวัสดุพอลิเมอร์สามารถปรับปรุงความเหนียวของผลิตภัณฑ์ได้

คณะทำงานศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารฯ (2546) ได้ทำการศึกษาวัดคุณสมบัติแบบอาคารและวิธีการก่อสร้างที่อยู่อาศัย ทำให้พบว่าการผลิตวัสดุก่อสร้างจากเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ ฟางข้าว โดยเริ่มศึกษาจากกระบวนการผลิตเส้นใยจากฟางข้าว ได้เลือกใช้วิธีการคือการบด กรรมวิธีทางเคมี คือ การแช่ในด่าง(โซดาไฟ) และกรรมวิธีการใช้ความร้อนร่วมด้วย เพื่อให้ได้เส้นใยเซลลูโลสที่มีส่วนประกอบอื่นปนอยู่น้อยที่สุด จึงนำมาทดลองผสมกับปูนซีเมนต์ (ตราเสือ) ในสัดส่วนต่างๆ กันระหว่างเส้นใยต่อปูนซีเมนต์ โดยน้ำหนัก ดังนี้ 1:5 1:7 1:8 และ 1:10 ทุกชิ้นตัวอย่างควบคุมปริมาณน้ำที่สัดส่วนน้ำ ต่อ ปูนซีเมนต์(W/C) ประมาณเท่ากับ 1 โดยมีการผลิตชิ้นตัวอย่างเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 ทำการผสมวัสดุเข้าด้วยกันแล้วเทลงในแบบหล่อขนาด 7.5x21x1 เซนติเมตร และแบบแบ่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร เพื่อทดสอบหาความต้านทานแรงดัดและแรงอัด ตามลำดับ วิธีที่ 2 ทำการผสมวัสดุเข้าด้วยกันในสัดส่วน 1:7 1:10 แล้วเทลงในแบบหล่ออัดขึ้นตัวอย่างให้มีความหนาแน่น 1,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แบบหล่อขนาด 7.5x21x1 เซนติเมตร เพื่อทดสอบหาความต้านทานแรงดัด ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนผสม 1:5 สำหรับชิ้นตัวอย่างที่หล่อในแบบหล่อธรรมดา ความต้านทานแรงดัดเท่ากับ 42.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต่ำกว่าความต้านทานแรงอัดซึ่งเท่ากับ 50.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ค่อนข้างสูงแสดงให้เห็นว่าชิ้นตัวอย่างจะหักเพราะแรงดึงที่ฉิว แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนของปูนซีเมนต์ความแตกต่างของความต้านทานแรงดัดและแรงอัดจะค่อยๆ ใกล้เคียงกัน จุดที่ความต้านทานแรงดัดและแรงอัดเท่ากันนี้เป็นสัดส่วนที่ให้ความแข็งแรงสูงสุด เพราะถ้าเพิ่มสัดส่วนของปูนซีเมนต์ค่าความต้านทานแรงดัดจะลดลง ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงอัดจะคงที่ ซึ่งจะอยู่ที่สัดส่วนประมาณ 1:12 โดยจะให้ค่าความต้านทานแรงดัดและแรงอัดเท่ากันที่ประมาณ 74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับทำเป็นฝ้าผนัง แผ่นกระเบื้องหลังคา หรือโครงเคร่าผนัง สำหรับซีเมนต์ใยพืชชนิดอัดแรงสัดส่วน 1:12 จะให้ค่าความต้านทานแรงดัด 95 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำเป็นแผ่นพื้นเพื่อใช้แทนพื้นไม้ได้

Moslemi และ Pfister(1987) ได้ทำการทดลองทำแผ่นเกล็ดไม้อัดซีเมนต์ จากไม้สน ลอดจ์โพล โดยใช้สารปรับปรุงคุณภาพคือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5% ของน้ำหนักซีเมนต์ โดยการ ใช้มือผสมแล้วผ่านตะแกรงบนแผ่นรองรับ ทำแผ่นขนาด 20x22x6 นิ้ว อัดครั้งแรกให้ได้ความหนา 2-3 นิ้ว จากนั้นนำไปอัดเย็นที่ 250-700 ปอนด์/นิ้ว² ใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อไม้หลายระดับ คือ 3.0 2.5 2.0 และ 1.5 แผ่นทดลองมีความหนา 0.5 นิ้ว นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาเลื่อยขนาด 14x3 นิ้ว จำนวน 4 ชั้น เก็บบ่ม(Curing) 14 วัน ทดสอบแรงดัด 2 ชั้น ส่วนอีก 2 ชั้น ทดสอบเมื่อครบ 28 วัน เสร็จแล้วเลื่อยแผ่นทดสอบนี้ขนาด 3x3 นิ้ว เพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และขนาด 1x3 นิ้ว เพื่อทดสอบหาความหนาแน่นและปริมาณความชื้น เพื่อทดสอบสมบัติแรงดัดและการดูดซึมน้ำหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ปรากฏว่าเมื่ออัตราส่วนซีเมนต์ต่อไม้เพิ่มขึ้นค่ามอดูลัสแตกร้าว การขยายตัวความหนา การดูดซึมน้ำจะลดลง แต่มอดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น สำหรับแผ่นที่บ่มนาน 28 วันให้ค่ามอดูลัสแตกร้าว 15.3-17.3 เมกะพาสคัล มอดูลัสยืดหยุ่น 3,482-5,764 เมกะพาสคัล

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

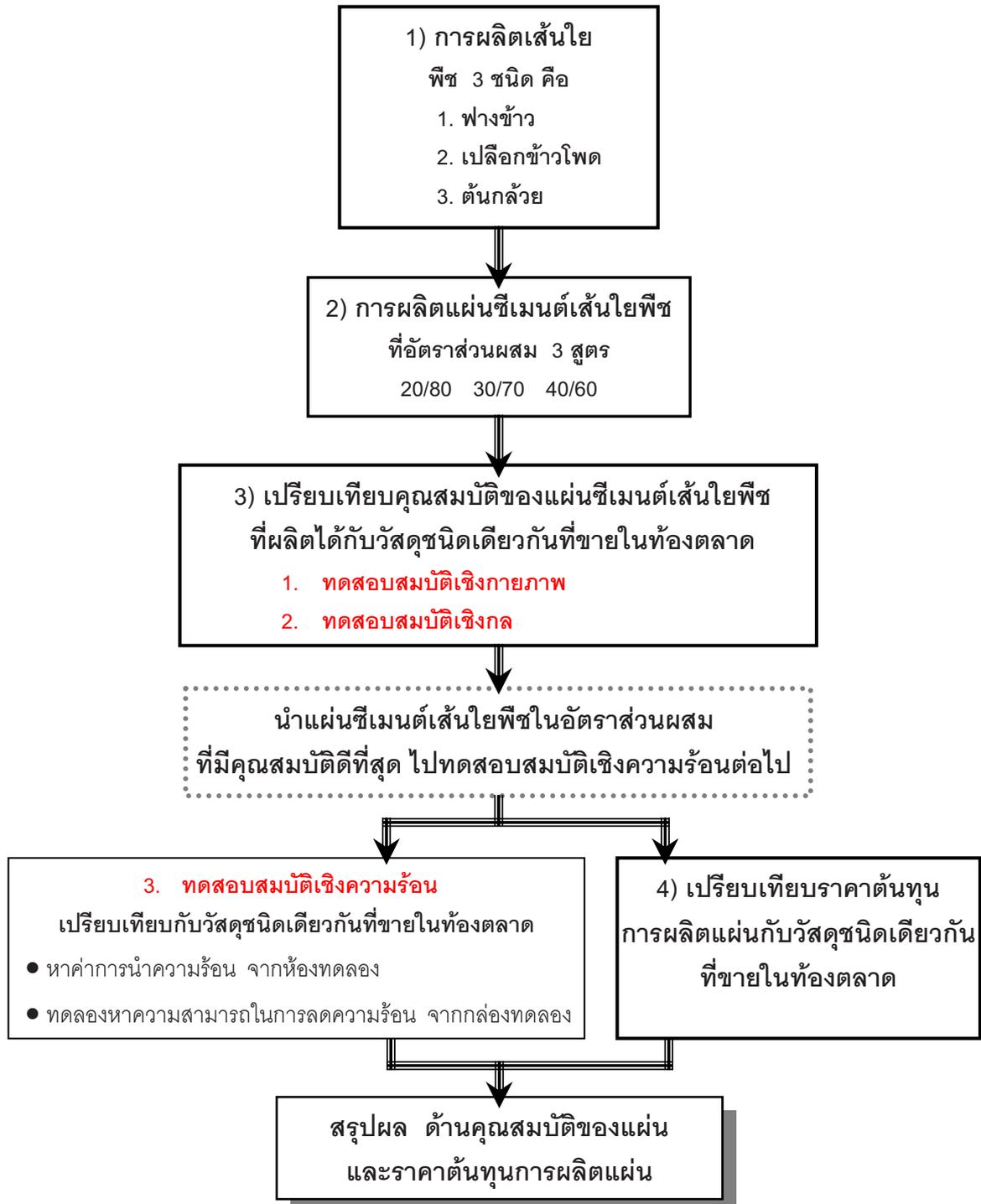
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเส้นใยเซลลูโลสจากพืช ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ชาวบ้านสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น มาก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยเทคโนโลยีง่าย ๆ การศึกษาครอบคลุมพืช 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วย มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใย โดยนำพืชมาแยกส่วนประกอบอื่นๆ ของพืชออกให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลสเพื่อนำมาเป็นตัวเสริมแรงให้กับปูนซีเมนต์ การผลิตวัสดุจะทำการผสมด้วยมือและขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเย็นจนได้วัสดุแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชตามที่ต้องการ จากนั้นนำวัสดุที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงกล เมื่อได้วัสดุที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงความร้อน และเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตวัสดุกับวัสดุชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาดเป็นขั้นตอนสุดท้าย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช เพื่อให้วัสดุมีความแข็งแรงนำไปใช้งานได้จริงและหาค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุ มีการทำงานหลักๆ 4 ขั้นตอน ดังนี้ (ดูภาพที่ 15)

1. การผลิตเส้นใยพืช โดยทำการแยกเส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด คือ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วย
2. การผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช โดยทำการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช จากเส้นใยที่ผลิตได้ผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่ต่างกัน แต่ละอัตราส่วนจะผลิตจำนวน 5 แผ่น โดยนำไปทดสอบสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล จำนวน 3 แผ่น ทดสอบสมบัติเชิงความร้อน จำนวน 1 แผ่น และเป็นแผ่นสำรอง จำนวน 1 แผ่น
3. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ โดยการนำแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties tests) และทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties tests) เพื่อหาแผ่นที่มีอัตราส่วนผสมและชนิดของพืชที่มีคุณสมบัติดีที่สุด โดยการเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ จากนั้นนำแผ่นที่มีคุณสมบัติดีที่สุดไปทดสอบสมบัติเชิงความร้อน (Thermal conductivity properties test) โดยนำไปทดสอบหาค่าการนำความร้อน และหาความสามารถในการลดความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช เปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ

4. เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชกับวัสดุชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ



ภาพที่ 15 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

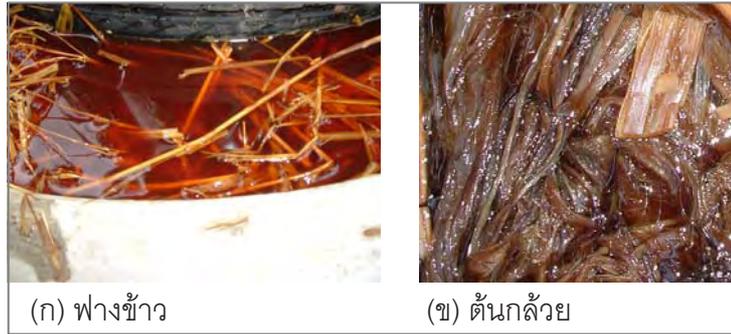
1. การผลิตเส้นใยพืช

จากการศึกษาการผลิตเส้นใยจากพืชในบทที่ 2 จึงเลือกใช้กรรมวิธีกึ่งเคมี (Semi-chemical Process) ที่มีการผลิต 2 ขั้นตอน คือ การแช่สารเคมี และวิธีการอื่นๆ เข้ามาช่วยเพื่อให้สามารถแยกส่วนประกอบอื่นๆ ของพืชที่ไม่ต้องการออกให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด ส่วนด้านความปลอดภัยในการทำงานการเลือกใช้สารเคมีในการผลิตจึงมีหลักการว่าต้องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ใช้ในปริมาณน้อย และมีขั้นตอนในการผลิตไม่ซับซ้อนชาวบ้านในชนบทสามารถทำได้ง่าย จึงได้นำคุณสมบัติพิเศษของเส้นใยเซลลูโลสมาใช้ในการจัดเป็นขั้นตอนในการผลิตเส้นใย ดังนี้

- เส้นใยเซลลูโลสสามารถทนการเนาเปื่อย โดยปล่อยให้ส่วนอื่นๆ ของพืชเนาเปื่อยหรือแช่น้ำให้เปื่อยเร็วขึ้น
- เส้นใยเซลลูโลสสามารถทนต่อต่างหรือกรดอ่อนๆ โดยนำวัสดุมาแช่ในสารเคมี ทำให้การยึดเกาะระหว่างเซลล์อ่อนตัวลง
- เส้นใยเซลลูโลสสามารถทนต่อความร้อน โดยนำวัสดุไปต้มให้ส่วนอื่นๆ ของพืชเปื่อยหลุดออกจากเส้นใยเซลลูโลส
- เส้นใยเซลลูโลสสามารถทนต่อแรงบิด โดยนำวัสดุมาขยี้ เพื่อแยกส่วนอื่นๆ ของพืชออกจากเส้นใย

การทดลองผลิตเส้นใยครั้งที่ 1 เลือกใช้สารเคมีที่มีความเป็นด่างน้อยคือ สารส้ม การทำงานง่ายและค่าใช้จ่ายน้อย โดยนำหลักการผลิตเส้นใยของ บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิमितยงสกุล (2538 : 40-71) มาจัดเป็นขั้นตอนการผลิตเส้นใยใหม่ ไม่ให้ซับซ้อน ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 นำพืชสดทั้ง 3 ชนิดคือ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพดและต้นกล้วย มาย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ
- ขั้นตอนที่ 2 นำพืชไปใส่ภาชนะแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- ขั้นตอนที่ 3 นำไปแช่ในน้ำละลายสารส้มที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักเส้นใย แช่วัสดุในน้ำละลายสารส้มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ดูภาพที่ 16)
- ขั้นตอนที่ 4 นำเส้นใยไปต้มโดยไม่ต้องล้างสารส้มออกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- ขั้นตอนที่ 5 ล้างเส้นใยด้วยน้ำ โดยการขยี้เส้นใยให้หมดสารเคมีจนเส้นใยสะอาด
- ขั้นตอนที่ 6 นำไปตากให้แห้ง (ดูภาพที่ 17)



ภาพที่ 16 ขั้นตอนที่ 3 ฟืชที่แช่ในน้ำละลายสารส้มที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักเส้นใย



ภาพที่ 17 ขั้นตอนที่ 6 ฟืชที่ตากแห้งแล้ว

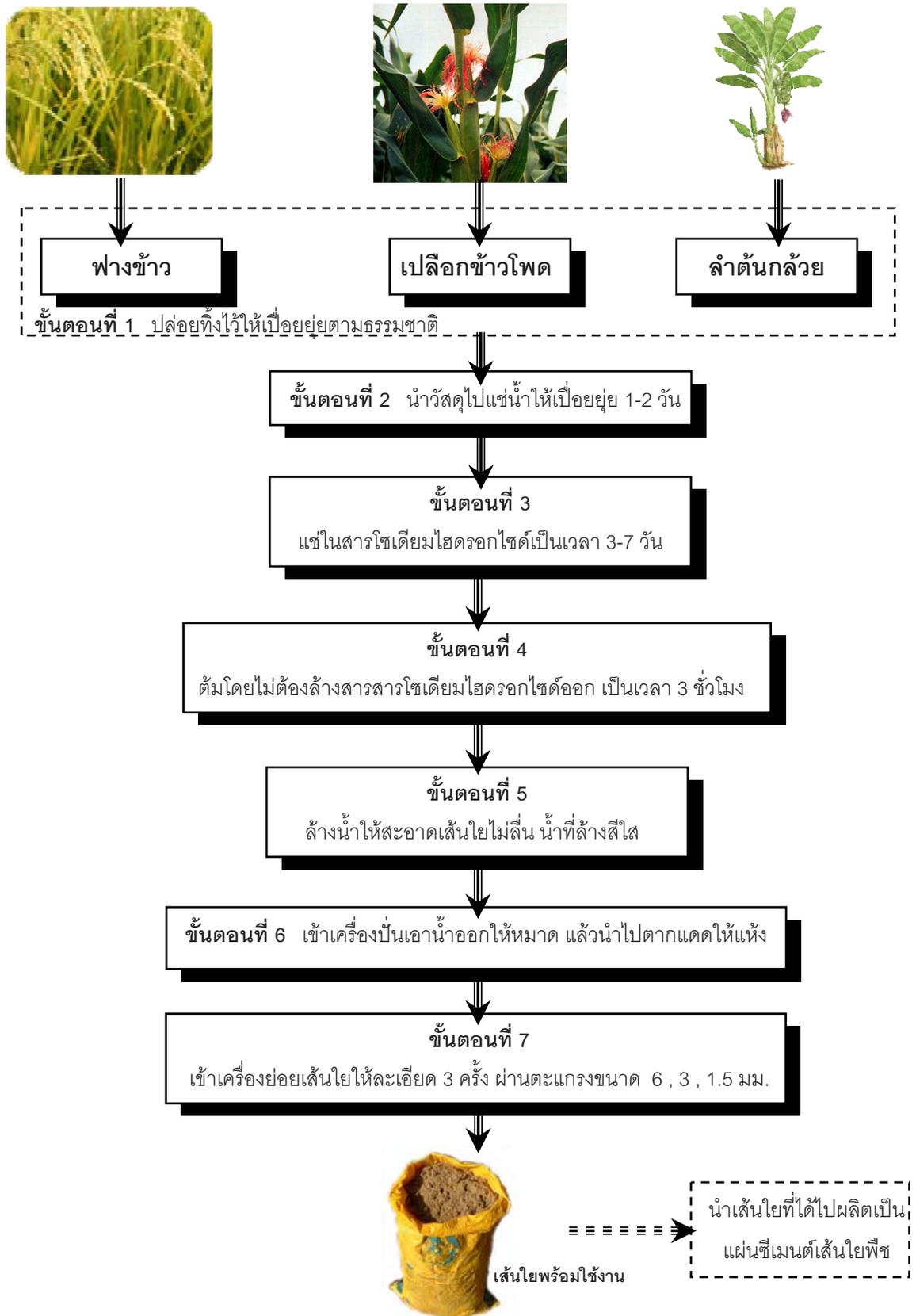
ผลจากการทดลองผลิตเส้นใยครั้งที่ 1 ยังไม่ประสบผลสำเร็จ เนื่องจากพืชทั้ง 3 ชนิด ยังไม่สามารถย่อยสลายส่วนอื่นๆ ออกจนเหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ได้ ทำให้ผู้วิจัยต้อง เปลี่ยนขั้นตอนการผลิตเส้นใยใหม่

การทดลองผลิตเส้นใยครั้งที่ 2 ได้ทำการเปลี่ยนสารเคมีมาเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟความเข้มข้นร้อยละ 99 (ตรานก) โดยนำสูตรการใช้สารเคมีมาผลิตเส้นใย ของ กิตติศักดิ์ บัวศรี (2544 : 84) มาปรับใช้และจัดเป็นขั้นตอนการผลิตเส้นใยใหม่ (ดูภาพที่ 18) เพื่อให้ได้เฉพาะเส้นใยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จากเดิมที่ใช้พืชสด ในการทดลองครั้งนี้ได้เปลี่ยนมาใช้พืชตากแห้งที่ ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติประมาณ 1 เดือน สลัดเอาฝุ่น ดินออก (ดู ภาพที่ 19)

ขั้นตอนที่ 2 เพิ่มเวลาการแช่น้ำเป็นเวลา 2 วัน หรือดูว่าพืชที่แช่มีลักษณะที่นุ่ม เปื่อยยุ่ย(ดูภาพที่ 20) นำขึ้นไปตากให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักเส้นใยแห้ง

- ขั้นตอนที่ 3 เปลี่ยนสารเคมีที่แช่มาเป็นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 99 ส่วนผสม คือสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ : พืชแห้ง คือ 200 กรัม : 40 ลิตร : 4 กิโลกรัมตามลำดับ เป็นเวลา 3-7 วัน ดูว่าพืชที่แช่เปื่อยยุ่ยสามารถขยี้เป็นเส้นใยได้ (ดูภาพที่ 21)
- ขั้นตอนที่ 4 การทำงานในขั้นตอนนี้จะเหมือนกับการผลิตเส้นใยครั้งที่ 1 คือ นำเส้นใยที่ไม่ต้องล้างสารเคมีออกไปต้ม เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ดูภาพที่ 22) แล้วปล่อยให้แห้งไว้ให้เย็น
- ขั้นตอนที่ 5 เช่นเดียวกับการผลิตเส้นใยครั้งที่ 1 โดยล้างน้ำให้สะอาดจนเส้นใยไม่ลื่นและน้ำที่ล้างไม่เป็นสีน้ำตาล ถ้ามีส่วนที่ยังไม่ย่อยสลายให้ใช้การทุบหรือขยี้ (ดูภาพที่ 23)
- ขั้นตอนที่ 6 เพิ่มขั้นตอนการทำเส้นใยให้แห้ง โดยนำเข้าเครื่องปั่นเอาน้ำออกให้เส้นใยหมาด แล้วจึงตากแดดจนแห้ง (ดูภาพที่ 24)
- ขั้นตอนที่ 7 นำเส้นใยที่ได้ไปเข้าเครื่องย่อยเส้นใย 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 6 , 3 , 1.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ดูภาพที่ 25)



ภาพที่ 18 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเส้นใยครั้งที่ 2 โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์



(ก) ต้มโดยไม่ต้องล้างสารเคมี 3 ชั่วโมง

(ข) พักไว้จนเย็น

ภาพที่ 22 ขั้นตอนที่ 4 การต้มเส้นใยโดยไม่ต้องล้างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก



(ก) ทูบหรือขยี้ ถ้ามีส่วนที่ยังไม่ย่อยสลาย

(ข) ล้างจนน้ำใส เส้นใยไม่ร้อน

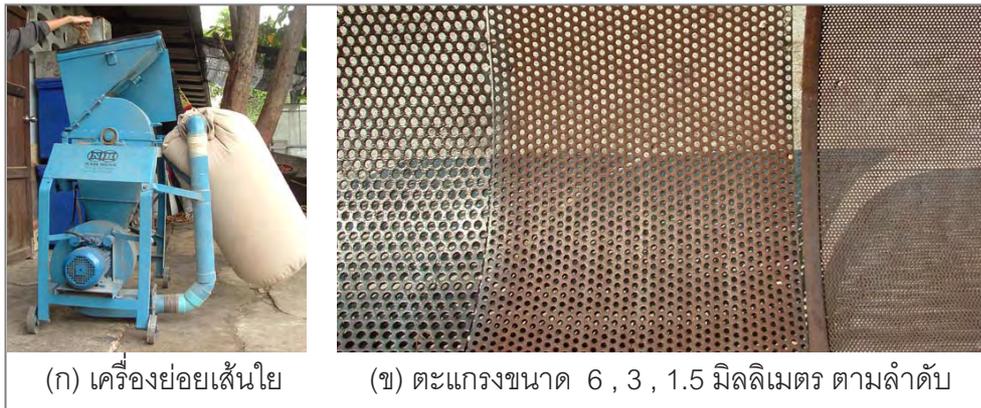
ภาพที่ 23 ขั้นตอนที่ 5 การล้างเส้นใยที่ต้มแล้วด้วยน้ำจนหมดสารเคมี



(ก) ปั่นแห้ง แล้วตากแดดให้แห้ง

(ข) เส้นใยที่แห้งสนิท

ภาพที่ 24 ขั้นตอนที่ 6 การทำเส้นใยที่ทำความสะอาดให้แห้ง



ภาพที่ 25 ขั้นตอนที่ 7 การย่อยเส้นใยด้วยเครื่องย่อย



ภาพที่ 26 เส้นใยที่ผ่านการย่อยแล้ว 3 ครั้ง

จากการทดลองผลิตเส้นใยจากพืชทั้ง 3 ชนิด โดยเปลี่ยนมาใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 99 และเพิ่มเวลาในการแช่ที่มากขึ้นเป็นเวลา 3-7 วัน จึงสามารถผลิตเส้นใยจากต้นกล้วยให้ได้เส้นใยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ได้ แต่ในส่วนของฟางข้าว และเปลือกข้าวโพดยังย่อยสลายไม่ได้ จำเป็นต้องใช้ปริมาณสารเคมี และเวลาในการแช่ให้มากขึ้นอีก (ดูภาพที่ 21) ซึ่งโดยหลักการในงานวิจัยนี้การทำงานต้องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนให้น้อยที่สุด มีขั้นตอนในการผลิตไม่ซับซ้อนชาวบ้านในชนบทสามารถทำได้ง่าย ทำให้พบว่าต้นกล้วยสามารถนำมาใช้ในการผลิตให้ได้เส้นใยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ได้ง่ายและใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุด จึงได้เลือกใช้ต้นกล้วย เพียงอย่างเดียวในการทำงานวิจัยนี้

2. การผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

จากการศึกษาการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชในบทที่ 2 จึงเลือกใช้วิธีการหล่อและอัดแรงไฮดรอลิกด้วยเครื่องอัดเย็น เพราะจะทำให้ได้แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชที่มีความแข็งแรงมากกว่าการอัดแรงธรรมดา การทำงานแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้ กำหนดคุณสมบัติเบื้องต้น หาปริมาณส่วนผสม และขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

2.1 กำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

- ความหนาแน่นของแผ่นทดลอง 1,300 กก./ลบ.ม.
- น้ำหนักเส้นใยพืช : ปูนซีเมนต์ 1 : 4 (20/80), 1 : 2.33 (30/70), 1 : 1.5 (40/60)
- ขนาดแผ่นทดลอง 45 x 45 x 1.2 เซนติเมตร
- เส้นใยพืช ปรับสภาพด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 การคำนวณหาปริมาณส่วนผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

การหาปริมาณส่วนผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชได้ยึดหลักการคำนวณจากการทดลองผลิตแผ่นไม้อัดซีเมนต์ของ สมชาย เบญจขย (2535 : 31-34.) ซึ่งได้ผลการทำแผ่นที่ดี และมีวิธีการทำงานง่าย มาเป็นหลักการในการคำนวณหาน้ำหนักของส่วนผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช แต่ก่อนหาน้ำหนักส่วนผสมของวัสดุต้องมีการคำนวณหาปริมาณความชื้นของเส้นใยพืชที่จะนำมาใช้ก่อนทุกครั้งที่ได้เส้นใยมา (ดูตารางผนวกที่ 1) เพื่อนำค่าความชื้นของเส้นใยพืชที่ได้ไปคำนวณหาน้ำหนักส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชต่อไป การคำนวณหาส่วนผสมมี 2 ขั้นตอน คือ 1) หาน้ำหนักแห้งของส่วนผสมใน 1 แผ่น 2) หาน้ำหนักของวัสดุส่วนผสมใน 1 แผ่น ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาน้ำหนักแห้งของส่วนผสมใน 1 แผ่น (ขนาด 45x45x1.2 ซม.)

$$\text{สูตร } P_o = \frac{P_m}{1 + \frac{m}{100}} \quad (3.1)$$

เมื่อ P_o = ความหนาแน่นในสภาวะอบแห้ง (กก./ลบ.ม.)

P_m = ความหนาแน่นแผ่นทดลอง 1,300 กก./ลบ.ม.

m = ปริมาณความชื้นของแผ่นทดลอง 12%

$$\text{ฉะนั้น } P_o = \frac{1,300}{1 + \frac{12}{100}} = 1,160.71 \text{ กก./ลบ.ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ในแผ่นทดลองสำเร็จจะต้องมีน้ำ} &= 1,300 - 1,160.71 \text{ กก./ลบ.ม.} \\ &= 139.29 \text{ กก./ลบ.ม.} \end{aligned}$$

จาก $P_0 = 1,160.71$ กก./ลบ.ม.จะได้ $= 1.16071$ ก./ลบ.ซม.

น้ำหนักแห้งของแผ่นทดลองขนาด $45 \times 45 \times 1.2$ ลบ.ซม. $= 1.16071 \times (45 \times 45 \times 1.2)$ กรัม
 $= 1.16071 \times 2,430$ กรัม

ฉะนั้น น้ำหนักแห้งของ เส้นใย และ ซีเมนต์ $= 2,820.52$ กรัม

ขั้นตอนที่ 2 หาน้ำหนักของวัสดุส่วนผสมใน 1 แผ่น คือ เส้นใยพืช ปูนซีเมนต์ น้ำ และแคลเซียมคลอไรด์

จากอัตราส่วนน้ำหนักแห้ง เส้นใย : ซีเมนต์ $= 1 : 4$ (20/80)

$$\begin{aligned} \text{หาน้ำหนัก 1 ส่วนได้ } W_0 + 4(W_0) &= 2,820.52 \text{ กรัม} \\ 1 + 4(W_0) &= 2,820.52 \text{ กรัม} \\ W_0 &= \frac{2,820.52}{5 \text{ ส่วน}} \text{ กรัม} \\ W_0 &= 564.104 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

เมื่อ $W_0 = 1$ ส่วน

- น้ำหนักการใช้เส้นใยพืช (ความชื้น 4.906%) $= W_0 \left(1 + \frac{m}{100}\right)$ กรัม
 $= 564.104 \left(1 + \frac{4.906}{100}\right)$ กรัม
 $= 564.104 (1.049)$ กรัม
 $= 591.745$ กรัม

เมื่อ $m =$ ความชื้นเส้นใย (%)

- น้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ใช้ 4 ส่วน $= 4 \times 564.104$ กรัม
 $= 2,256.416$ กรัม

- น้ำหนักของน้ำที่ใช้ 0.4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์
(มีการทดลองใช้ 0.35 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ แต่ให้ผลไม่ดี)

$$= 0.4 C + (0.3 - m) W_0 \quad \text{กรัม}$$

$$= 0.4(2,256.416) + (0.3 - \frac{4.906}{100}) 564.104 \text{ กรัม}$$

$$= 902.566 + 0.251(564.104) \quad \text{กรัม}$$

$$= 902.566 + 141.556 \quad \text{กรัม}$$

$$= 1,044.122 \quad \text{กรัม}$$

เมื่อ C = น้ำหนักปูนซีเมนต์ (กรัม)

- น้ำหนักการใช้แคลเซียมคลอไรด์ 1% ของน้ำหนักซีเมนต์ = 22.564 กรัม

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างปริมาณส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

ส่วนผสม อัตราส่วนผสม	เส้นใยพืช* (กรัม)	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	น้ำ (กรัม)	แคลเซียมคลอไรด์ 1% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ (กรัม)
20 / 80 (น้ำหนัก 1 แผ่น)**	591.745	2,256.416	1,044.122	22.564
30 / 70 (น้ำหนัก 1 แผ่น)**	888.503	1,973.510	1,001.997	19.735
40 / 60 (น้ำหนัก 1 แผ่น)**	1,183.492	1,692.315	960.107	16.923

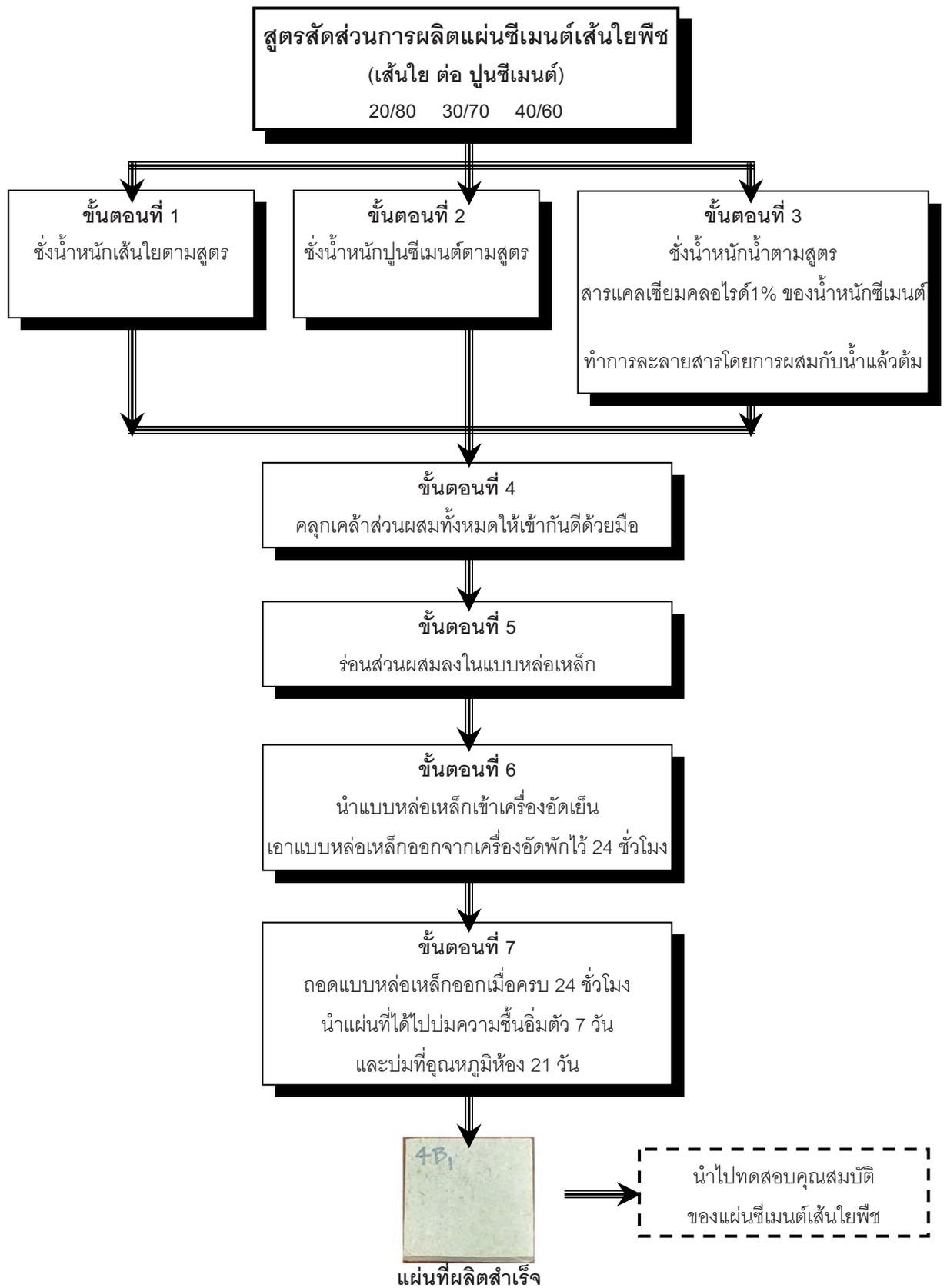
หมายเหตุ * เมื่อปริมาณความชื้นเส้นใย 4.906% ** 1 แผ่น มีขนาด 45x45x1.2 เซนติเมตร

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชในแต่ละอัตราส่วนผสมที่นำไปทดสอบ

อัตราส่วนผสม (เส้นใยพืช / ปูนซีเมนต์)	จำนวนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช		
	ทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ, เชิงกล	ทดสอบสมบัติเชิงความร้อน	สำรวจ
20 : 80	3 ชิ้น 	1 ชิ้น 	1 ชิ้น 
30 : 70	3 ชิ้น 	1 ชิ้น 	1 ชิ้น 
40 : 60	3 ชิ้น 	1 ชิ้น 	1 ชิ้น 

2.3 ขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

- ขั้นตอนที่ 1 ชั่งน้ำหนักเส้นใยตามสูตรที่กำหนด และเพิ่มอีกร้อยละ 5 ของน้ำหนักเส้นใย เพื่อให้ร่อนเส้นใยแล้วจะได้น้ำหนักที่เกินมาเล็กน้อย โดยร่อนเส้นใยผ่านตะแกรงเบอร์ 2 แล้วนำไปชั่งอีกครั้งให้ได้น้ำหนักตามสูตร(รูปภาพที่ 28)
- ขั้นตอนที่ 2 ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 1 ผสมกับเส้นใยที่ร่อนแล้ว(รูปภาพที่ 29) ทำการผสมปูนซีเมนต์กับเส้นใยด้วยมือให้เข้ากัน แล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 2 อีกครั้งเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากัน
- ขั้นตอนที่ 3 ชั่งน้ำหนักน้ำ และสารแคลเซียมคลอไรด์(แบบเกล็ด) ละลายสารแคลเซียมคลอไรด์ โดยนำไปผสมน้ำที่ชั่งไว้แล้วนำไปต้มให้ละลาย(รูปภาพที่ 30) ปล่อยให้เย็นจึงนำมาผสมน้ำที่เหลือ
- ขั้นตอนที่ 4 ฉีดน้ำเป็นฝอยให้ทั่วเส้นใยและปูนซีเมนต์ที่ผสมแล้ว คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันดีด้วยมือ(รูปภาพที่ 31)
- ขั้นตอนที่ 5 นำส่วนผสมที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3 อีกครั้งลงบนแบบหล่อเหล็กที่มีบล็อกไม้ขนาด 45x45x20 เซนติเมตร เป็นกรอบกั้นแบบร่อนส่วนผสมลงไปให้สม่ำเสมอที่ระดับเดียวกันทั้งแผ่น และห้ามจับส่วนผสมที่ร่อนลงไปบนบล็อกแล้ว ทำการกดแบบแล้วนำแผ่นพลาสติกวางปิดทับด้านบน วางแผ่นเหล็ก แบบเหล็ก ส่วนบนตามลำดับ(รูปภาพที่ 32)
- ขั้นตอนที่ 6 นำแบบเหล็กเข้าเครื่องอัดเย็น ยี่ห้อ HAMMER MILL สอดเหล็กที่มีความหนาขนาด 12 มิลลิเมตร อัดให้ได้ความหนาที่ต้องการ แล้วจึงขันน็อตให้แน่นปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 60 นาที(รูปภาพที่ 33) นำแบบเหล็กออกมาพักไว้ 24 ชั่วโมง
- ขั้นตอนที่ 7 ถอดแบบเหล็กเมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมง นำแผ่นที่ได้ไปบ่มความชื้น อิมตัวในถัง 7 วัน แล้วนำออกมาบ่มที่อุณหภูมิห้องต่ออีก 21 วัน(รูปภาพที่ 34) เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เช็งกล และเชิงความร้อน ต่อไป



ภาพที่ 27 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช



(ก) ชั่งน้ำหนักเส้นใย (ข) ร่อนเส้นใยผ่านตะแกรงเบอร์ 2 (ค) เส้นใยที่ได้หลังการร่อน

ภาพที่ 28 ขั้นตอนที่1 การเตรียมเส้นใยก่อนผสม



(ก) ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ (ข) ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 1 (ค) ผสมเส้นใยกับปูนซีเมนต์เข้าด้วยกัน

ภาพที่ 29 ขั้นตอนที่2 การเตรียมปูนซีเมนต์ ก่อนผสมด้วยมือให้เข้ากัน



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 30 ขั้นตอนที่3 เตรียมน้ำก่อนนำไปฉีดใส่ส่วนผสมเส้นใยกับปูนซีเมนต์ (ก)ชั่งน้ำหนักน้ำ (ข) ชั่งน้ำหนักสารแคลเซียมคลอไรด์ (แบบเกล็ด) (ค) ละลายสารเคมีด้วยการต้ม



(ก) การฉีดน้ำผสมเส้นใยกับปูนซีเมนต์ (ข) ส่วนผสมที่เข้ากันดี

ภาพที่ 31 ขั้นตอนที่ 4 การคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากันด้วยมือ

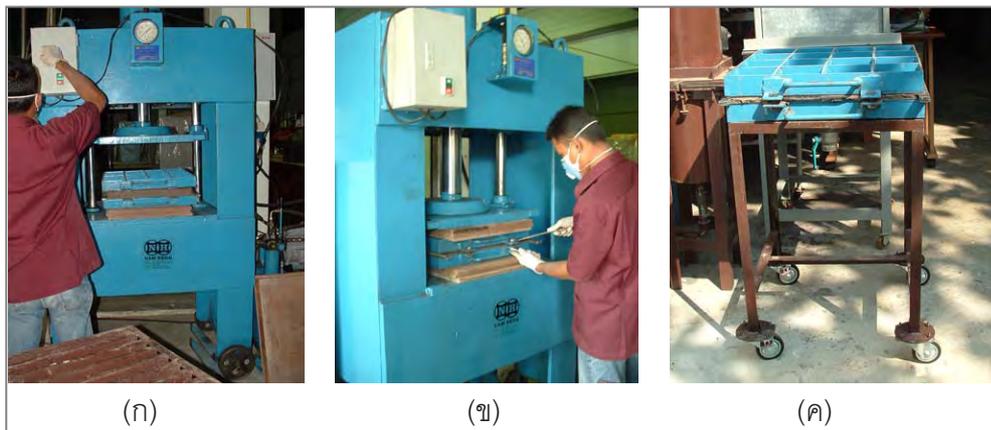


(ก) ร่อนส่วนผสมผ่านตะแกรง

(ข) การกดแบบ

(ค) นำแบบหล่อเหล็กส่วนบนวาง

ภาพที่ 32 ขั้นตอนที่ 5 การเตรียมแบบหล่อเหล็กก่อนนำเข้าเครื่องอัดเย็น



(ก)

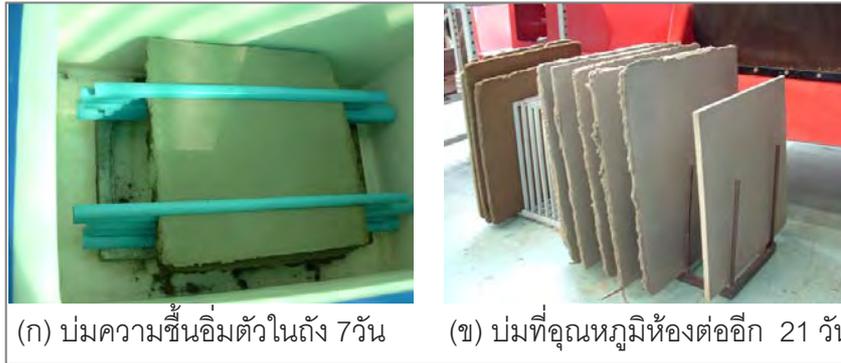
(ข)

(ค)

ภาพที่ 33 ขั้นตอนที่ 6 การอัดแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชด้วยเครื่องอัดเย็น

(ก) นำแบบเหล็กเข้าเครื่องอัดเย็น (ข) ชัน น็อต ให้แน่นปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 60 นาที

(ค) นำแบบเหล็กออกมาพักไว้ 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 34 ขั้นตอนที่ 7 การบ่มแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชเมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมง

3. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ เป็นการทำงานเพื่อหาแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชที่มีความแข็งแรงที่สุดและหาค่าการต้านทานความร้อนของแผ่น มีการทำงาน 4 ขั้นตอนดังนี้ 1)การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบคุณสมบัติ 2)การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ 3)การทดสอบสมบัติเชิงกล และ 4)การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

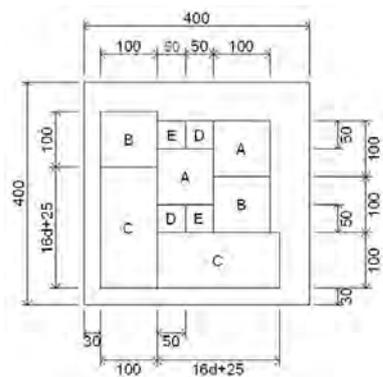
3.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติ

การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน (ดูตารางที่ 7) นำแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชที่ผลิตได้มาทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.878-2532 ISO 8335:1987 ISO 769:1972 และ ASTM D1037-87 โดยนำแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชขนาด 45x45x1.2 เซนติเมตร ตัดขอบทั้ง 4 ด้าน จำนวน 3 แผ่น แล้วตัดตามขนาดและตำแหน่งที่กำหนด (ดูภาพที่ 35) โดยใช้เครื่องตัดไฟฟ้าตัดแผ่นที่มีขนาดต่างๆ กันสำหรับการทดสอบ โดยในการทดสอบแต่ละเรื่องจะใช้แผ่นย่อยที่มาจากตำแหน่งที่แตกต่างกันในพื้นที่ของแผ่นใหญ่ เช่น จากส่วนกลางแผ่นคู่กับริมแผ่น เป็นต้น

- การทดสอบความหนาแน่น และปริมาณความชื้น ใช้ชิ้นทดสอบ A จำนวน 2 ชิ้น
- การทดสอบการพองตัว และการดูดซึมน้ำ ใช้ชิ้นทดสอบ B จำนวน 2 ชิ้น
- การทดสอบค่ามอร์ดูลัสแตกกร้าว และยืดหยุ่น ใช้ชิ้นทดสอบ C จำนวน 2 ชิ้น
- การทดสอบแรงยึดเกาะภายใน ใช้ชิ้นทดสอบ D จำนวน 2 ชิ้น
- การทดสอบการนำความร้อน ใช้ชิ้นทดสอบ E จำนวน 2 ชิ้น
- การทดสอบความสามารถในการลดความร้อน ใช้ชิ้นทดสอบขนาด 400x400 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้น

ตารางที่ 7 แสดงการหาค่าจากการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ		
สมบัติเชิงกายภาพ	สมบัติเชิงกล	สมบัติเชิงความร้อน
ค่าความหนาแน่น	ค่าความต้านทานมอดูลัสแตกกร้าว	ค่าการนำความร้อน
ค่าปริมาณความชื้น	ค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่น	ความสามารถในการลดความร้อน
ค่าการดูดซึมน้ำ	ค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน	
ค่าการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ		

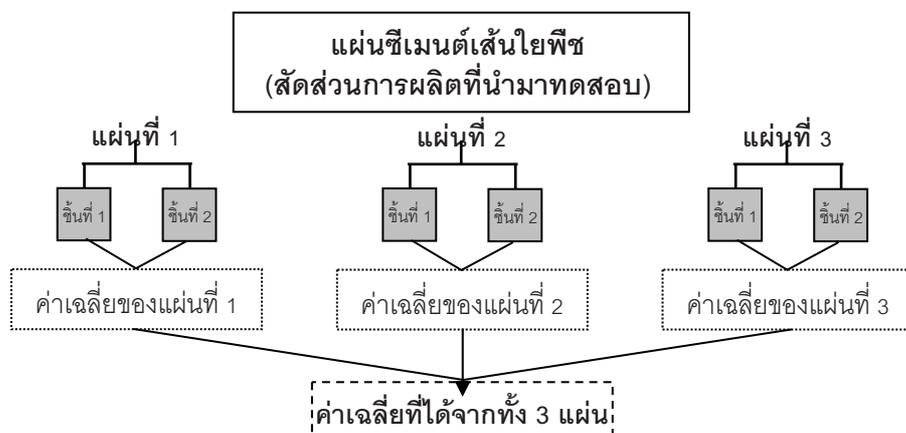


d = ความหนาของแผ่นทดลอง (12 มม.)

ภาพที่ 35 แสดงการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

ที่มา : สมชัย เบญจขย, “ผลกระทบของลักษณะชิ้นไม้ การปรับสภาพไม้และอัตราส่วนไม้ต่อซีเมนต์ต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์” (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วนศาสตร์) สาขาวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535) 36.

ในการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงกล จะหาค่าเฉลี่ยของแผ่นที่ผลิตเป็น 2 ขั้นตอน คือ หาค่าเฉลี่ยของแต่ละแผ่น แล้วหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 แผ่นรวมกัน เพื่อให้ทราบว่าแผ่นที่ผลิตได้แต่ละแผ่นนั้น มีความแตกต่างกันมากน้อยจากค่าเฉลี่ยเพียงใด (ดูภาพที่ 36)



ภาพที่ 36 แผนผังการหาค่าเฉลี่ยของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ในแต่ละสูตรการผลิต

3.2 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties tests)

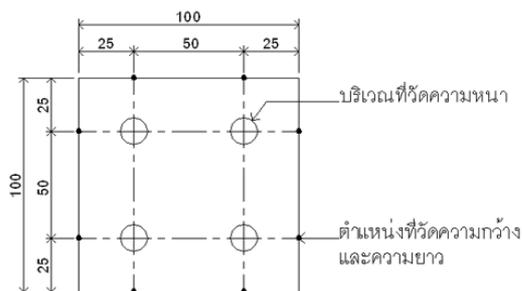
3.2.1 การทดสอบความหนาแน่น (Density test)

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นเป็นการหาอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยการนำชิ้นทดสอบจากตำแหน่ง A (ดูภาพที่ 35) วัดความกว้าง ความยาวและความหนาของชิ้นทดสอบให้ตำแหน่งที่วัดอยู่ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 มิลลิเมตร (ดูภาพที่ 37) นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (ดูภาพที่ 38) วัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ (ดูภาพที่ 39) และวัดความกว้างความยาวด้วยเวอร์เนียคาร์ริเปอร์ (ดูภาพที่ 40) แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นตามสูตร (3.2)

$$\text{สูตร ค่าความหนาแน่น (kg/m}^3\text{)} = \frac{M}{V} \times 10^6 \quad (3.2)$$

เมื่อ M = น้ำหนัก มีหน่วยเป็น กรัม (g.)

V = ปริมาตร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์มิลลิเมตร (mm.³)



ภาพที่ 37 แสดงตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาวและความหนาของชิ้นทดสอบ

ที่มา: สมชัย เบญจขย, “ผลกระทบของลักษณะชิ้นไม้ การปรับสภาพไม้และอัตราส่วนไม้ต่อซีเมนต์ต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์” (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วนศาสตร์) สาขาวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535) 41.



ภาพที่ 38 เครื่องชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบ ตีองชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล



ภาพที่ 39 เครื่องมือวัดความหนาขึ้นทดสอบ ตัดวัดด้วยไมโครมิเตอร์ (Micrometer)



ภาพที่ 40 เครื่องมือวัดความกว้างยาว ขึ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (verniercaliper)

3.2.2 การทดสอบหาปริมาณความชื้น (Moisture content test)

การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นเป็นการเทียบน้ำหนักก่อนอบกับ น้ำหนักหลังอบแห้งของชิ้นงาน มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยการนำชิ้นทดสอบจากตำแหน่ง A (ดูภาพที่ 35) นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่อง (ดูภาพที่ 38) ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนในระดับทศนิยม 2 ตำแหน่งเป็นน้ำหนักก่อนอบแห้ง หลังจากชั่งน้ำหนักแล้วนำชิ้นทดสอบมาอบในเตาอบที่มี อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส(ดูภาพที่ 41) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จึงนำมาชั่งน้ำหนักสุดท้ายเป็นน้ำหนักหลังอบแห้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าที่ได้มา คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นตามสูตร (3.3)

$$\text{สูตร} \quad \text{ค่าปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ M_1 = น้ำหนักก่อนอบ มีหน่วยเป็น กรัม (g.)

M_0 = น้ำหนักหลังอบ มีหน่วยเป็น กรัม (g.)



ภาพที่ 41 การนำชิ้นทดสอบเข้าเตาอบความร้อน

3.2.3 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption test) และการทดสอบการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling in water test)

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำเป็นการเทียบระหว่างน้ำหนักแผ่นก่อนแช่น้ำกับน้ำหนักแผ่นหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยน้ำหนัก ส่วนการทดสอบค่าการตัวหลังแช่น้ำก็เป็นการหาความหนา ก่อนแช่น้ำกับความหนาหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยน้ำหนัก โดยการนำชิ้นทดสอบจากตำแหน่ง B (ดูภาพที่ 35) มาชั่งน้ำหนักให้ทราบค่าที่ละเอียดที่แน่นอนในระดับทศนิยม 1 ตำแหน่ง นำมาวัดความกว้าง ความยาว ที่แนวกึ่งกลางโดยให้มีความละเอียดที่แน่นอนในระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้ววัดความหนาของชิ้นงานทั้ง 4 ตำแหน่งที่ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 มิลลิเมตร (ดูภาพที่ 37) โดยให้มีความละเอียดที่แน่นอนในระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าก่อนแช่น้ำ

นำชิ้นทดสอบไปแช่ในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยให้วางชิ้นทดสอบตั้งฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นต้องวางห่างกันและต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร [ดูภาพที่ 42 (ก)] ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 2 ชั่วโมงให้นำชิ้นทดสอบขึ้นมาชั่งน้ำหนักที่ผิวออกให้หมด นำมาชั่งน้ำหนักทันทีเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง วางไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำเช่น กระดาษ พลาสติก เป็นต้น [ดูภาพที่ 42 (ข)] เมื่อครบเวลา 2 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนา ความกว้าง และความยาว ที่ตำแหน่งเดิม จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำต่ออีก 22 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้นำชิ้นมาทำตามขั้นตอนเดิมหลังแช่น้ำเป็นการหาค่าหลังแช่ 24 ชั่วโมง นำค่าที่ได้มาหาค่าหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำได้จากสูตร (3.4) และคำนวณหาค่าการพองตัวความหนาได้จากสูตร (3.5)

$$\text{สูตร ค่าการดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (3.4)$$

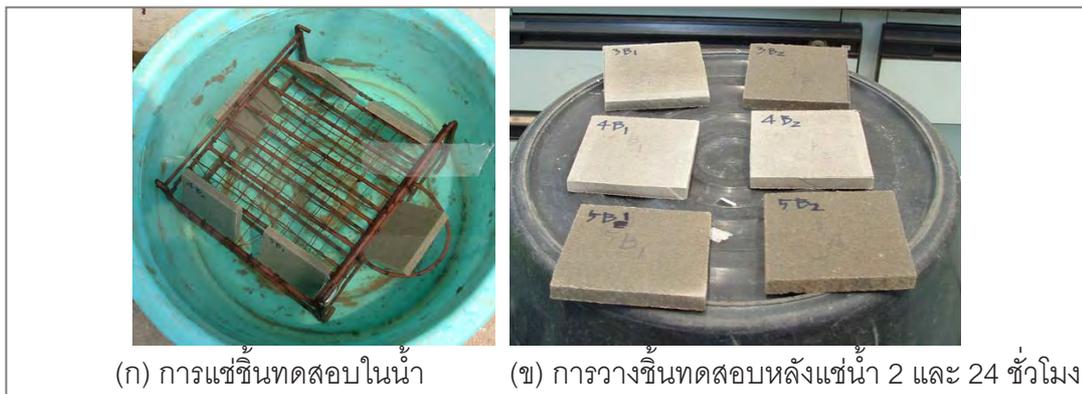
เมื่อ M_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็น กรัม (g.)

M_2 = น้ำหนักหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็น กรัม (g.)

$$\text{สูตร ค่าการขยายตัวความหนา (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ W_1 = ความหนา ก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

W_2 = ความหนา หลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)



(ก) การแช่ชิ้นทดสอบในน้ำ

(ข) การวางชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ 2 และ 24 ชั่วโมง

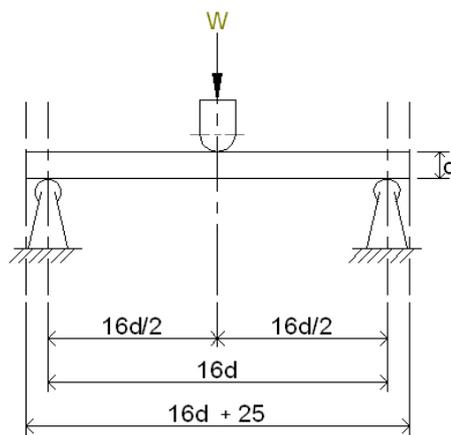
ภาพที่ 42 การนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำ เพื่อหาค่าที่จะทดสอบ

3.3 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties tests)

3.3.1 การทดสอบค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าว และ มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of rupture and elasticity test)

ในการทดสอบค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่นหรือความแข็งแรง (Strength) โดยการนำชิ้นทดสอบจากตำแหน่ง C มีขนาด 100 มิลลิเมตร x (16d+25) มิลลิเมตร (เมื่อ d คือ ความหนาของแผ่นทดลอง ในงานวิจัยนี้ความหนาของแผ่น คือ 12 มิลลิเมตร) ขนาดของแผ่น คือ 100 x 217 มิลลิเมตร ตำแหน่งที่ใช้วัดหาความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D1037-87 คือ จุดที่ห่างจากขอบสองด้านจากแต่ละมุม 20 มม. ทั้ง 4 มุม เมื่อวัดเสร็จแล้ววางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรับของเครื่องทดสอบกำลัง ซึ่งมีระยะห่าง

ระหว่างฐานรองรับ 16 เท่าของความหนาขึ้นทดสอบ ในงานวิจัยนี้คือ $16 \times 12 = 192$ มิลลิเมตร (ดูภาพที่ 43) ให้ปลายขึ้นทดสอบทั้งสองด้านยื่นออกไปจากจุดรองรับเท่ากันทั้งสองด้าน โดยให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของขึ้นทดสอบมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ในการกดตั้งแต่เริ่มต้นกดจนขึ้นทดสอบหักออกต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่อง Testometric รุ่น AX ในการทดสอบครั้งนี้



ภาพที่ 43 แสดงการวางขึ้นทดสอบความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น
 ที่มา : สมชัย เบญจขย, “ผลกระทบของลักษณะขึ้นไม้ การปรับสภาพไม้และอัตราส่วนไม้ต่อซีเมนต์ต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์” (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(วนศาสตร์) สาขวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535) 37.

3.3.2 การทดสอบค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน (Tensile strength perpendicular to plane of board test)

ในการทดสอบความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายในหรือค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า เป็นการหาค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน มีขั้นตอนการทดสอบโดยตัดขึ้นทดสอบตามขนาดที่กำหนด (ดูภาพที่ 35) วัดความกว้างและความยาวของขึ้นทดสอบที่จุดกึ่งกลางแต่ละด้าน นำมาติดกับแผ่นดิ่งโลหะทั้งสองด้านด้วยกาวอีพอกซี (Epoxy) (ดูภาพที่ 44) ซึ่งมีแรงยึดกับแผ่นดิ่งโลหะมากกว่าแรงยึดภายในขึ้นทดสอบ ทิ้งไว้ให้แห้งไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาดึงด้วยเครื่อง Testometric รุ่น AX ให้แรงดึงมีอัตราการเพิ่มที่สม่ำเสมอ เพื่อแยกขึ้นทดสอบออกจากกันเวลาที่ใช้ดึงจนกระทั่งขึ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาทีและไม่เกิน 120 วินาที เสร็จแล้วหาค่าเฉลี่ย

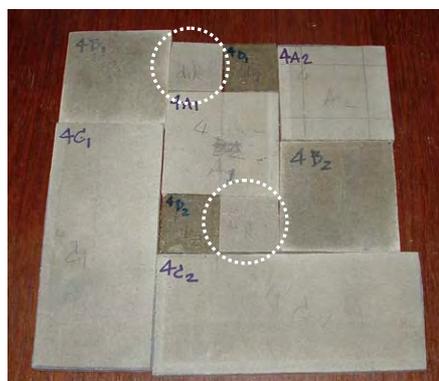


ภาพที่ 44 แสดงการจับยึดชิ้นงานหาค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน

3.4 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน (Thermal conductivity properties test)

3.4.1 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity Test)

เป็นการทดสอบวัสดุ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k-Value) เป็นกระบวนการวัดค่าการนำความร้อนของแผ่นวัสดุ โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ งานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk AB) ใช้เทคนิค Thermal Constant Analysis (TCA) สภาวะในการวิเคราะห์เป็นห้องควบคุมอุณหภูมิ (Room temperature) Disk type : Kepton Insulation (Sensor No. C7577, Radius = 2.001 mm.) เป็นการวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพการนำความร้อนของวัสดุ เช่น กระจก เบื้อง แผ่นไฟเบอร์ ซีเมนต์ เป็นต้น ชิ้นทดสอบมีขนาด 50x50x12 มม. จำนวน 2 ชิ้น

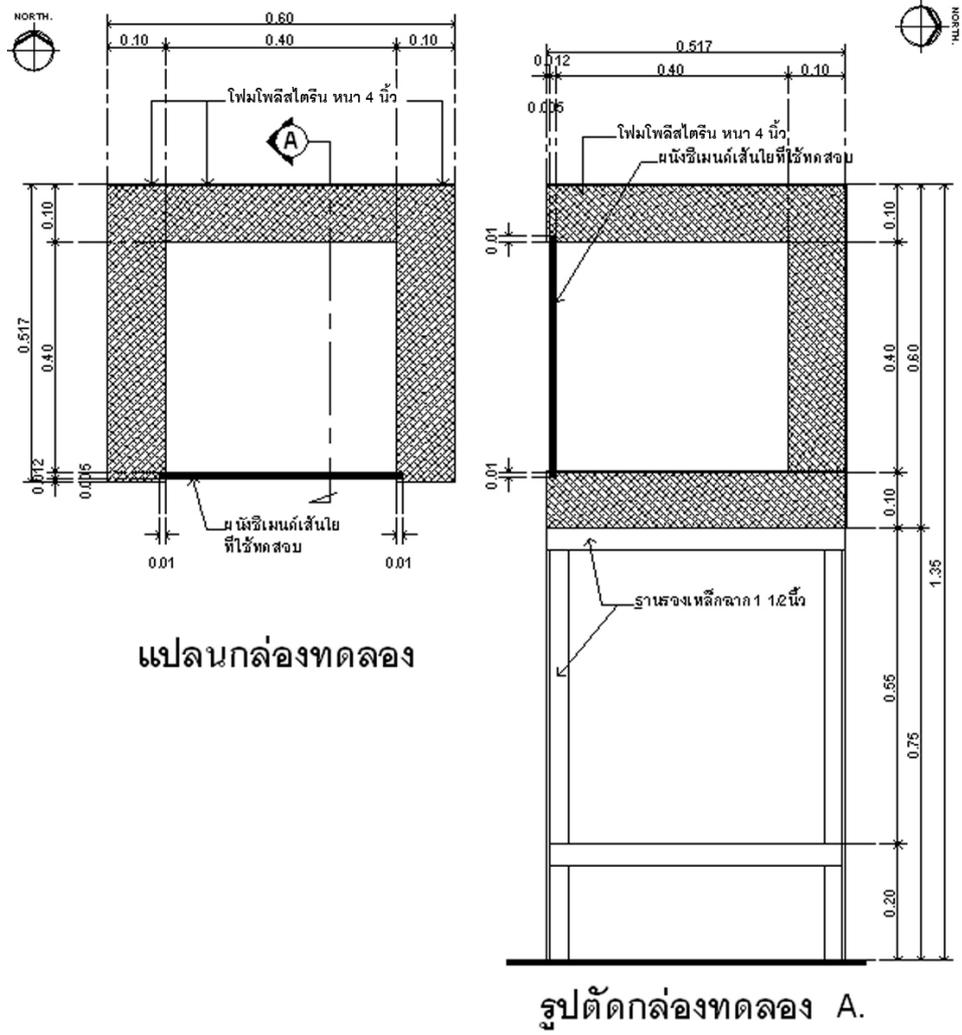


ภาพที่ 45 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหาค่าการนำความร้อน

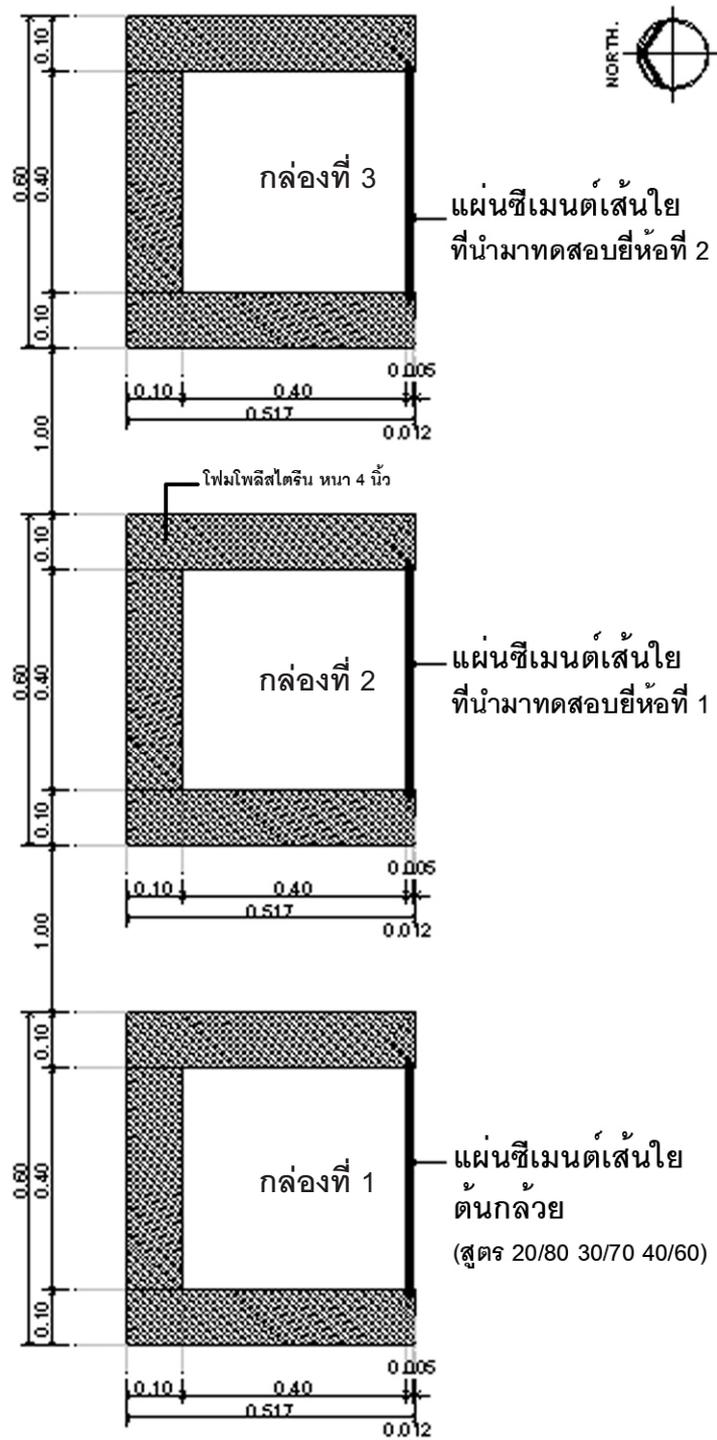
3.4.2 การทดสอบหาความสามารถในการลดความร้อน

การทดสอบคุณสมบัติในการลดความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ โดยการทดสอบด้วยกล่องทดลอง มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

- เตรียมกล่องทดลองที่ผนังทั้งสามด้านทำจากโฟมโพลีสไตรีน
- ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต หนา 4 นิ้ว (ดูภาพที่ 46) ยึดติดกันด้วยกาวลาเท็กซ์ อุดรอยต่อภายในและภายนอกด้วยซิลิโคน แล้วปิดรอยต่อภายนอกด้วยเทปกาวอีกครั้ง จำนวน 3 กล่อง
- แทนร่องกล่องทำจากเหล็กฉากขนาด $1\frac{1}{2}'' \times 1\frac{1}{2}'' \times 2$ มม.
- วางกล่องทดสอบห่างกัน 1 เมตร (ดูภาพที่ 47)
- ด้านที่ใส่แผ่นทดสอบให้เซาะร่องลึก 1 ซม. แล้วใส่แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชในกล่องที่ 1 แผ่นวัสดุยี่ห้อที่หนึ่งใส่ในกล่องที่ 2 และแผ่นวัสดุยี่ห้อที่สองใส่ในกล่องที่ 3 (ดูภาพที่ 48)
- ติดสายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Type-T) เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ จำนวน 4 จุด (ดูภาพที่ 49) ดังนี้
 - จุดที่ 1 วัดอุณหภูมิผิวภายนอกกล่อง จำนวน 1 จุด
 - จุดที่ 2 วัดอุณหภูมิผิวภายในกล่อง จำนวน 1 จุด
 - จุดที่ 3 วัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง จำนวน 1 จุด
 - จุดที่ 4 วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง จำนวน 1 จุด
- วัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ใน ข้อ ง. เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที
- วิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 กล่องทดลอง



ภาพที่ 46 แสดงลักษณะกล่องและการใช้วัสดุทำกล่องทดลอง



แปลนตำแหน่งวางกล่อง

ภาพที่ 47 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลองการหาความสามารถในการลดความร้อน



ภาพที่ 48 แสดงลักษณะกล่องและตำแหน่งวางกล่องทดลอง



ภาพที่ 49 แสดงจุดที่ติดสายเทอร์โมคัปเปิลที่กล่องทดลอง

- (1) วัดอุณหภูมิผิวภายนอกกล่อง
- (2) วัดอุณหภูมิผิวภายในกล่อง
- (3) วัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง
- (4) วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง

4. การเปรียบเทียบราคา

การคำนวณหาราคาต้นทุนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช ที่มีส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง) เส้นใยต้นกล้วย น้ำประปา และสารแคลเซียมคลอไรด์ โดยคิดราคาต้นทุนการผลิตจากสูตรการผลิตที่ดีที่สุด ราคาต้นทุนจะคิดจากน้ำหนักวัสดุที่นำมาผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช 1 แผ่น ขนาด 45x45x1.2 เซนติเมตร

ราคาต้นทุนแผ่น (สัดส่วนการผลิต)	=	(น้ำหนักปูนซีเมนต์ x บาทต่อหน่วย) + (น้ำหนักเส้นใย x ราคาต่อหน่วย) + (น้ำหนักน้ำ x ราคาต่อหน่วย) + (น้ำหนักแคลเซียมคลอไรด์ x ราคาต่อหน่วย)
-------------------------------------------	---	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีการทำงานในภาคปฏิบัติที่ต้องใช้วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ เพื่อหาแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชที่ดีที่สุด ในการปฏิบัติงานมี 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนการผลิตเส้นใยพีช ผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช และการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

1. ขั้นตอนการผลิตเส้นใยพีช

1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเส้นใย

- วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด คือ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วย
- น้ำสะอาด
- สารส้ม
- สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) 99% (ตรานก)
- อ่างพลาสติกสำหรับแช่สารเคมี ล้างเส้นใย
- กะละมังต้มสารเคมี
- ตาชั่งน้ำหนัก
- ถังมือยาง รองเท้ายาง

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเส้นใย

- เครื่องซักผ้า สำหรับปั่นเส้นใยให้แห้ง
- เตาแก๊ส

2. ขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช

2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง)

- เส้นใยพืช คือ เส้นใยต้นกล้วย
- น้ำสะอาด
- สารผสมเพิ่ม(แคลเซียมคลอไรด์ CaCl_2)
- กะละมังผสม
- ตะแกรงร่อน
- ถังน้ำแข็งขนาดใหญ่
- สเปรย์ฉีดน้ำ
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- ถูมือยาง แผ่นพลาสติกกรองแบบหลอ
- แบบหลอเหล็ก

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

การวิจัยนี้ในวงการเตรียมเส้นใยพืชต้องใช้เครื่องย่อยเส้นใย เพื่อให้ได้เส้นใยที่ละเอียด โดยใช้เครื่องย่อยยี่ห้อ HAMMER MILL (ดูภาพที่ 50) แล้วต้องหาปริมาณความชื้นเส้นใยโดยใช้เครื่องหาความชื้นยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น MA 40(ดูภาพที่ 51) เมื่อถึงขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชทำให้ต้องใช้เครื่องอัดไฮดรอลิคอัดแผ่น โดยใช้เครื่องอัดเย็นยี่ห้อ HAMMER MILL (ดูภาพที่ 52)



ภาพที่ 50 เครื่องย่อยเส้นใย ยี่ห้อ HAMMER MILL



ภาพที่ 51 เครื่องหาค่าความชื้น ยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น MA 40



ภาพที่ 52 เครื่องอัดเย็น ยี่ห้อ HAMMER MILL

3. ขั้นตอนการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการป้องกันความร้อน

- โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต หนา 4 นิ้ว
- กาวลาเท็กซ์
- ซิลิโคน
- เทปกาว
- เหล็กฉาก

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการต้านทานความร้อน

การวิจัยนี้ในช่วงการทดสอบการต้านทานความร้อน ต้องใช้เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger รุ่น testo 177-T4 (ดูภาพที่ 53) โดยการเก็บข้อมูลจากสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Type-T) (ดูภาพที่ 54) ปลายสายติดตั้งที่กล่องทดสอบการต้านทานความร้อน (ดูภาพที่ 49) ปลายสายอีกด้านต่อเข้าเครื่องบันทึกข้อมูล แล้วเก็บข้อมูลที่ได้ด้วยการต่อเชื่อมสัญญาณเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์(ดูภาพที่ 55) โดยใช้โปรแกรม Testo Comfort และ Microsoft Excel แสดงข้อมูล



ภาพที่ 53 เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger รุ่น testo 177-T4



ภาพที่ 54 สายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล (Themocouple Type-T)



ภาพที่ 55 เครื่องคอมพิวเตอร์

สถานที่ในการทำวิจัย

1. สถานที่ทำการผลิตเส้นใย
บ้านเลขที่ 141 หมู่ 8 ถนนพิบูลย์สงคราม ตำบลโพธิ์กลาง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
2. สถานที่ทำการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช และทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงกล
ห้องปฏิบัติการสายงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้
3. สถานที่ทำการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน
ทดสอบการนำความร้อน ที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุงานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
ทดสอบการต้านทานความร้อน ที่ชั้นดาดฟ้า อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
4. ระยะเวลาในการทำวิจัย
การทดลองเริ่มงานปฏิบัติ ตั้งแต่ 3 มกราคม 2550 – 24 เมษายน 2550

บทที่ 4

ผลการทดสอบ การวิเคราะห์ และอภิปราย

การทดลองผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง มีขั้นตอนในการทำงาน 4 ขั้นตอนคือ 1) การผลิตเส้นใย 2) การผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช 3) การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ และ 4) การเปรียบเทียบด้านราคาต้นทุนการผลิตแผ่น โดยมีผลการทำงาน ดังนี้

ผลการผลิตเส้นใยพืช

การผลิตเส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วย โดยมีกระบวนการผลิตที่ใช้คุณสมบัติพิเศษของเซลลูโลสเป็นหลัก ได้ทำการทดลองครั้งที่ 1 (ขั้นตอนการผลิตดูในบทที่ 3) ผลการผลิตเส้นใยพบว่า เส้นใยที่ได้มีส่วนประกอบของพืชอยู่มาก ซึ่งจะมีผลต่อการนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชที่มีปูนซีเมนต์เป็นสารพัน หากมีส่วนอื่นที่ไม่ใช่เส้นใย เช่น ลิกนิน จะทำให้ปูนซีเมนต์ไม่ยึดเกาะกับเส้นใย ทำให้ต้องมีการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตเส้นใยขึ้นใหม่

การทดลองครั้งที่ 2 ได้มีการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิตและสารเคมีจากครั้งที่ 1 ใช้สารส้ม มาเป็นสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (ดูบทที่ 3) ผลการทดลองพบว่า เมื่อนำฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วยไปแช่ในสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 5 วัน ในอัตราส่วนของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ : พืชแห้ง คือ 200 กรัม : 40 ลิตร : 4 กิโลกรัม พบว่าฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด มีการย่อยสลายน้อยมากส่วนต้นกล้วยมีการย่อยสลายที่ดีกว่า ทำให้สามารถแยกส่วนอื่นๆ ของพืชออกจากเส้นใยง่าย

เนื่องจากต้นกล้วยสดมีส่วนประกอบของน้ำมากประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เมื่อปล่อยให้แห้งให้น้ำเปื่อยจึงเหลือเส้นใยที่ไม่เกาะยึดกันแน่นมากทำให้ง่ายในการแยกให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลส แต่ในส่วนของฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด ยังไม่สามารถแยกได้เพราะพืชมีลักษณะการยึดเกาะระหว่างเซลล์แข็งแรงมาก หากต้องการแยกส่วนอื่นๆ ออกจากพืชให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลส จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยในการทำงาน และราคา ทำให้เลือกใช้เฉพาะ ต้นกล้วย ที่มีความเหมาะสมมากกว่าในเรื่องของการทำงานที่ใช้สารเคมีน้อยทำให้ปลอดภัย ลดต้นทุนการผลิต และใช้ระยะเวลาการทำงานสั้น

ในการนำต้นกล้วยมาผลิตเส้นใยเซลลูโลสในการทดลองนี้ (ดูตารางที่ 8) การผลิตเส้นใยเซลลูโลส ครั้งแรกต้องใช้ต้นกล้วยแห้งจำนวน 12.73 กิโลกรัม จึงจะได้เส้นใยย่อย 1 กิโลกรัม การผลิตเส้นใยครั้งที่ 2 ใช้ต้นกล้วยแห้งจำนวน 8.90 กิโลกรัม ได้เส้นใยย่อย 1 กิโลกรัม ซึ่งทำให้ลดน้ำหนักของต้นกล้วยแห้งลง 3.83 กิโลกรัม เนื่องจากในขั้นตอนการปล่อยให้ต้นกล้วยเน่าเปื่อยต้องขยี้เส้นใยออกจากส่วนอื่นๆ ของพืชได้ [ดูภาพที่ 56 (ก)] ก่อนนำมาแช่น้ำแล้วตากให้แห้ง ทำให้สลดเอาเนื้อไม้ ผุ่น ผงออกได้มากเป็นการแยกส่วนอื่นๆ ของพืชที่ไม่ต้องการออกไปในขั้นตอนนี้ด้วย จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักก่อนแช่สารเคมี

เส้นใยเซลลูโลสที่ได้หลังจากการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการลองขยี้ด้วยมือ พบว่าจะมีความแข็งแรงกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงเส้นใยด้วยสารเคมี

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณของต้นกล้วยแห้งที่นำมาผลิตเป็นเส้นใยย่อย

ครั้งที่	ต้นกล้วยแห้ง (กก.)	เส้นใยแห้ง (กก.)	ปั่นย่อย (กก.)	ต้นกล้วยแห้ง/เส้นใยย่อย (กก.)
1	140.00	13.00	11.00	12.73 / 1.00
2	80.00	10.50	8.90	8.90 / 1.00



(ก) ปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ



(ข) เส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้



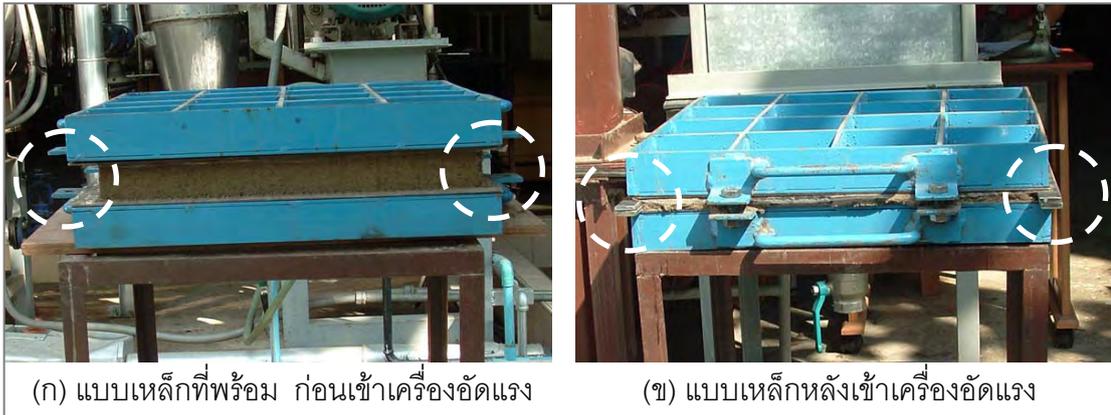
(ค) เส้นใยที่ปั่นย่อยแล้ว

ภาพที่ 55 แสดงรูปต้นกล้วยที่นำมาผลิตให้ได้เส้นใยเซลลูโลสที่สะอาด

ผลการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช

การผลิตตัวอย่างแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชตามกระบวนการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งขั้นตอนที่สำคัญนั้นอยู่ที่การร่อนส่วนผสมผ่านตะแกรงลงไปในปีบล็อกไม้จะต้องให้มีความหนาที่เท่ากันทั้งบล็อก เมื่อกดแบบเหล็กจึงจะได้ความหนาแน่นที่เท่ากันทั้งแผ่น และต้องไม่ตะตะต้อง

ส่วนผสมที่ร้อนลงสู่บล็อกไม้แล้ว เพราะจะทำให้เส้นใยที่เรียงตัวกันในแนวอนเกิดการกระทบกระเทือน ส่งผลต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยในสารพื้นที่มีผลต่อสมบัติไอโซโทรปิก (Isotropic) ของวัสดุที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 คือ ถ้าหากเส้นใยจัดเรียงตัวกันในทิศทางที่สอดคล้องและเหมือนกันทุกพื้นที่จะทำให้ได้ความแข็งแรงของแผ่นซีเมนต์เส้นใยสูงสุด



ภาพที่ 57 แบบเหล็กก่อน - หลังการอัดแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีด้วยเครื่องอัดแรง

ผลการอัดแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีด้วยเครื่องอัดเย็น มีสัดส่วนการผลิต เส้นใย : ปูนซีเมนต์ ทั้งหมด 3 สูตร คือ 20/80 30/70 และ 40/60 การทำงานในสูตร 20/80 สามารถทำงานได้ง่ายที่สุด เนื่องจากมีปูนซีเมนต์ผสมอยู่มากทำให้ส่วนผสมไม่ร่วนซุย เวลาอัดแผ่นส่วนผสมจะไม่หล่นมาที่ขอบ ซึ่งอาจทำให้ความหนาของแผ่นคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากมีวัสดุไปอยู่ที่ผิวเหล็กกัน (ดูภาพที่ 57) แต่ในสูตร 30/70 และสูตร 40/60 นั้นจะต้องใช้ความระมัดระวังขณะทำการอัดแผ่น ต้องทำอย่างช้าๆ เพื่อให้ส่วนผสมไม่กระจายออกด้านข้าง และก่อนที่จะถึงความหนาที่ต้องการให้สังเกตดูขอบแบบเหล็ก ถ้ามีเศษวัสดุอยู่ควรรนำออกก่อนการอัดแผ่นจนเสร็จ หลังจากนั้นควรปล่อยให้เครื่องอัดกดไว้ประมาณ 30-60 นาที เพื่อไม่ให้แผ่นเกิดการคลายตัวทำให้แผ่นพองตัวที่กลางแผ่นได้

การอัดแผ่นแรกๆ ที่ขอบแผ่นไม่ค่อยแน่นเพราะเวลาที่รอยส่วนผสมผู้วิจัยเน้นไปที่ส่วนกลางแผ่นมากเกินไป เมื่อเวลาถอดแบบออกจะสังเกตได้ว่าบริเวณขอบๆ แผ่นจะไม่แน่นเป็นซุย ทำให้การวางตั้งเพื่อบ่มแผ่นลำบากและขอบแผ่นเกิดความเสียหายได้ ในการทำแผ่นครั้งต่อไปก็สามารถปรับปรุงการทำงานจนแผ่นที่ได้มีความสม่ำเสมอทุกแผ่น

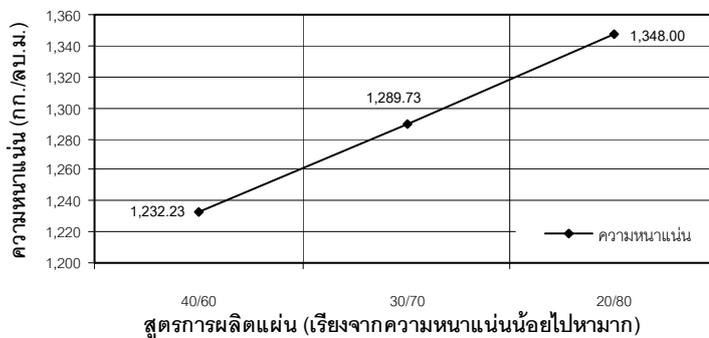
ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

การทดสอบผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชที่ได้จากเส้นใยของต้นกล้วย เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างอาคาร จำเป็นต้องศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงกล เพื่อให้ทราบถึงความ เป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงได้อย่างเหมาะสม

1. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

1.1 ผลการทดสอบความหนาแน่น (Density testing)

จากการทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นทั้ง 3 สูตร แผ่นที่มีความหนาแน่น มากที่สุด คือ สูตร 20/80 รองลงมาคือสูตร 30/70 และ 40/60 (เส้นใยต่อปูนซีเมนต์)ตามลำดับ โดยมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุดคือ 1,348 1,290 และ 1,232 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแผ่นที่มีปริมาณเส้นใยน้อยคือ สูตร 20/80 จะมีความหนาแน่นสูงกว่าในสูตร ที่มีปริมาณเส้นใยมากขึ้นคือ สูตร30/70 40/60 (แผนภูมิที่ 1) แนวโน้มของความหนาแน่นจะ สูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยน้อยลง เนื่องจากจำนวนเส้นใยที่น้อยทำให้เกิดการยึดเกาะภายใน ระหว่างปูนซีเมนต์และเส้นใยเกิดช่องว่างภายในแผ่นน้อยลง ซึ่งค่าความหนาแน่นยังส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายในของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช (แผนภูมิที่ 8) ที่จะสูงขึ้นตาม ไปด้วย

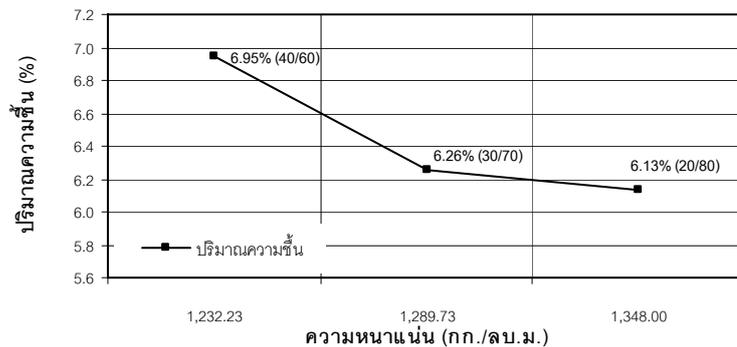


แผนภูมิที่ 1 แสดงความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช ทั้งหมด 3 สูตร คือ 20/80 30/70 และ 40/60

1.2 ผลการทดสอบปริมาณความชื้น (Moisture content testing)

จากการทดสอบหาปริมาณความชื้นแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชได้ปริมาณความชื้น เฉลี่ยน้อยที่สุดคือสูตร 20/80 รองลงมาคือ 30/70 และ 40/60 ตามลำดับ โดยมีปริมาณความชื้น โดยเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 6.13% 6.26% 6.95% ตามลำดับ พบว่าแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชสูตร 20/80 ที่มีปริมาณเส้นใยอยู่ในระดับน้อยที่สุดจากทั้ง 3 สูตร มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด ส่งผลทำให้มี ความชื้นน้อยที่สุด

จากแผนภูมิที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นของแผ่น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเส้นใยกับความหนาแน่นมีผลต่อปริมาณความชื้น เนื่องจากปริมาณเส้นใยน้อยและมีปริมาณของปูนซีเมนต์ที่มากในสูตร 20/80 เกิดการเชื่อมเกาะกันภายในแผ่นสูง ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นสูงทำให้เกิดช่องว่างภายในน้อย การเชื่อมโยงกันภายในแผ่นมากทำให้ความชื้นแทรกเข้าแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีได้น้อยกว่าแผ่นที่มีเส้นใยมากและมีค่าความหนาแน่นน้อย



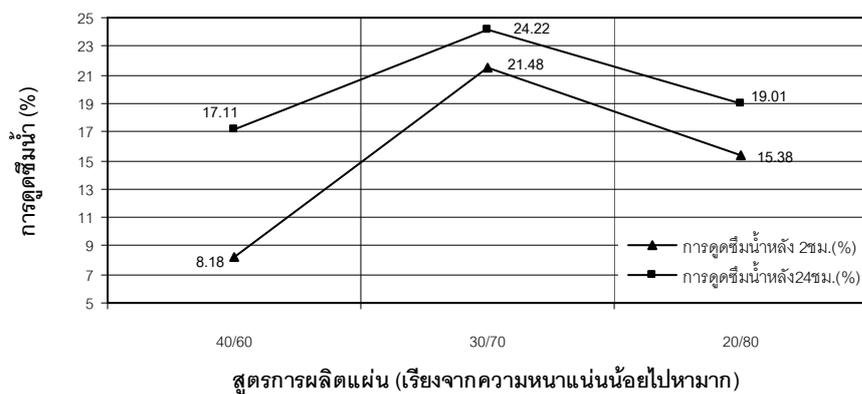
แผนภูมิที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณความชื้นของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซี ทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ 40/60

1.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ (Water absorption and Swelling in water testing)

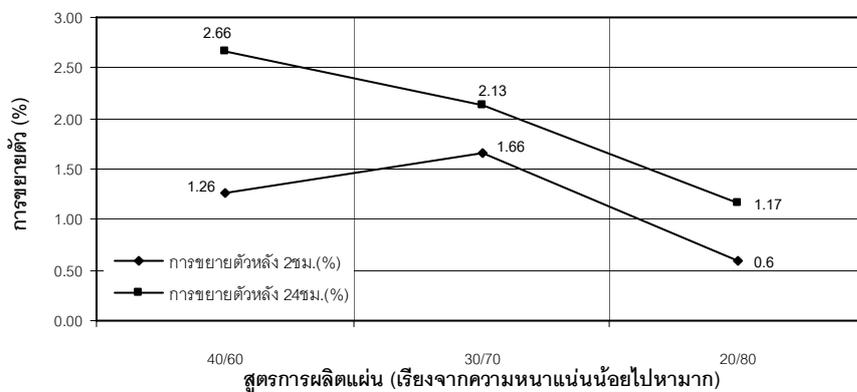
จากการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำหลัง 2 และ 24 ชั่วโมง จากสูตรการผลิตเส้นใยต่อปูนซีเมนต์ คือสูตร 20/80 30/70 และ 40/60 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีในสูตร 30/70 ความหนาแน่นอยู่ระดับกลางแต่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ในแผ่นสูตร 40/60 ความหนาแน่นอยู่ในระดับต่ำที่สุดแต่มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด และมีช่วงของการดูดซึมน้ำกว้างที่สุดเมื่อแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และในสูตร 20/80 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสูงสุด มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับปานกลาง แต่มีค่าการพองตัวน้อยที่สุด (แผนภูมิที่ 4) ทั้งนี้เนื่องมาจากการเชื่อมโยงยึดเกาะกันของแผ่นที่มีมากอันเกิดจากปริมาณเส้นใยน้อยกับปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากทำให้แผ่นพองตัวน้อยที่สุด ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าการพองตัว

จากแผนภูมิที่ 3 แสดงการดูดซึมน้ำในเวลาหลัง 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ทำให้เห็นว่าแผ่นสูตร 40/60 ที่มีปริมาณเส้นใยมากจะมีช่วงของการดูดซึมน้ำที่กว้างมากถึง 8.93% แต่ยังมีค่าการดูดซึมน้ำที่ระดับต่ำที่สุดทั้งสองช่วงเวลา ส่วนในแผ่นสูตร 30/70 ที่มีเส้นใยน้อยกว่า

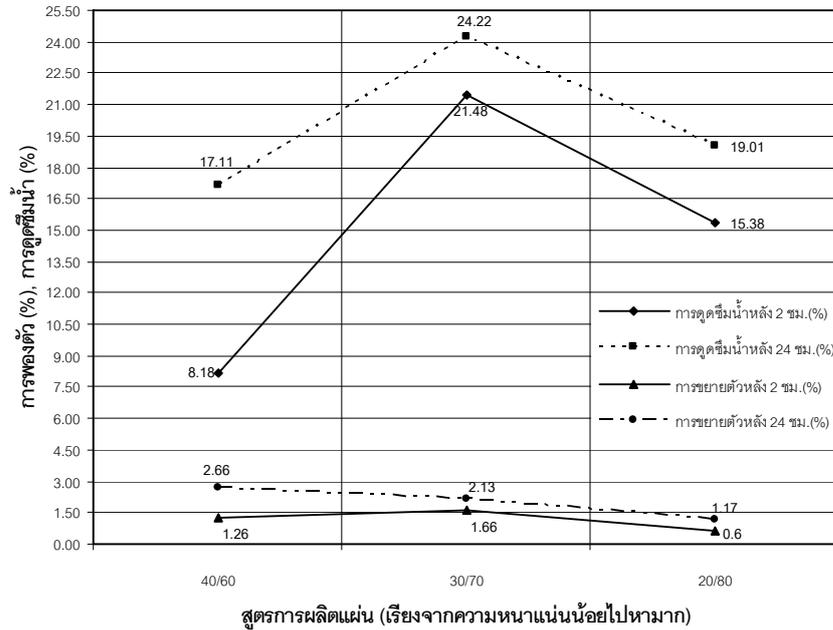
และมีความหนาแน่นที่มากกว่ากลับมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าและสูงที่สุดจากทั้ง 3 สูตร และใน ส่วนของแผ่นสูตร 20/80 ที่มีเส้นใยน้อยที่สุดและมีความหนาแน่นมากที่สุด มีค่าการดูดซึมน้ำใน ลำดับที่ 2 จากทั้ง 3 สูตร เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิที่ 4 แสดงการขยายตัวหลังแช่น้ำในเวลา 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ในแผ่นสูตร 20/80 ที่มีเส้นใยน้อยและมีความหนาแน่นมากที่สุดจะมีค่าการ ขยายตัวต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 สูตร ซึ่งค่าการขยายตัวเป็นผลโดยตรงกับปริมาณของเส้นใย และความหนาแน่น ส่วนแผ่นสูตร 30/70 ที่มีเส้นใยมากกว่าและมีความหนาแน่นต่ำสุดจึงมีค่า การขยายตัวสูงที่สุด กลับกันกับการดูดซึมน้ำที่มีค่าต่ำสุด ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากเส้นใยเซลลูโลส ต้นกล้วย ที่ต้องมีการศึกษาถึงคุณสมบัติต่อไป



แผนภูมิที่ 3 แสดงการดูดซึมน้ำในเวลาหลัง 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ของแผ่นซีเมนต์เส้นใย พืช ทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ 40/60



แผนภูมิที่ 4 แสดงการขยายตัวหลังแช่น้ำในเวลา 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ของแผ่นซีเมนต์เส้น ใยพืช ทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ 40/60



แผนภูมิที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของการดูดซึมน้ำและการพองตัวหลังแช่น้ำในเวลา 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ 40/60

2. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

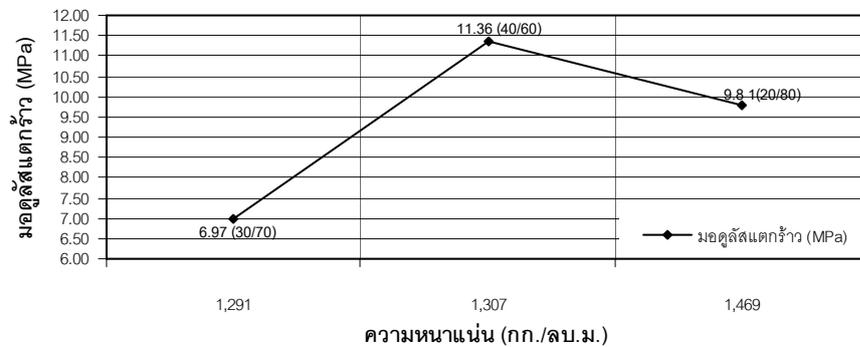
2.1 ผลการทดสอบความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น

(Modulus of rupture and elasticity testing)

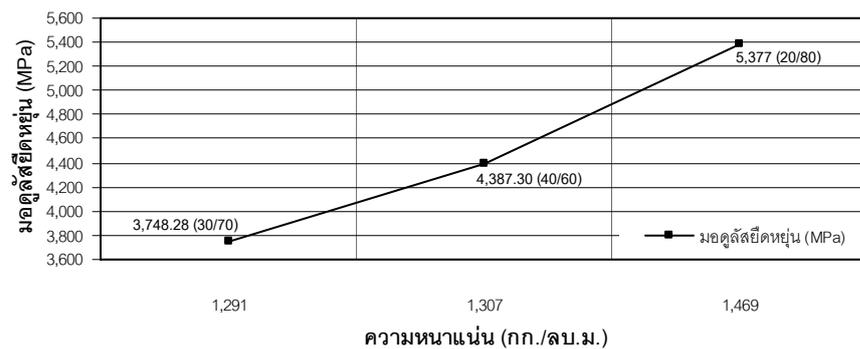
จากการทดสอบหาค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่นที่สูตรการผลิตเส้นใยตอปูนซีเมนต์ คือสูตร 20/80 30/70 และ 40/60 พบว่าระดับค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อสมบัติเชิงกล การทดสอบนี้ขึ้นทดสอบที่นำมาทดสอบในสูตร 40/60 มีความหนาแน่นสูงกว่าขึ้นทดสอบในสูตร 30/70 แต่น้อยกว่าขึ้นทดสอบในสูตร 20/80 เนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอจากขั้นตอนการอัดแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ทำให้เห็นอิทธิพลของความหนาแน่นต่อมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น

จากแผนภูมิที่ 6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่ามอดูลัสแตกร้าว ที่ค่าความหนาแน่นสูงขึ้นทำให้ค่ามอดูลัสแตกร้าวสูงขึ้นด้วย แต่จะพบอีกว่าปริมาณเส้นใยที่มากและมีค่าความหนาแน่นมากก็จะมีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสแตกร้าวให้สูงสุดได้จากแผนภูมิที่ 7 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ที่ทำให้เห็นว่าอิทธิพลของค่าความหนาแน่นกับปริมาณเส้นใยที่น้อยที่สุดของแผ่นมีผลทำให้ค่า

มอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นโดยตรง แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีมีอิทธิพลที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และปริมาณเส้นใยก็มีอิทธิพลที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสแตกกร้าว



แผนภูมิที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความต้านทานมอดูลัสแตกกร้าวของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ 40/60

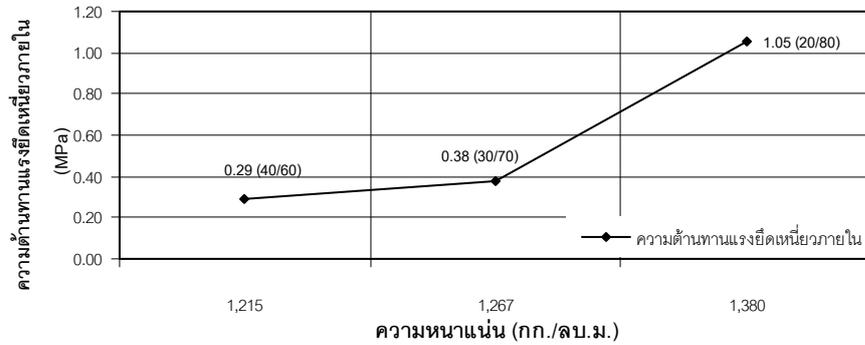


แผนภูมิที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ 40/60

2.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน (Tensile strength perpendicular to plane of board testing)

จากการทดสอบหาความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน จากสูตรที่ผลิตคือ สูตร 20/80 30/70 และ 40/60 พบว่าปริมาณเส้นใยมากขึ้นส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวภายในให้ลดลง จากแผนภูมิที่ 8 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายในที่สูตร 20/80 30/70 และ 40/60 พบว่าเส้นของกราฟจากสูตร 30/70 ไป 20/80 จะสูงมาก จะเห็นว่ามีค่าความหนาแน่นห่างกัน 113 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในสูงถึง 1.05 MPa. ห่างกันอยู่ 0.67 MPa. แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของค่าความหนาแน่นมีผลโดยตรงต่อแรงยึดเหนี่ยวภายในของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซี และยังพบอีกว่าปริมาณเส้นใยที่ต่างกัน

ในสูตร 30/70 และ 40/60 แต่ถ้ามีความหนาแน่นของแผ่นใกล้เคียงกัน (มีค่าความหนาแน่นห่างกัน 52 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในแผ่นไม่ต่างกันมาก ห่างกันอยู่เพียง 0.09 MPa.



แผนภูมิที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายในของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีทั้งหมด 3 สูตรคือ 20/80 30/70 และ 40/60

ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซี กับสินค้าชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ

ลำดับ	รายการเปรียบเทียบ	แผ่นซีเมนต์เส้นใยต้นกล้วย*			แผ่นวัสดุทดลอง**		หมายเหตุ	
		20/80	30/70	40/60	ยี่ห้อที่ 1	ยี่ห้อที่ 2		
1	น้ำหนักแผ่น ขนาด 10x10x1.2 ซม.	158.00	2 161.00	1 157.00	3	187.50	181.30	กรัม
2	ความหนาแน่น	1,348.00	3 1,290.00	2 1,232.00	1	1,350.00	1,300.00	กก./ม ³
3	มอดูลัสยืดหยุ่น	5,377.00	3 3,748.00	1 4,387.00	2	7,000.00	7,500.00	นิวตัน/ม ²
4	ความต้านทานแรงดัดโค้ง	9.81	2 6.97	1 11.36	3	17.00	—	MPa.
5	ปริมาณความชื้นในแผ่น	6.13	3 6.26	2 6.95	1	13.00	+3	%
6	การขยายตัวเมื่อแช่น้ำ (2 ชม.)	0.60	3 1.66	1 1.26	2	—	—	%
7	การขยายตัวเมื่อแช่น้ำ (24 ชม.)	1.17	3 2.13	2 2.66	1	0.19	—	%
8	การดูดซึมน้ำเมื่อแช่น้ำ (2 ชม.)	15.38	2 21.48	1 8.18	3	30-34	30	%ของน้ำหนัก
9	การดูดซึมน้ำเมื่อแช่น้ำ (24 ชม.)	19.01	2 24.22	1 17.11	3		—	%ของน้ำหนัก
10	ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	1.05	3 0.38	2 0.29	1	1.43	—	MPa.
	รวมคะแนน		26	14	20			

หมายเหตุ ให้คะแนนคุณสมบัติของแผ่น 1 = ดีน้อยที่สุด 2 = ดีปานกลาง 3 = ดีมากที่สุด

* เป็นข้อมูลจากการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. ** เป็นข้อมูลจากผู้ผลิต

การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงกล ทำให้ได้แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีที่มีสูตรการผลิตที่ดีที่สุด คือ สูตร 20/80

3. ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

จากการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงกล ทำให้ได้แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด คือ แผ่นสูตร 20/80 เพื่อนำมาทดสอบต่อในสมบัติเชิงความร้อน แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบคือ ทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity test) และทดสอบหาความสามารถในการลดความร้อน เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ

3.1 ผลการทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity Test ; k- Value)

จากการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-Value) โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ งานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyzer (Hot Disk AB) ใช้เทคนิค Thermal Constant Analysis (TCA) ได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-Value) เท่ากับ 0.2988 W/m. K (ดูตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ทดสอบแผ่นซีเมนต์เส้นใยต้นกล้วย ด้วยเทคนิค TCA.

Samples (W x L x T) (mm.)	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
	Output of Power (W)	Measuring Time (s)				
(50x50x12)	0.05	15	Thermal Conductivity (W/m. K)	0.2990 0.2980 0.2994	0.2988	0.0007
			Thermal Diffusivity (mm ² /s)	0.2488 0.2535 0.2480	0.2501	0.0030
			Specific Heat (MJ/m ² K)	1.2020 1.1750 1.2070	1.1947	0.0172

คำนวณหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance; C) โดยการแทนค่าในสูตร (ดูภาคผนวก ง.) ได้เท่ากับ 25 W/m² K นำมาเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาด ทั้ง 2 ยี่ห้อ (ดูตารางที่ 11) ทำให้พบว่ามีการนำความร้อนอยู่ระดับที่ 2 จาก

วัสดุทั้ง 3 แผ่น โดยวัสดุที่ให้ค่าดีที่สุด คือ แผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 2 แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 และแผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1 ตามลำดับ

การคำนวณหาค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistivity; R-Value) ทำการแทนค่าในสูตร (ดูภาคผนวก ข.) ได้เท่ากับ $0.04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ นำไปเปรียบเทียบกับเช่นเดียวกับค่าการนำความร้อน พบว่าได้ผลเช่นเดียวกันวัสดุที่ให้ค่าที่ดีที่สุด คือ แผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 2 แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 และแผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช กับสินค้าชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ

ลำดับ	รายการเปรียบเทียบ	แผ่นซีเมนต์เส้นใยต้นกล้วย	แผ่นวัสดุทดลอง		หน่วย
		20/80	ยี่ห้อที่ 1	ยี่ห้อที่ 2	
1	ความหนาแน่น	1,348.00	1,350.00	1,300.00	กก./ลบ.ม
2	น้ำหนักแผ่น ขนาด 0.10x0.10x0.012 ม.	158.00	187.50	183.00	กรัม
3	ค่าความนำความร้อน (Thermal Conductance; C)	25.00	33.33	18.33	$\text{W/m}^2 \text{ K}$
4	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, k-Value)	0.30	<0.40	0.22	W/m. K
5	ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance; R-Value)	0.04	0.03	0.05	$\text{m}^2 \text{ K/W}$

แต่เมื่อพิจารณาจากน้ำหนัก : ปริมาตรของแผ่น พบว่าแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีความหนาแน่นของแผ่นน้อยที่สุด และคาดได้ว่าน้ำหนักของเส้นใยในแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีมากกว่าวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาดทั้ง 2 ยี่ห้อ ซึ่งสังเกตได้จากแผ่นมีขนาดเท่ากันแต่น้ำหนักน้อยที่สุด (ดูตารางที่ 11) เนื่องจากการศึกษานี้ไม่สามารถบอกถึงน้ำหนัก และชนิดของเส้นใยที่ผสมอยู่ในวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาดทั้ง 2 ยี่ห้อได้ ทำให้ไม่สามารถบอกถึงอิทธิพลของน้ำหนัก และชนิดของเส้นใยที่แตกต่างกันได้ แต่จากข้อสังเกตด้านความหนาแน่นของแผ่น และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-Value) แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นมีผลต่อการนำความร้อน การหาค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 จะทำให้ทราบถึงความสามารถในการเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนของวัสดุได้

สอดคล้องกับการศึกษาในบทที่ 2 ข้อ 2.2.3 คุณสมบัติความเป็นฉนวนของ เส้นใยเซลลูโลส ที่บรรยายถึง ค่าความหนาแน่นที่ค่าหนึ่งของวัสดุใดๆ ที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกัน ความร้อน มีผลทำให้สภาพการนำความร้อนปรากฏที่เกิดขึ้นลดลง ดังนี้

การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวน ที่ค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งของวัสดุที่นำมาผลิต เป็นฉนวนกันความร้อนใดๆ นั้น สภาพการนำความร้อนปรากฏ (Apparent Thermal Conductivity) ที่เกิดขึ้นจะลดลง เนื่องจากการพาความร้อนโดยอากาศภายในฉนวนกันความร้อนนั้นลดลง เพราะการลดขนาดของช่องอากาศระหว่างเซลล์ของเส้นใยที่ทำให้อากาศภายในฉนวนกันความร้อน หยุดิ่งไม่เคลื่อนที่จนมีสภาพเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดี... เมื่อความหนาแน่นของวัสดุหรือ ฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยสู่เส้นใย และพื้นผิวสู่ พื้นผิวจะลดลง ทำให้สภาพการนำความร้อนปรากฏลดลงด้วย จนกระทั่งเมื่อค่าความหนาแน่น เพิ่มขึ้นเส้นใยหรือเซลล์ต่อเชื่อมกันจนเป็นเนื้อเดียวกัน จะเกิดการนำความร้อนขึ้นภายในวัสดุจนถึง จุดที่การแผ่รังสีความร้อนที่ลดลง มีค่าน้อยกว่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น (จากผลของการเพิ่มความ หนาแน่นของวัสดุที่ทำให้เส้นใยชิดกันมากขึ้น) สภาพการนำความร้อนปรากฏจะเริ่มเพิ่มขึ้น... ดังนั้น ฉนวนกันความร้อนที่ดี จึงควรเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าสภาพการนำความร้อนปรากฏ ต่ำสุด(กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน 2543 : 8)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความ ร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่มีขายอยู่ในท้องตลาด พบว่าเมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะมีแนวโน้มที่ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, k-Value) สูงขึ้น (ดูตารางที่ 12) แต่ก็ ต้องพิจารณาน้ำหนักของแผ่นที่จะบอกถึงปริมาณของเส้นใยที่ผสมอยู่ในแผ่นนั้นๆ ด้วย เพราะจะมี ผลต่อค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมค่าหนึ่งของวัสดุใดๆ ที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน

ตารางที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

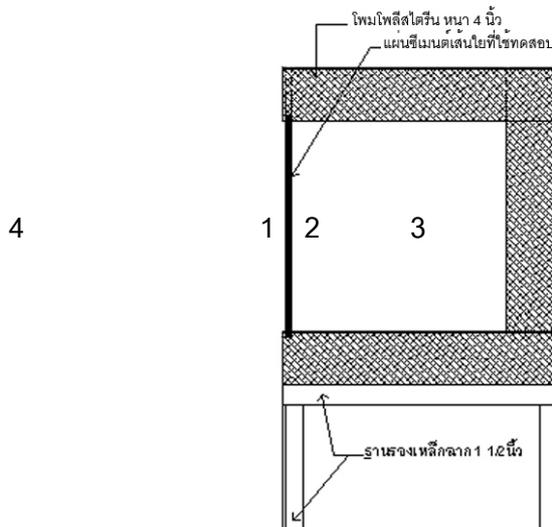
ชื่อสินค้า รายการเปรียบเทียบ	Soben* Weather Pro	แผ่นวัสดุ ทดลอง	แผ่นวัสดุ ทดลอง	สมาร์ท* บอร์ด	Eterpan* LD	หน่วย
		ยี่ห้อที่ 1*	ยี่ห้อที่ 2*			
ความหนาแน่น	1,420-1,490	1,350.00	1,300.00	1,260.00	988-1,031.00	กก./ลบ.ม
น้ำหนักแผ่น ขนาด 0.10x0.10x0.012 ม.	-	187.50	183.00	181.25	120.00	กรัม
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, k-Value)	0.23	<0.40	0.22	0.084	0.28	W/m. K

ที่มา : * จากเอกสารแผ่นพับ

3.2 ผลการทดสอบหาความสามารถในการลดความร้อน

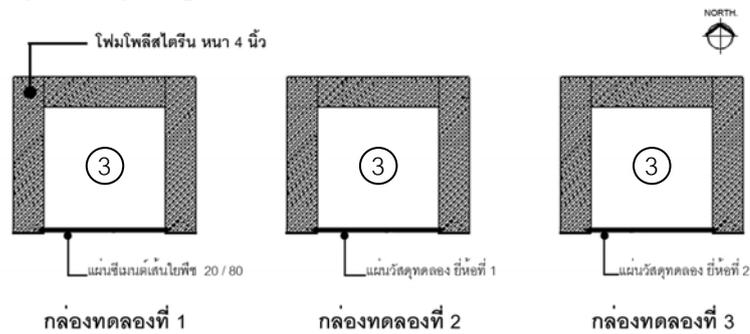
การทดสอบการลดความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 เปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการลดความร้อนของวัสดุ โดยการทดสอบด้วยกล่องทดลอง มีกล่องทดลองจำนวน 3 กล่อง (ดูรายละเอียดบทที่ 3 ข้อ 3.2.4) กำหนดตำแหน่งจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิ (ดูภาพที่ 58) ทั้งหมด 4 จุด คือ จุดที่ 1 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่อง จุดที่ 2 อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง จุดที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง และจุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 1-3 เมษายน 2550

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาความสามารถในการลดความร้อน แบ่งเป็น 2 กรณี คือ วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ทั้ง 3 กล่องทดลอง ของทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง



ภาพที่ 58 แสดงจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิคือ จุดที่ 1 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอก จุดที่ 2 อุณหภูมิผิวผนังด้านใน จุดที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง และจุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายนอก

การวิเคราะห์ผลจุดที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง ในวันที่ 1-3 เมษายน 2550



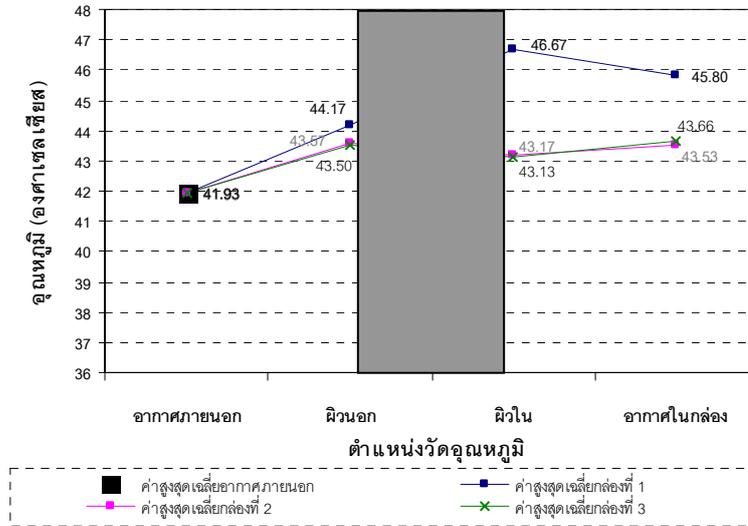
ภาพที่ 59 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง วัสดุทดลอง และตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง

จากแผนภูมิที่ 11 วิเคราะห์ผลจุดที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ของทั้ง 3 กล่องทดลอง ในช่วงเวลา 6.00-18.00 นาฬิกา พบว่าทั้ง 3 กล่องทดลองมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุด อยู่ในช่วง $42.1 - 46.7^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลา 13.00-15.00 นาฬิกา ซึ่งแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุด สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง $2.5 - 2.7^{\circ}\text{C}$ และเฉลี่ยทั้ง 3 วันที่ทำการทดลองเท่ากับ 2.57°C (ดูแผนภูมิที่ 9)

กลางวัน อุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ย ในช่วงเวลา 6.00-18.00 นาฬิกา พบว่าทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ พิจารณาจากกล่องทดลองที่ 1 ถึง 3 เป็นรายวัน วันที่ 1 คือ 39.63°C 37.92°C 37.97°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ อยู่ที่ 1.69°C วันที่ 2 คือ 39.36°C 37.61°C 37.65°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ อยู่ที่ 1.73°C และวันที่ 3 คือ 38.87°C 37.25°C 37.29°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ อยู่ที่ 1.6°C และเฉลี่ยทั้ง 3 วันที่ทำการทดลองเท่ากับ 1.67°C สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง เฉลี่ยอยู่ที่ 2.51°C (ดูแผนภูมิที่ 10)

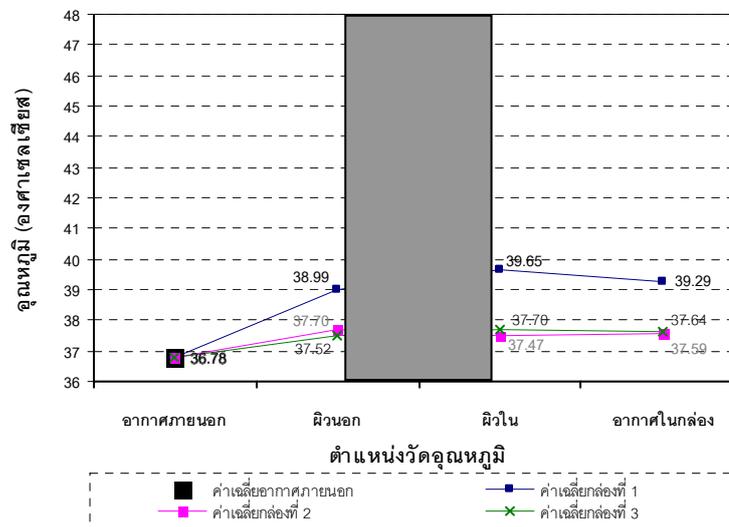
กลางคืน อุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ย ในช่วงเวลา 18.01-5.59 นาฬิกา พบว่าทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยอยู่ที่ 29.77°C สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ เฉลี่ยอยู่ที่ 0.46°C

จากการวิเคราะห์ผลทำให้สรุปได้ว่า แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ยังมีความสามารถในการลดความร้อนได้ ต่ำกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ



แผนภูมิที่ 9

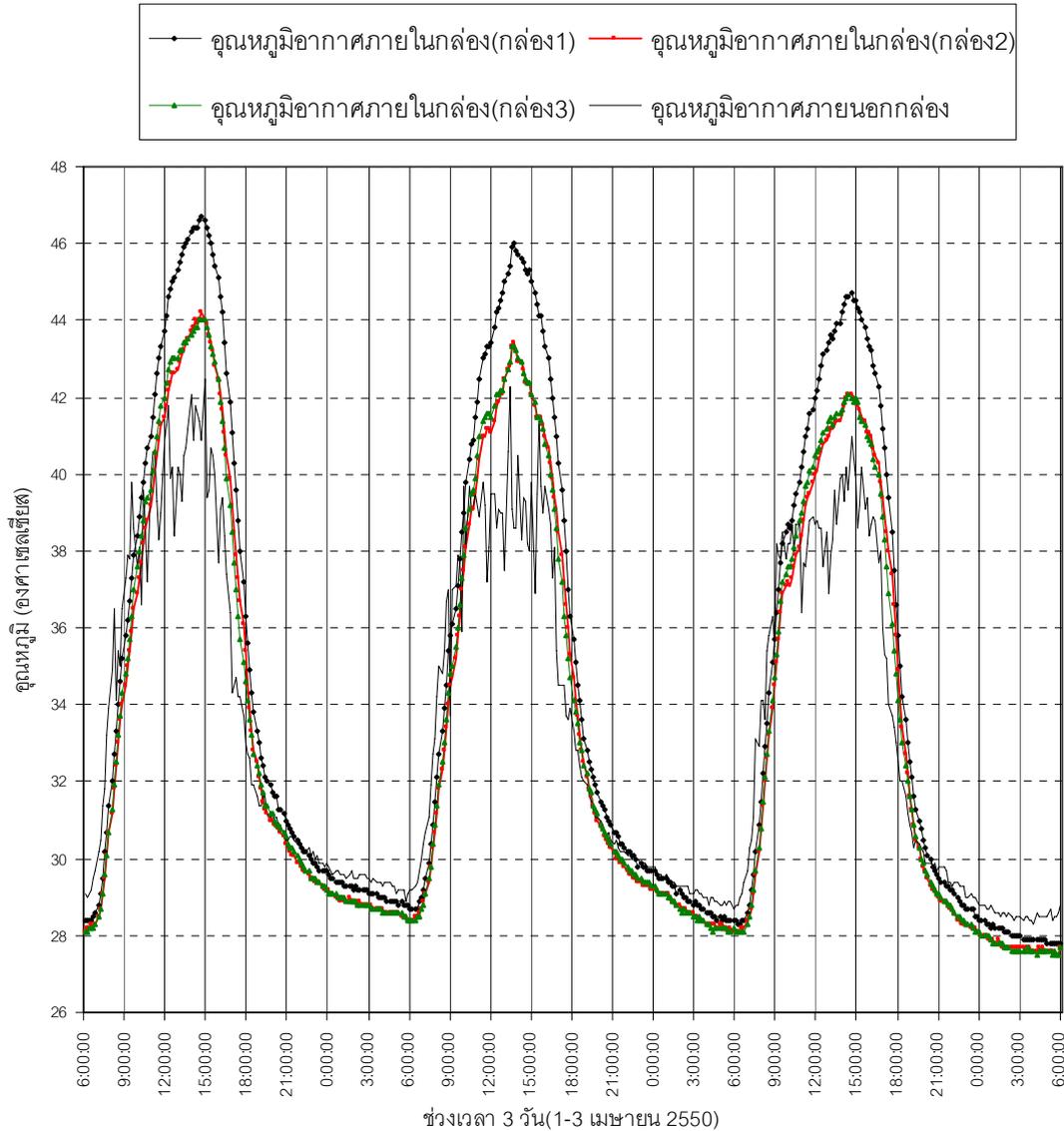
เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง ของทั้ง 4 ตำแหน่ง ระหว่างกล่องทดลองที่ 1 (แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร20/80) กล่องทดลองที่ 2 (แผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1) และกล่องทดลองที่ 3 (แผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 2)



แผนภูมิที่ 10

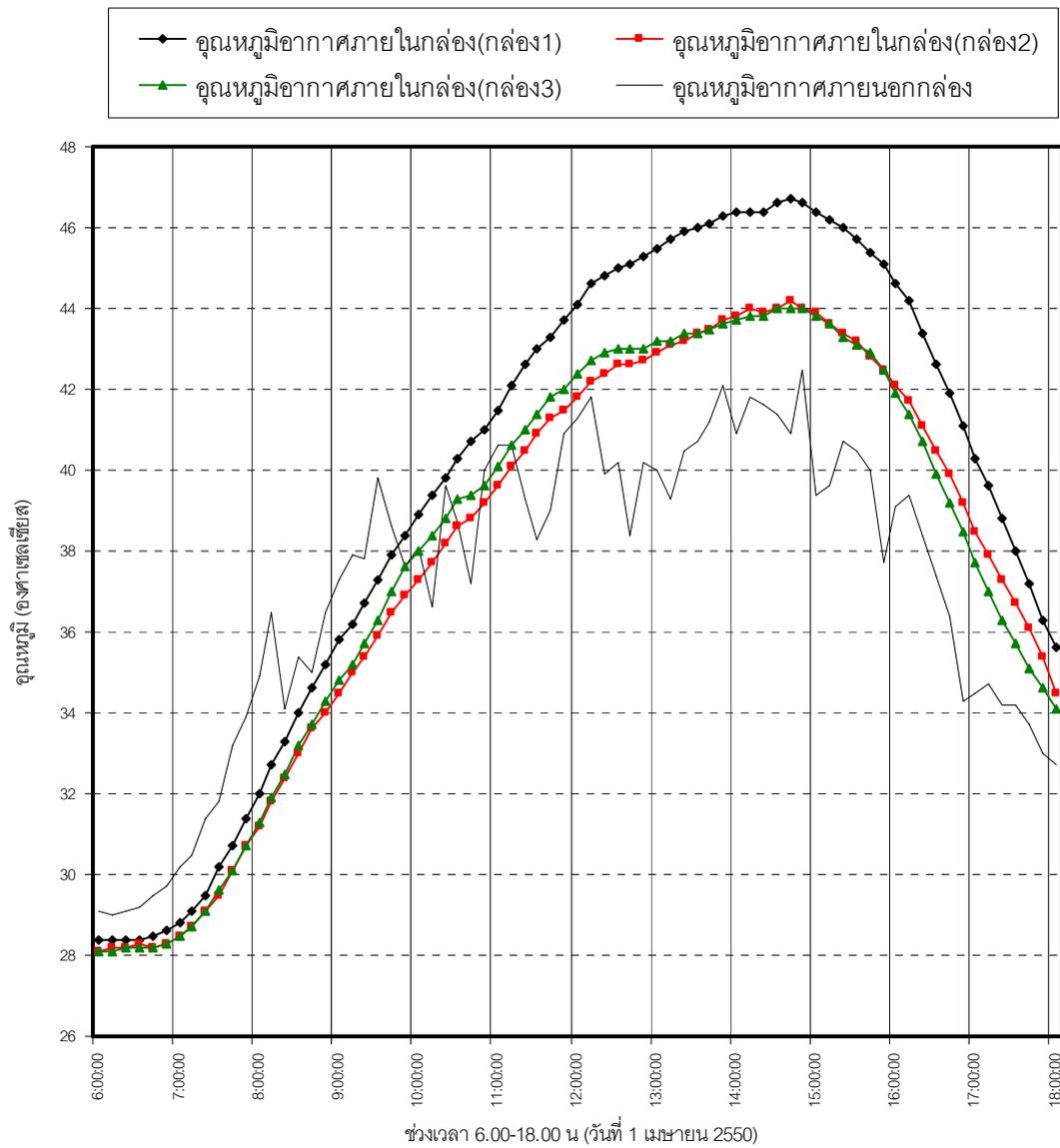
เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย ทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง ของทั้ง 4 ตำแหน่ง ระหว่างกล่องทดลองที่ 1 (แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร20/80) กล่องทดลองที่ 2 (แผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1) และกล่องทดลองที่ 3 (แผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 2) ในช่วงเวลา 6.00-18.00 นาฬิกา วันที่ 1-3 เมษายน 2550

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง



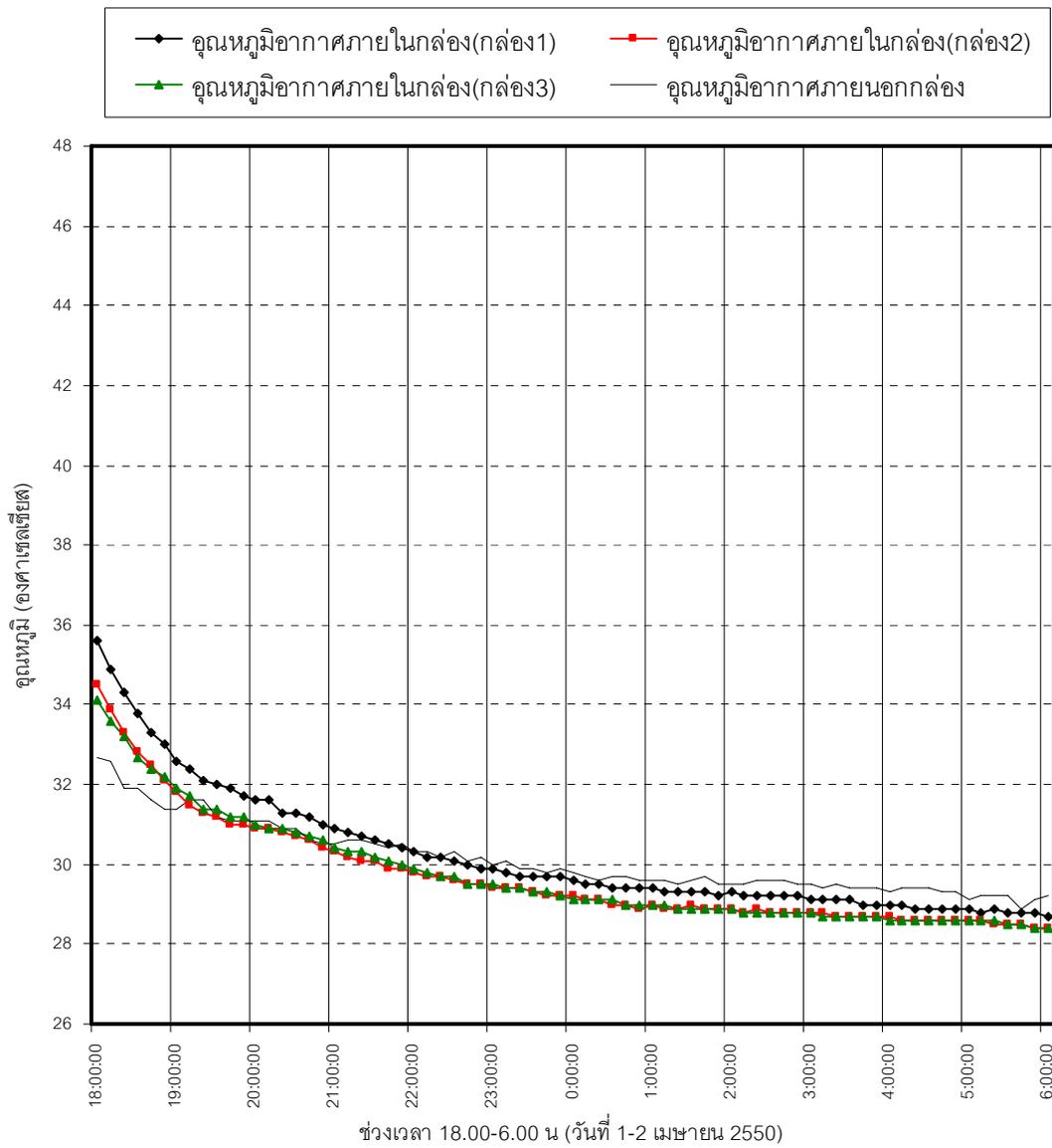
แผนภูมิที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1-3 เมษายน 2550 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง



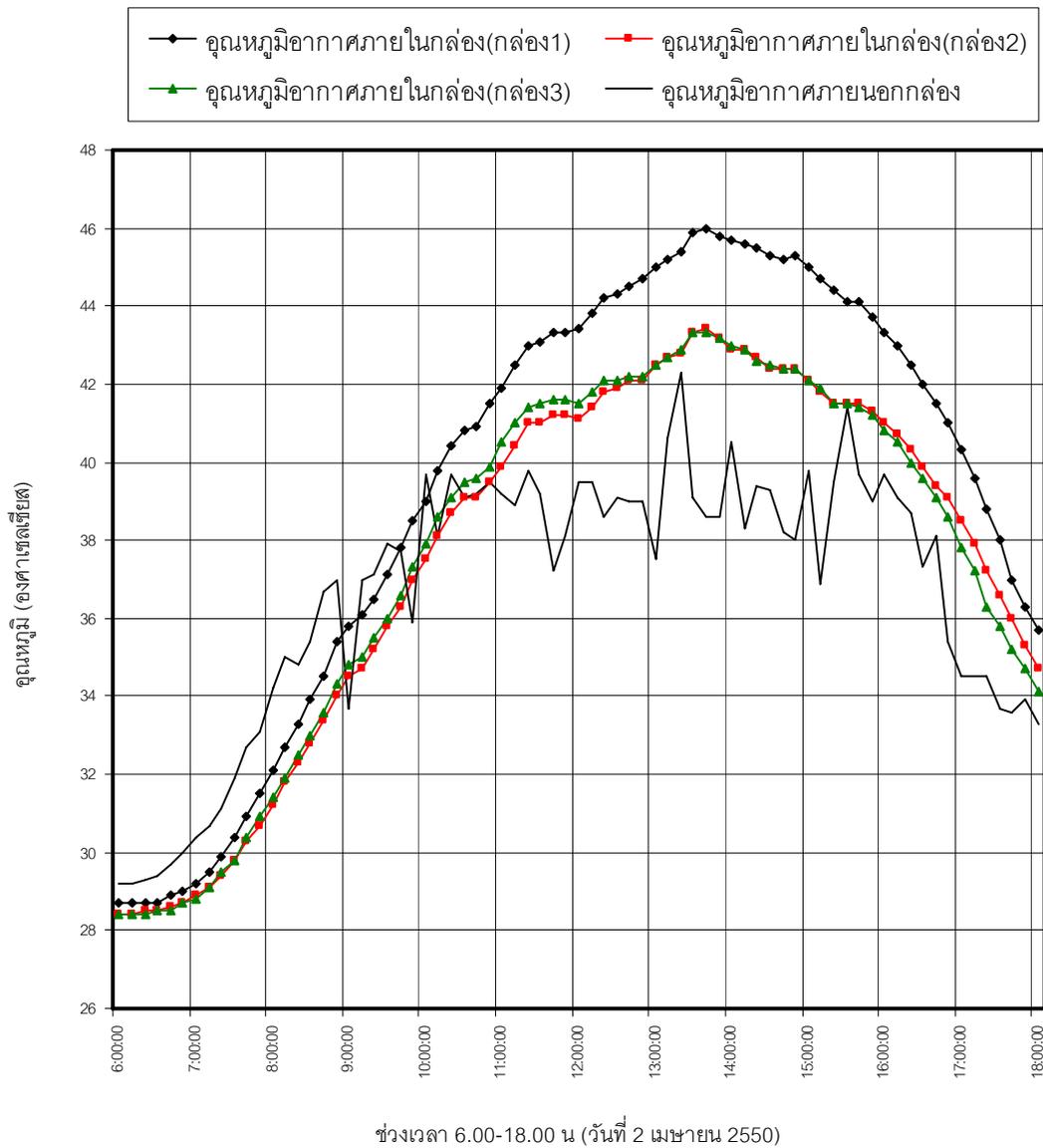
แผนภูมิที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1 เมษายน 2550 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง



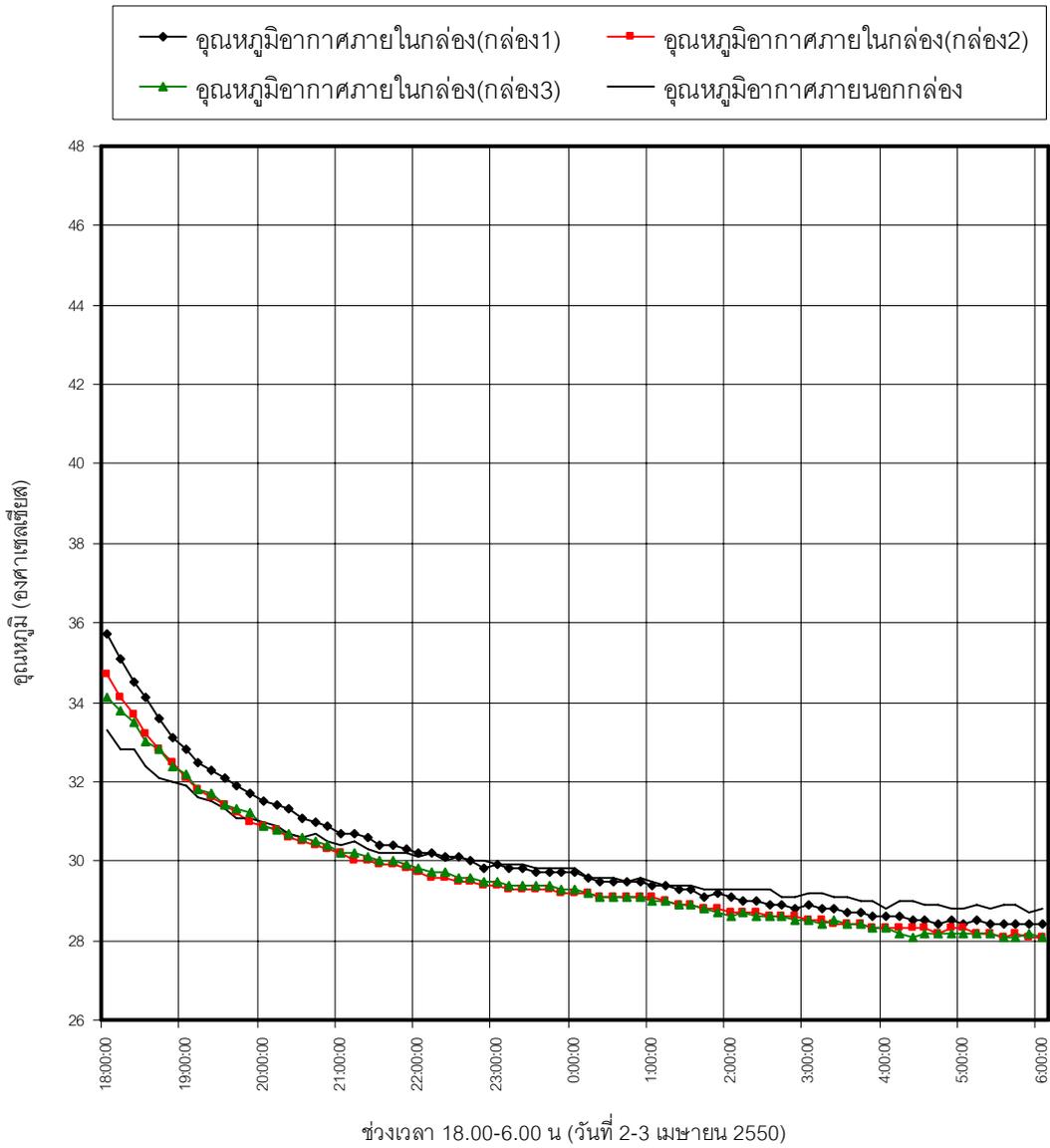
แผนภูมิที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1-2 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง



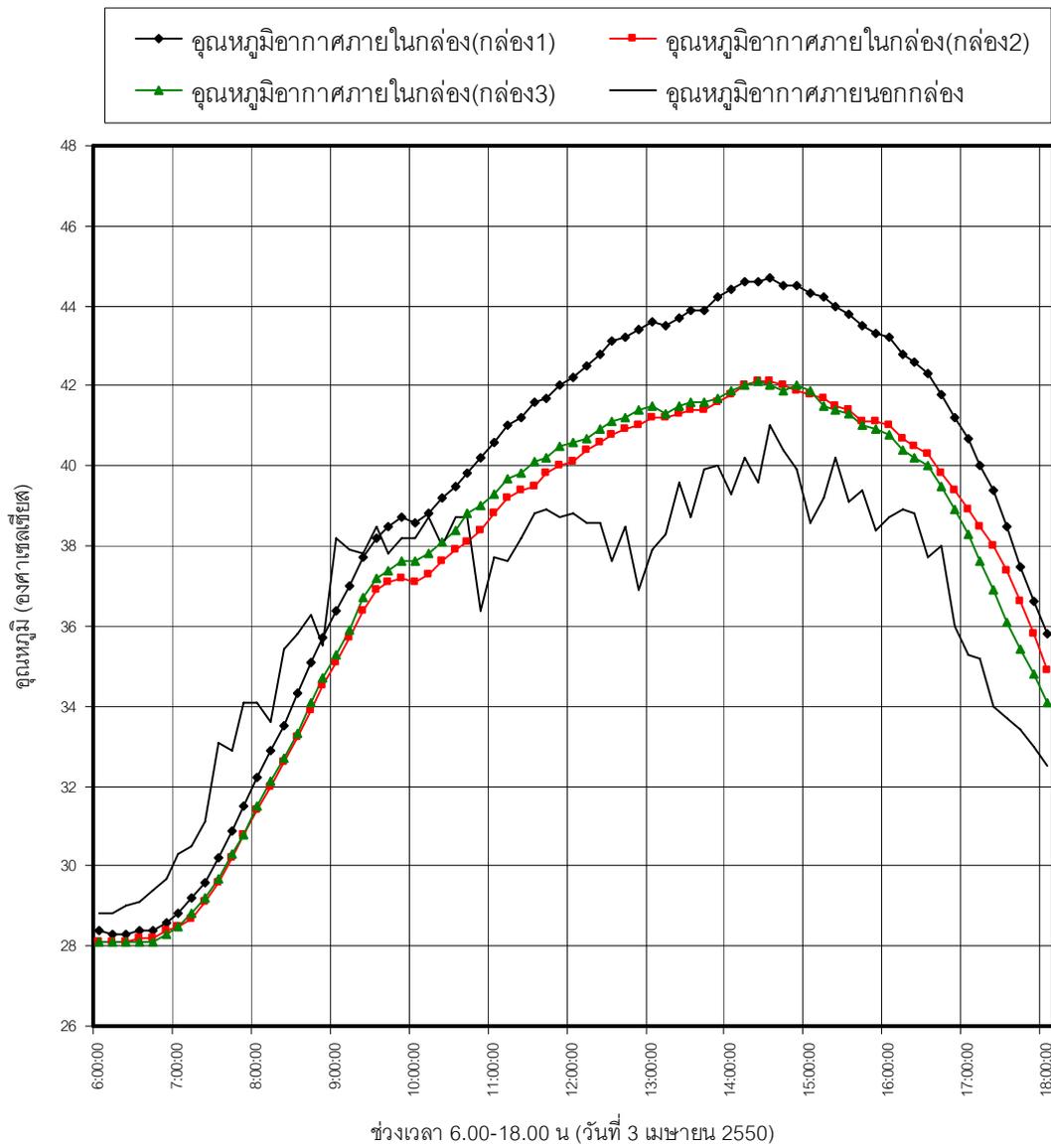
แผนภูมิที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 2 เมษายน 2550 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง



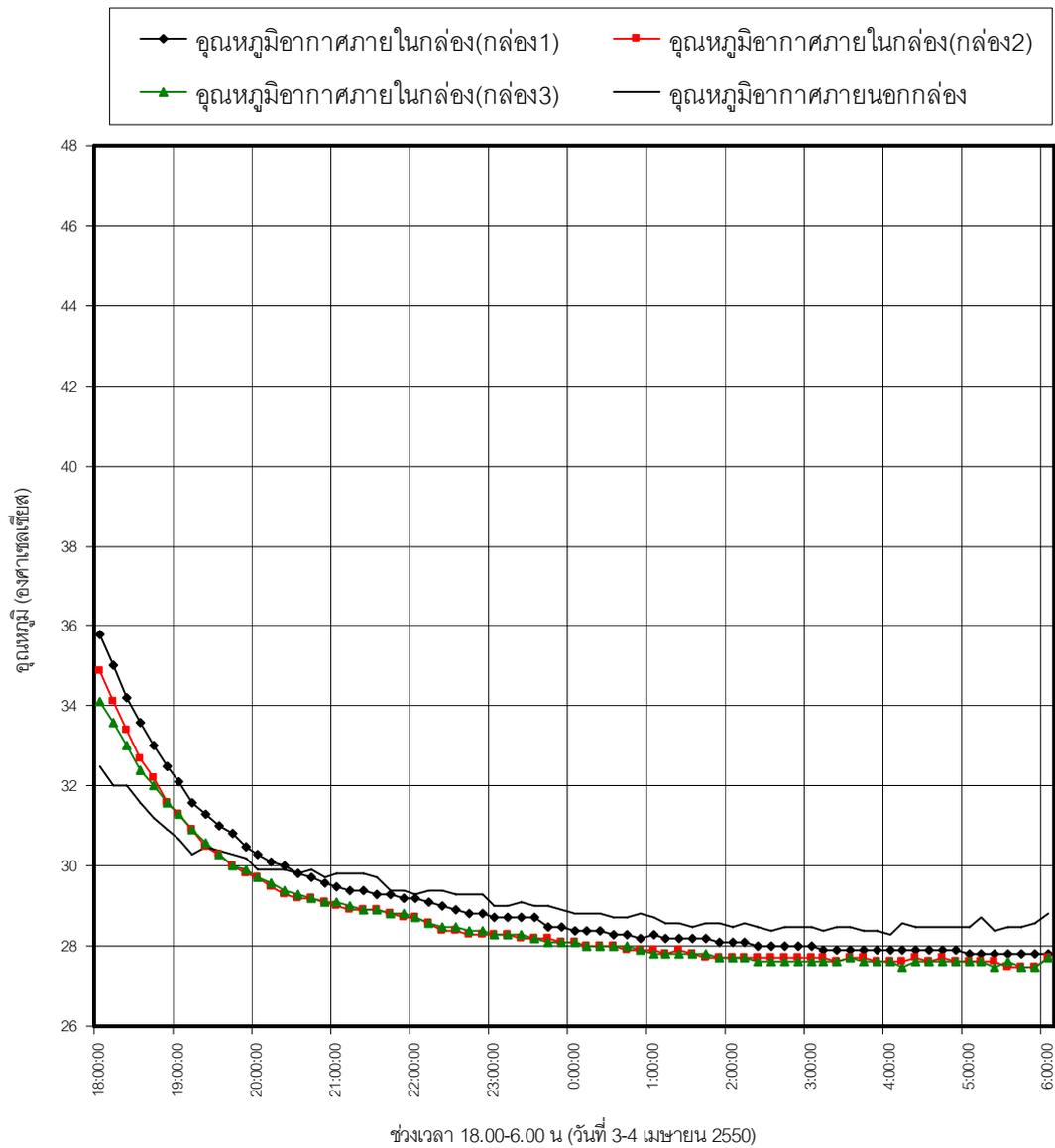
แผนภูมิที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 2-3 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง



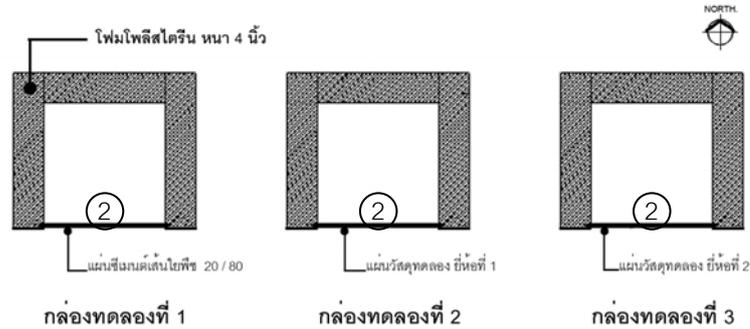
แผนภูมิที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 3 เมษายน 2550 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง



แผนภูมิที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 3-4 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

การวิเคราะห์ผลจุดที่ 2 อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องทดลอง ในวันที่ 1-3 เมษายน 2550



ภาพที่ 59 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง วัสดุทดลอง และตำแหน่งวัดอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง

จากแผนภูมิที่ 18 เป็นการวิเคราะห์ผลจุดที่ 2 อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง ของทั้ง 3 กล่องทดลอง ในช่วงเวลา 6.00-18.00 นาฬิกา พบว่าทั้ง 3 กล่องทดลองมีอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องสูงสุด อยู่ในช่วง $42.1 - 47.6^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลา 13.00-15.00 นาฬิกา ซึ่งแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องสูงสุด สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง $2.9 - 4.7^{\circ}\text{C}$ และเฉลี่ยทั้ง 3 วันที่ทำการทดลองเท่ากับ 3.52°C (ดูแผนภูมิที่ 9)

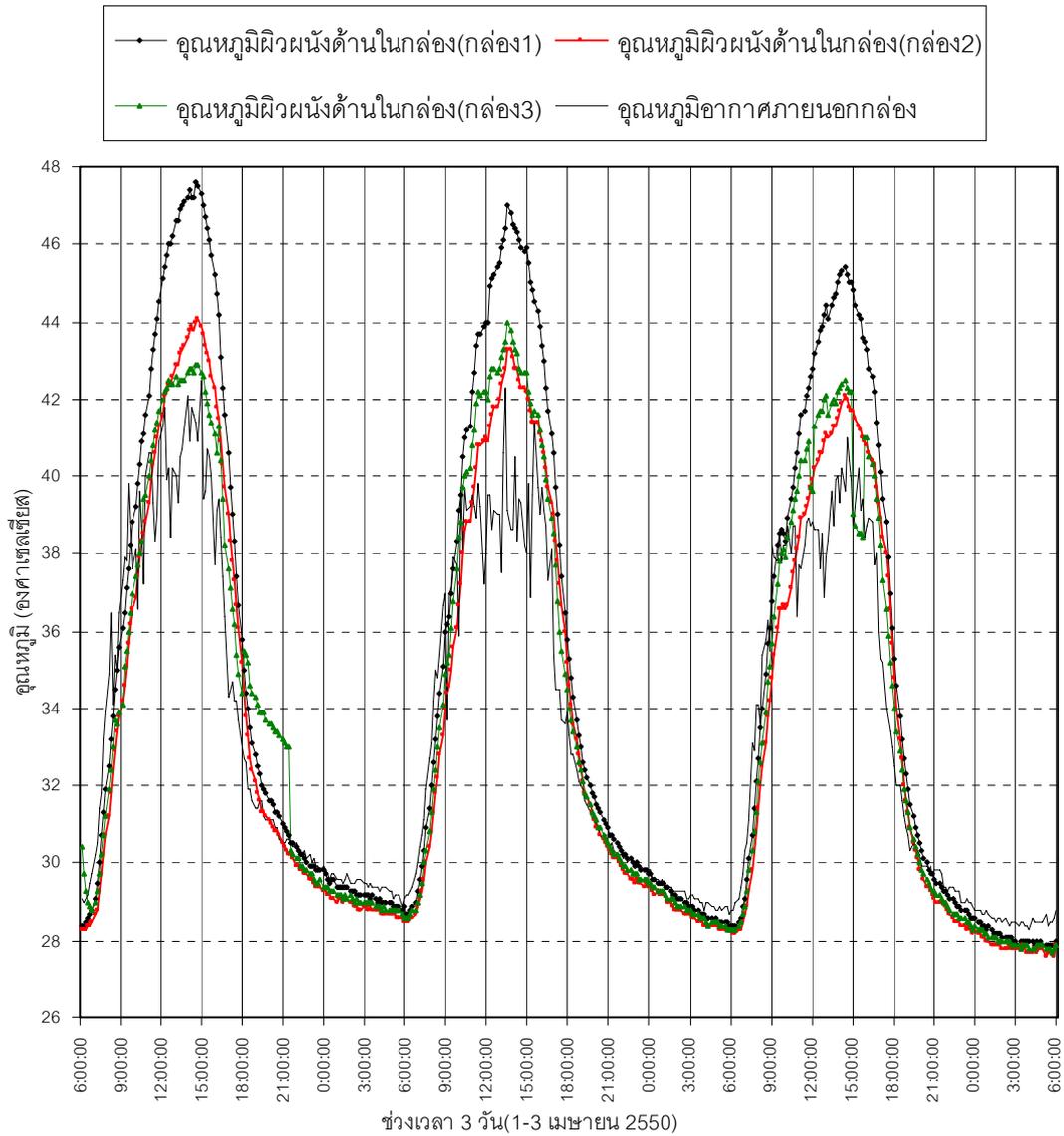
กลางวัน อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องเฉลี่ย ในช่วงเวลา 6.00-18.00 นาฬิกา พบว่าทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องเฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ เมื่อพิจารณาจากกล่องทดลองที่ 1 ถึง 3 เป็นรายวัน วันที่ 1 คือ 40.02°C 37.79°C 37.66°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ อยู่ที่ 2.30°C วันที่ 2 คือ 39.75°C 37.52°C 38.03°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ อยู่ที่ 1.98°C และวันที่ 3 คือ 39.17°C 37.11°C 37.40°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้ออยู่ที่ 1.92°C และเฉลี่ยทั้ง 3 วันที่ทำการทดลองเท่ากับ 2.07°C สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง เฉลี่ยอยู่ที่ 2.87°C (ดูแผนภูมิที่ 10)

กลางคืน อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องเฉลี่ย ในช่วงเวลา 18.01-5.59 นาฬิกา พบว่าทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง เฉลี่ยอยู่ที่ 29.79°C สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ เฉลี่ยอยู่ที่ 0.22°C

สังเกตเห็นว่าแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง สูงกว่าทั้ง 2 กล่องทดลองในช่วงกลางวัน แต่ในช่วงกลางคืนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน (ดูแผนภูมิที่ 19-24) แสดงให้เห็นว่าที่บริเวณผิวผนังด้านในกล่องของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีการสะสม

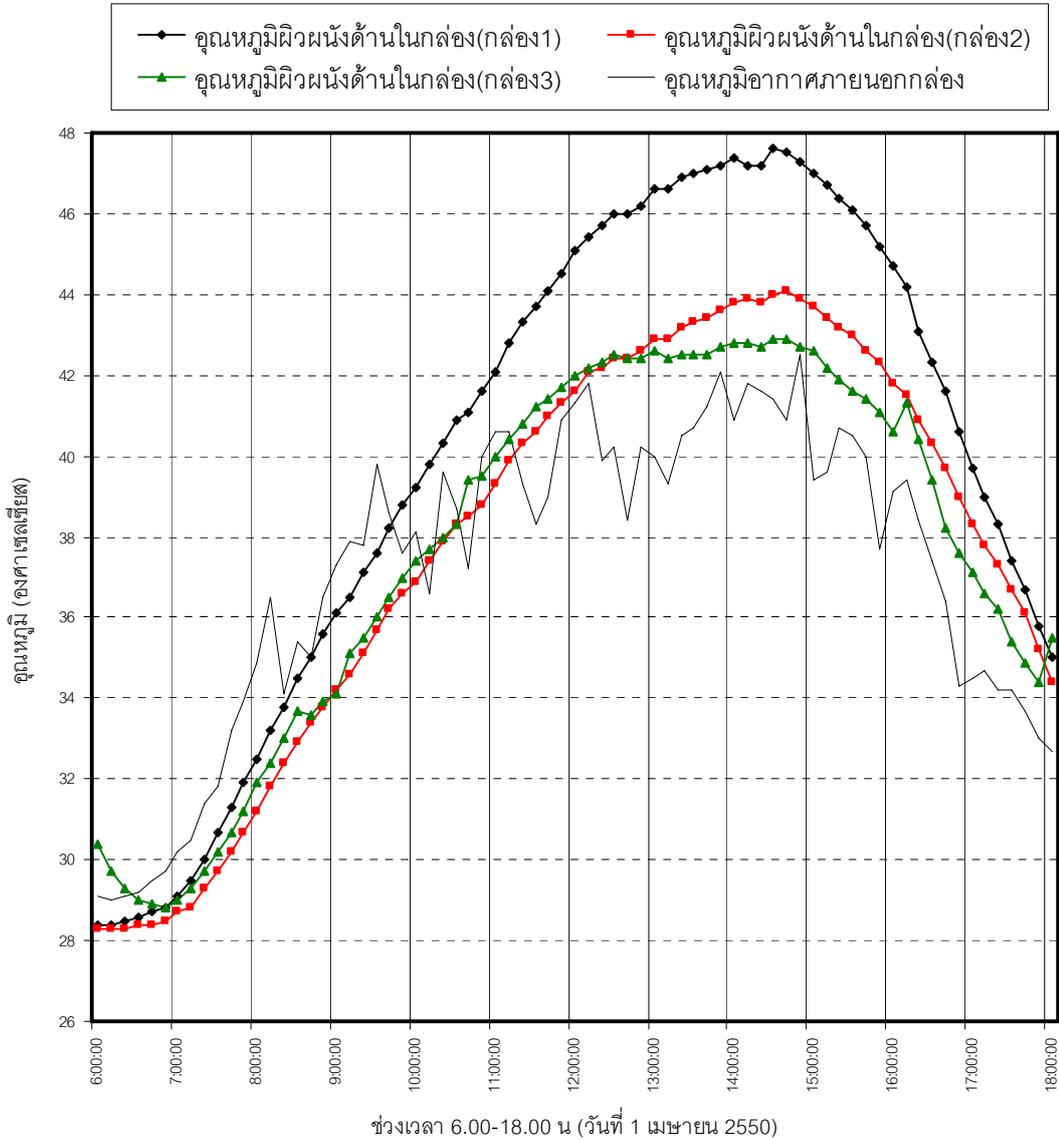
ความร้อนในช่วงกลางวันไว้มาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังด้านในกล่องไปสู่
อากาศภายในกล่อง ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงอยู่ตลอดทั้งวัน

อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องทดลอง



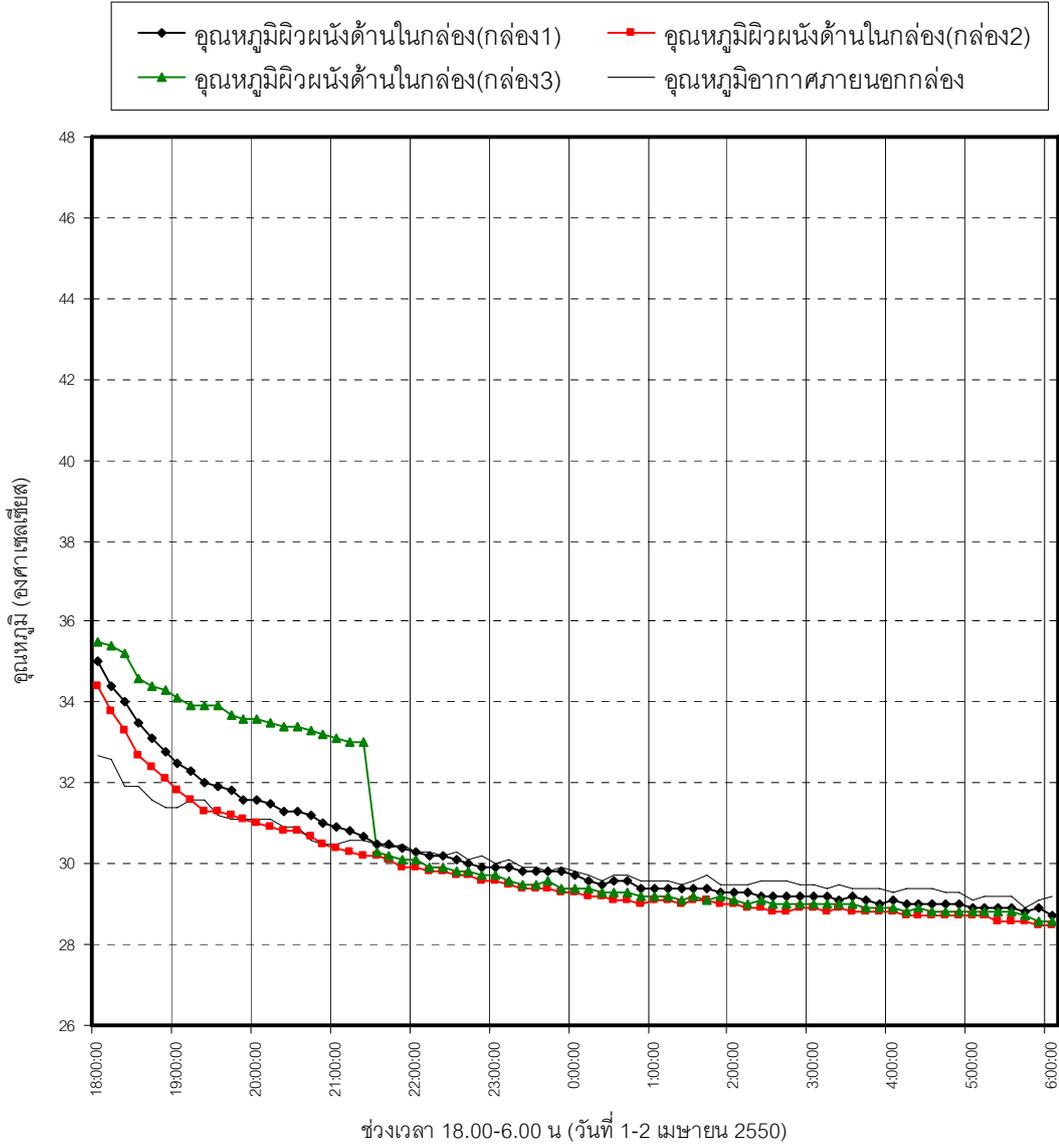
แผนภูมิที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง
กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1-3 เมษายน 2550
สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องทดลอง



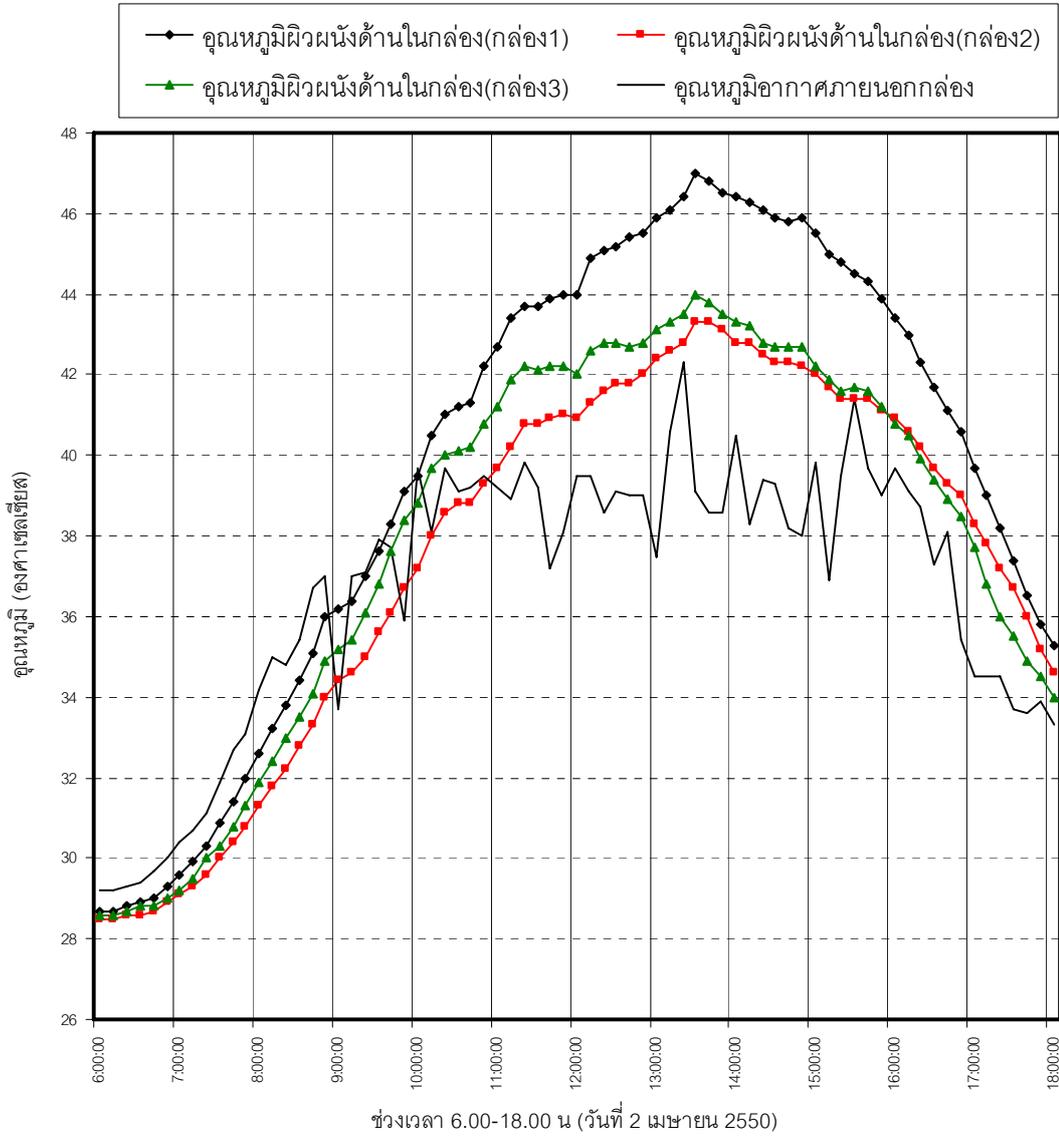
แผนภูมิที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1 เมษายน 2550 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องทดลอง



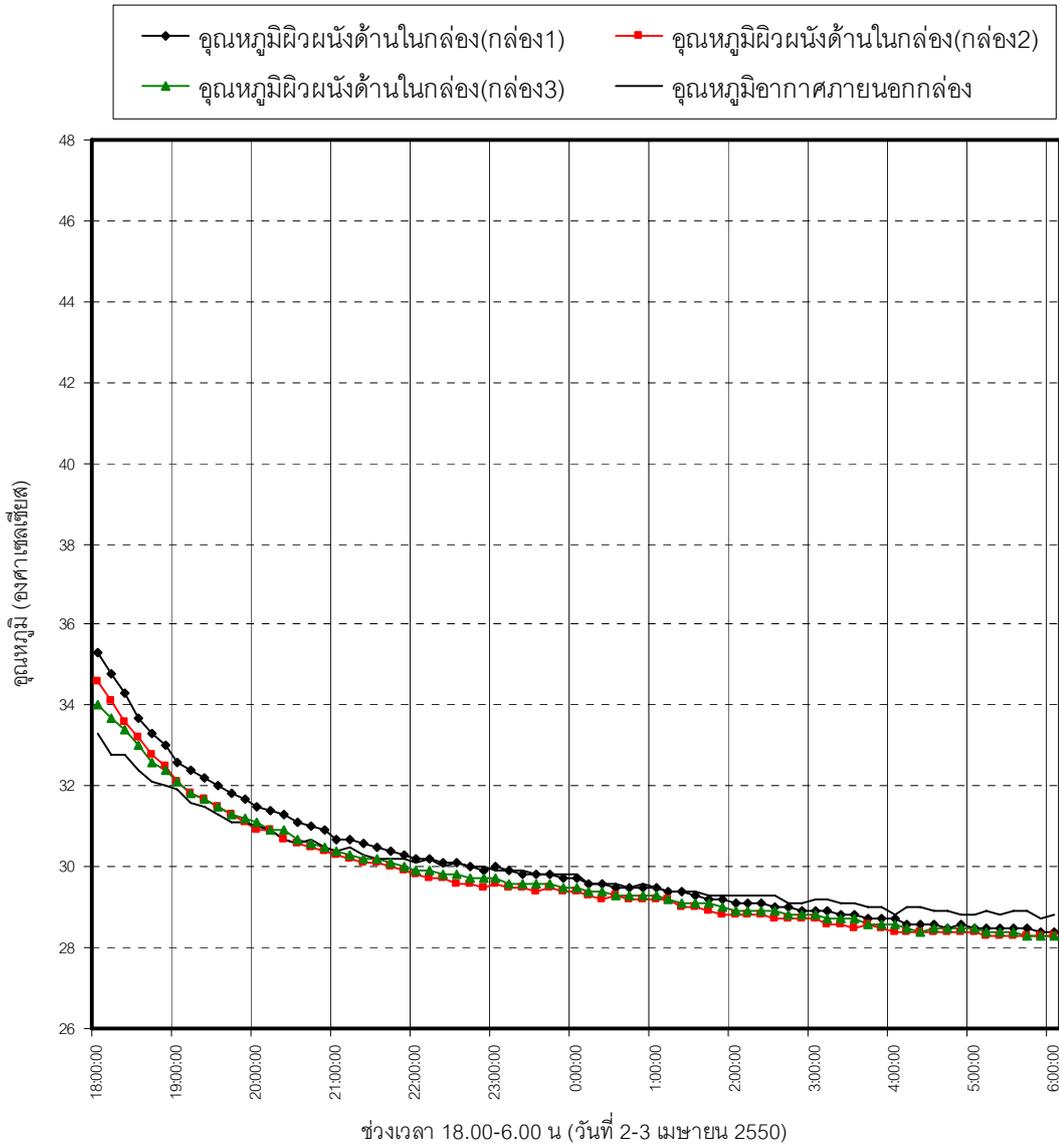
แผนภูมิที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1-2 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องทดลอง



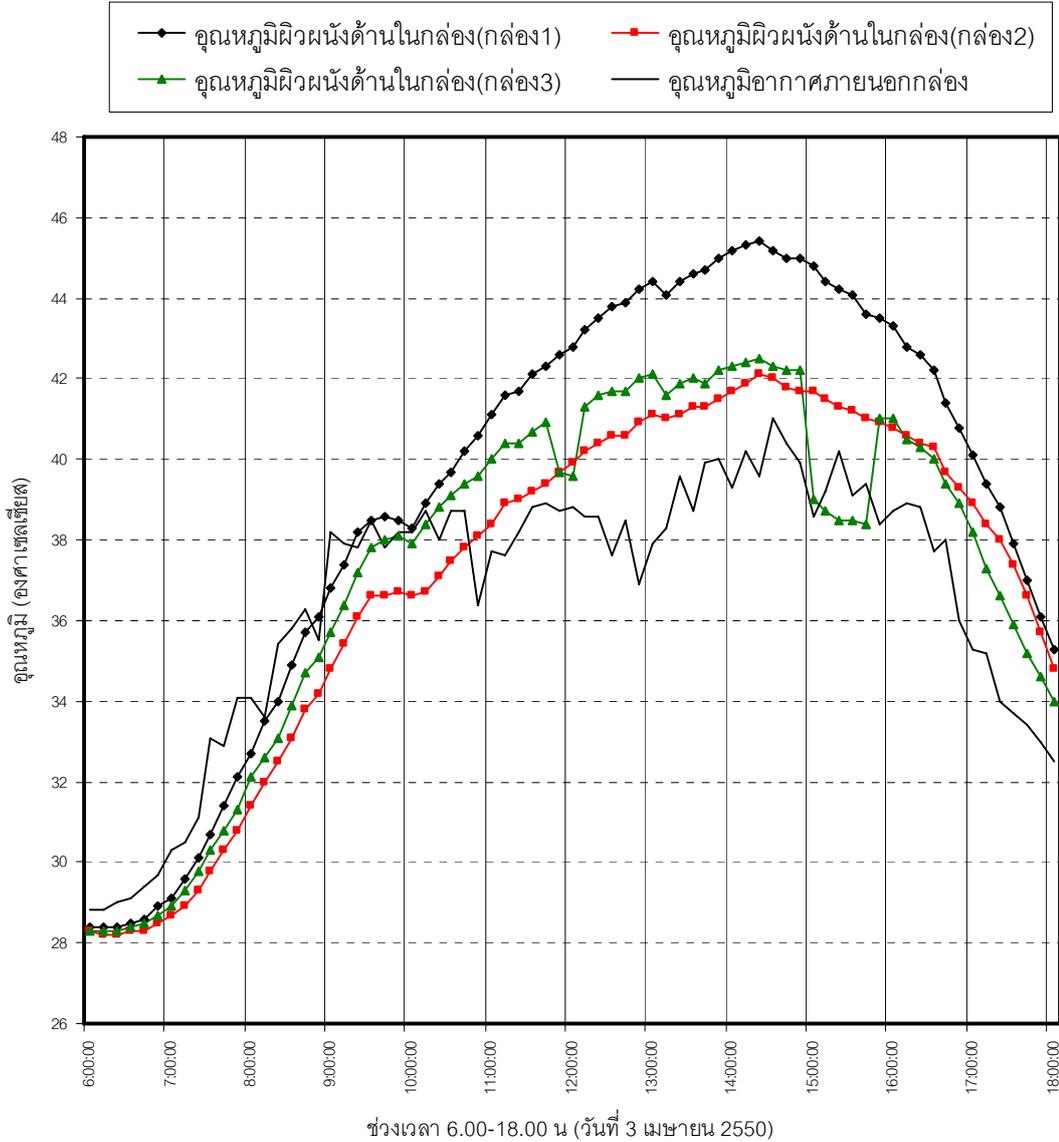
แผนภูมิที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 2 เมษายน 2550 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องทดลอง



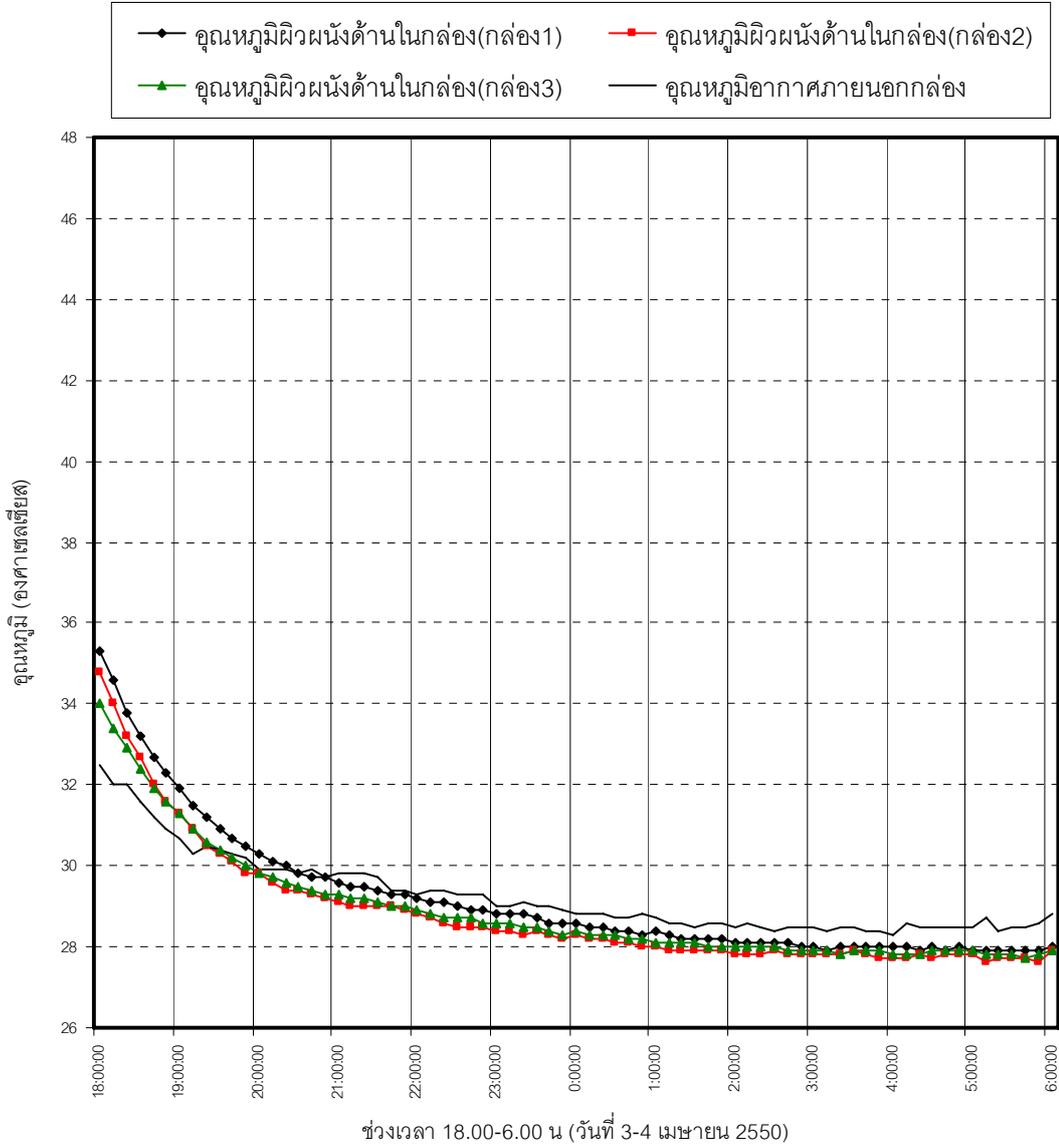
แผนภูมิที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 2-3 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องทดลอง



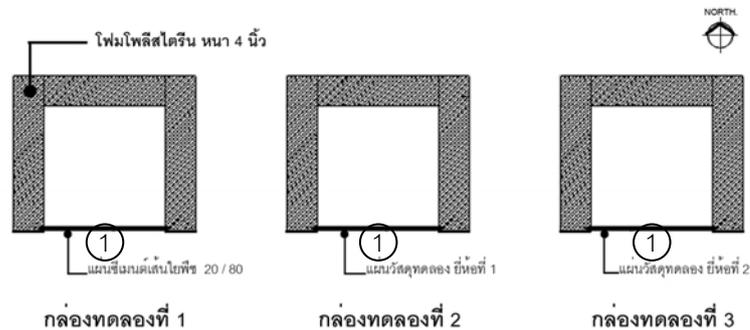
แผนภูมิที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกนอกกล่อง วันที่ 3 เมษายน 2550 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องทดลอง



แผนภูมิที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่อง ทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 3-4 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

การวิเคราะห์ผลจุดที่ 1 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทดลอง ในวันที่ 1-3 เมษายน 2550



ภาพที่ 60 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง วัสดุทดลอง และตำแหน่งวัดอุณหภูมิผิวผนัง ด้านนอกกล่อง

จากแผนภูมิที่ 25 เป็นการวิเคราะห์ผลจุดที่ 1 อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่อง ของทั้ง 3 กล่องทดลอง ในช่วงเวลา 6.00-18.00 นาฬิกา ได้พบว่าทั้ง 3 กล่องทดลองมีอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องสูงสุด ของทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง อยู่ในช่วง $42.2 - 46.2^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลา 13.00-15.00 นาฬิกา ซึ่งแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องสูงสุด สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง $1.5 - 2.2^{\circ}\text{C}$ และเฉลี่ยทั้ง 3 วันที่ทำการทดลองเท่ากับ 1.83°C (ดูแผนภูมิที่ 9)

กลางวัน อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องเฉลี่ย ในช่วงเวลา 6.00-18.00 นาฬิกา พบว่าทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องเฉลี่ย สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ เมื่อพิจารณาจากกล่องทดลองที่ 1 ถึง 3 เป็นรายวัน ในวันที่ 1 คือ 39.35°C 37.89°C 38.23°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ อยู่ที่ 1.29°C วันที่ 2 คือ 39.06°C 37.51°C 37.94°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ อยู่ที่ 1.34°C และวันที่ 3 คือ 38.56°C 37.17°C 37.46°C ตามลำดับ เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ อยู่ที่ 1.24°C เฉลี่ยทั้ง 3 วันที่ทำการทดลองเท่ากับ 1.29°C สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง เฉลี่ยอยู่ที่ 2.21°C (ดูแผนภูมิที่ 10)

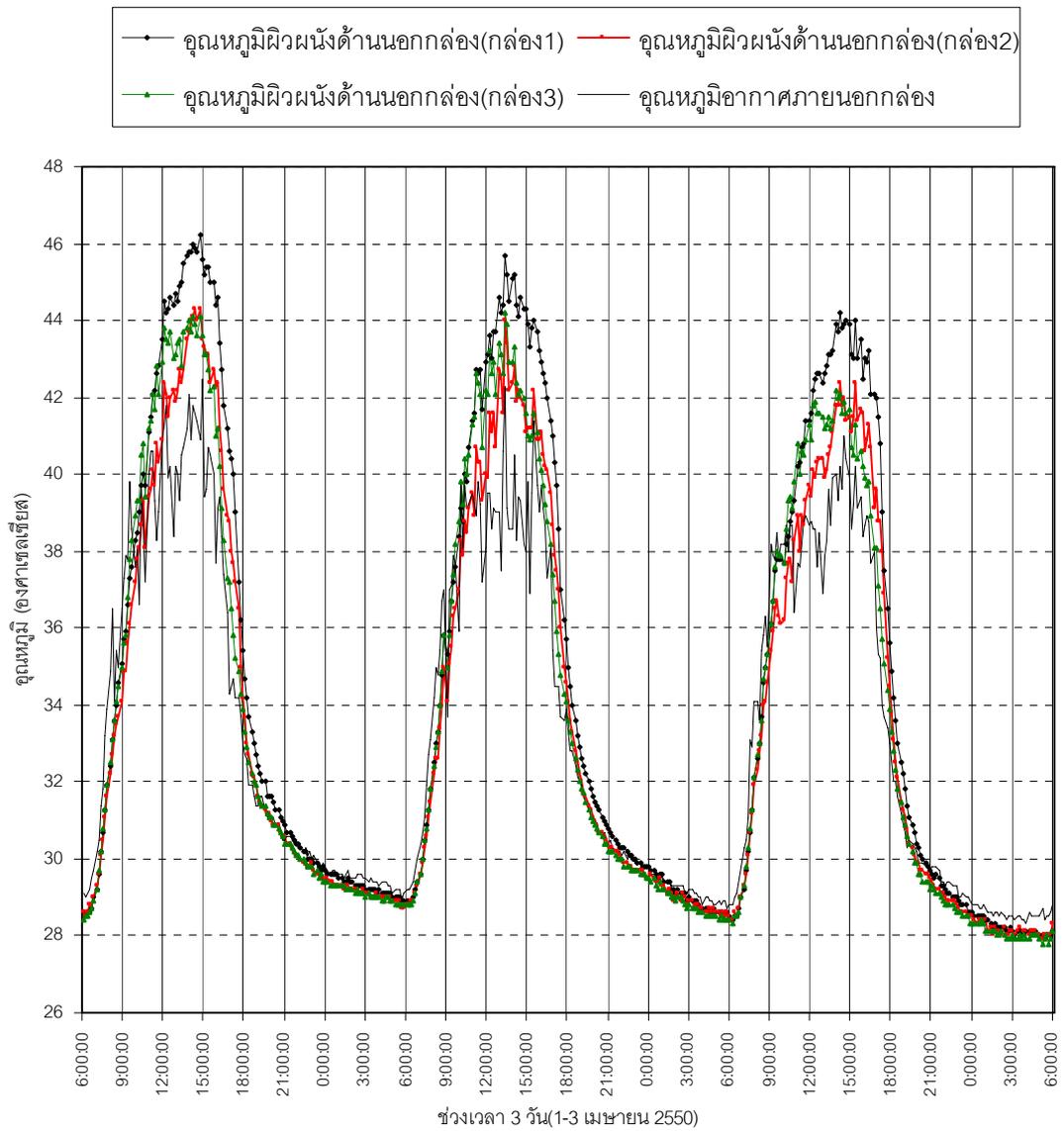
กลางคืน อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องเฉลี่ย ในช่วงเวลา 18.01-5.59 นาฬิกา พบว่าทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องเฉลี่ย อยู่ที่ 29.82°C สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ เฉลี่ยอยู่ที่ 0.31°C

สังเกตได้ว่า แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่อง ในช่วงเวลา 6.00-11.00 นาฬิกา (เท่ากับ 5 ชม.) ใกล้เคียงกับแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ แต่หลังจากช่วงเวลานั้นแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ และสูงกว่า

แผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ จนถึงช่วงเวลาประมาณ 21.00 นาฬิกา อุณหภูมิเริ่มกลับมาใกล้เคียงกันอีกครั้ง (ดูแผนภูมิที่ 26 – 31) แสดงว่าที่ผิวผนังด้านนอกของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 20/80 มีความสามารถในการดูดความร้อน และสะสมความร้อนไว้ที่เนื้อวัสดุได้มาก ถึงแม้ในช่วงกลางวันได้มีการถ่ายเทความร้อนจนทำให้แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 20/80 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ แต่การที่ผิวผนังด้านนอกสามารถดูดความร้อนได้มากในช่วงกลางวันจึงทำให้มีการถ่ายเทความร้อนไปสู่ผิวผนังด้านในมาก ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายในกล่องของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 20/80 สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองทั้ง 2 ยี่ห้อ

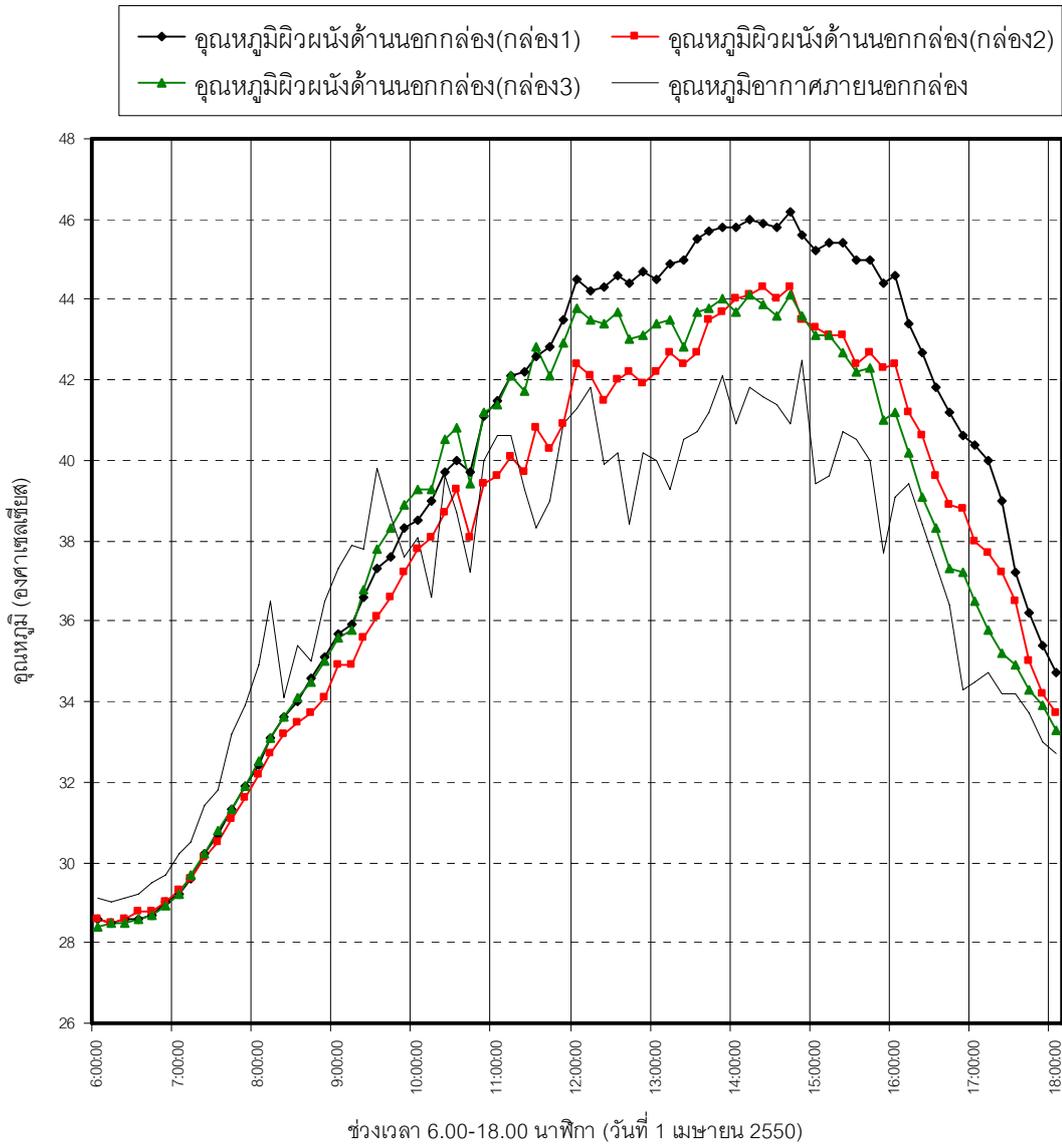
จากผลของการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้ง 3 จุด ของทั้ง 3 กล่องทดลอง ในวันที่ 1-3 เมษายน 2550 ทำให้สรุปได้ว่า แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 20/80 ยังมีความสามารถในการลดความร้อนได้น้อยกว่าแผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1 และ 2

อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทดลอง



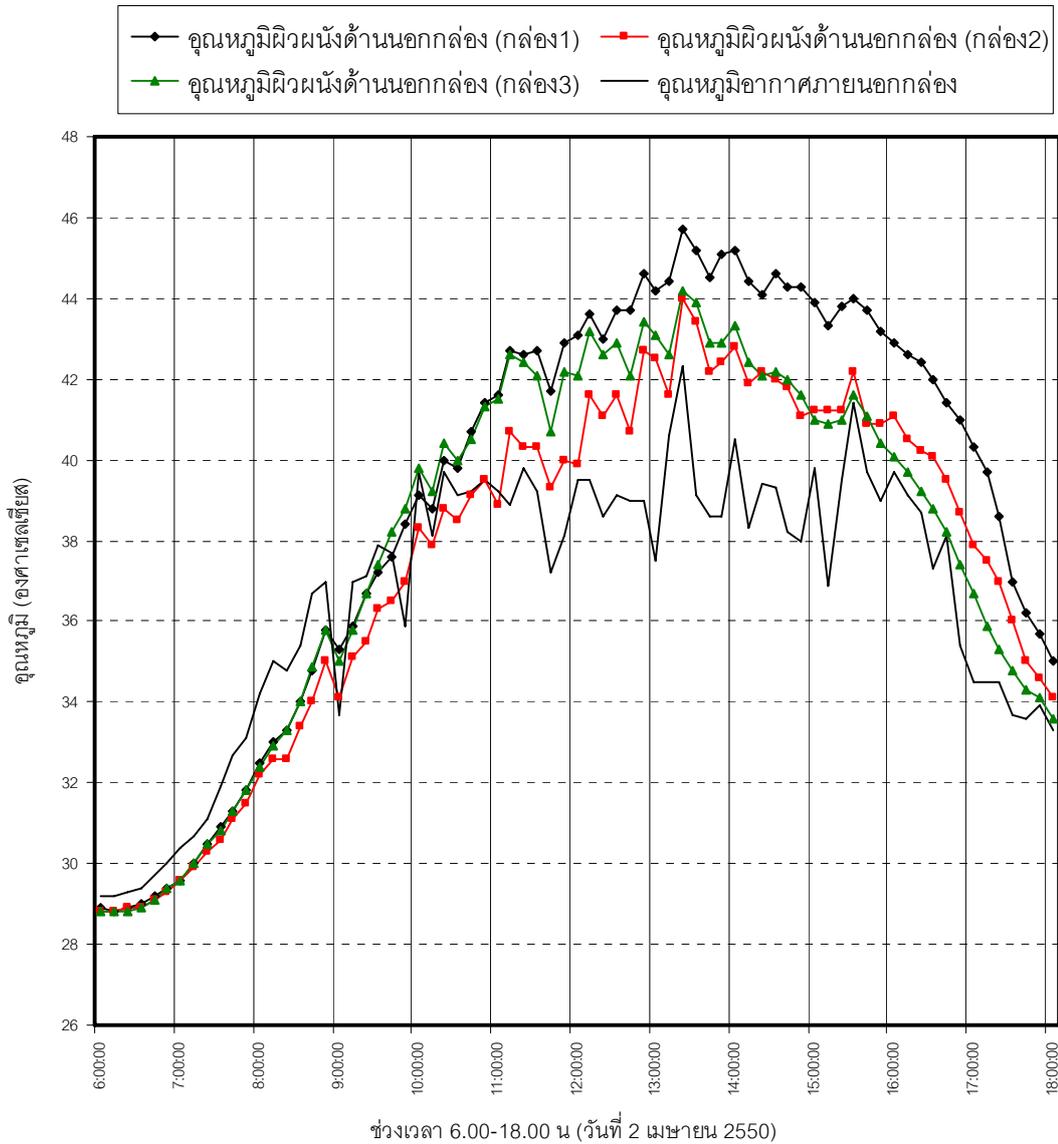
แผนภูมิที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง
 กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1-3 เมษายน 2550
 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทดลอง



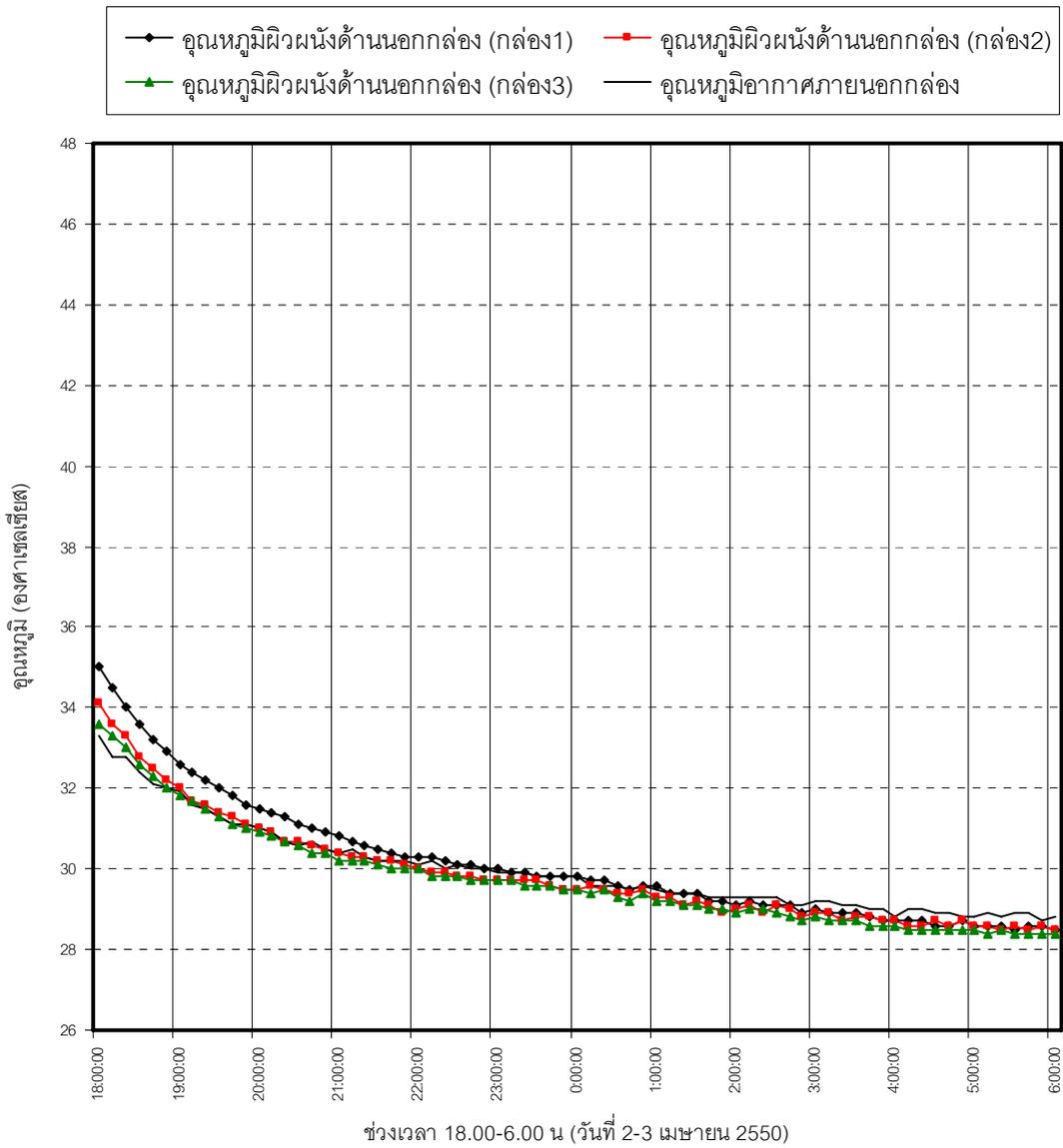
แผนภูมิที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 1 เมษายน 2550 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทดลอง



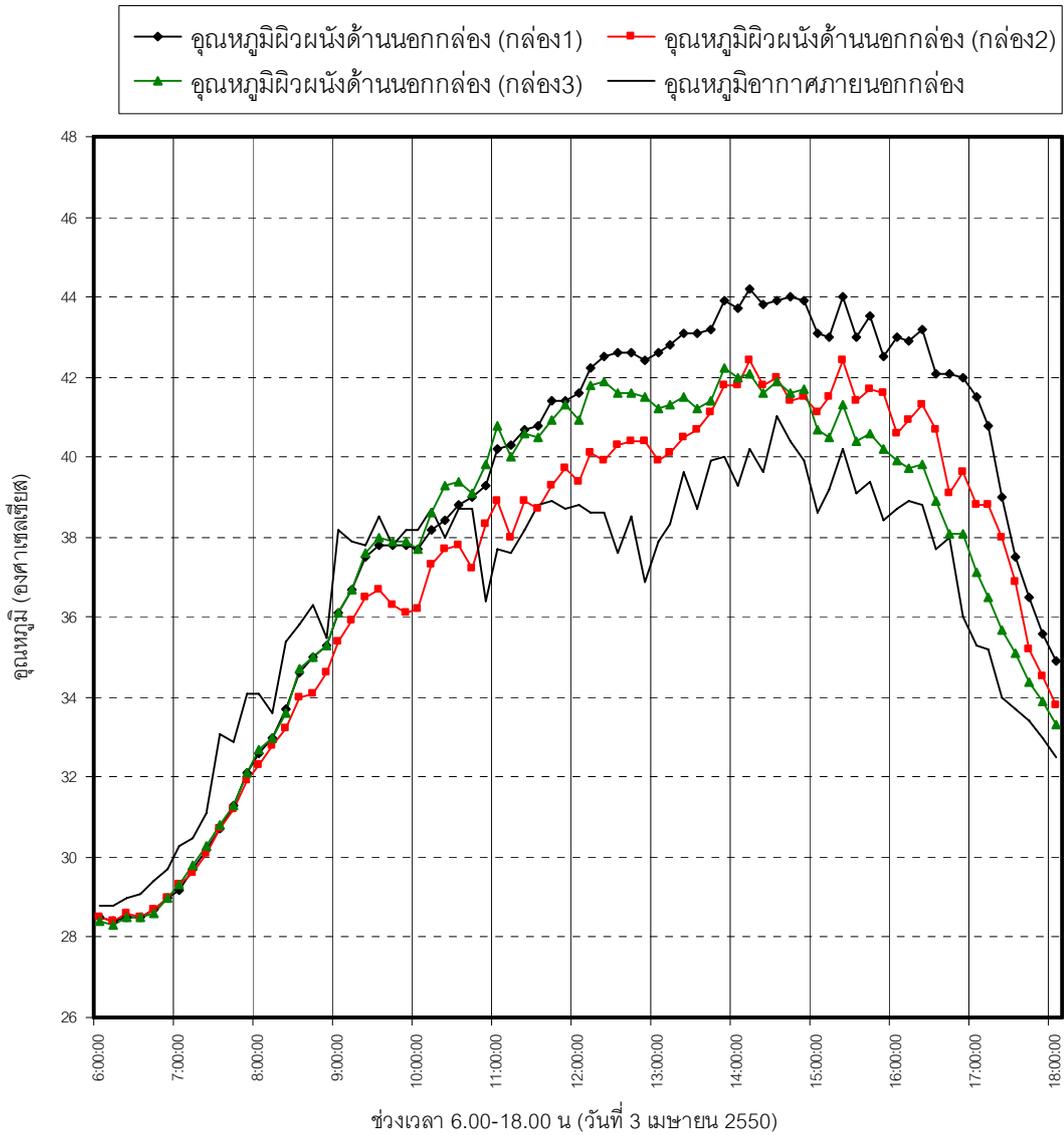
แผนภูมิที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกห้องทั้ง 3 กล่องทดลอง
 กับอุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง วันที่ 2 เมษายน 2550
 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกห้องทดลอง



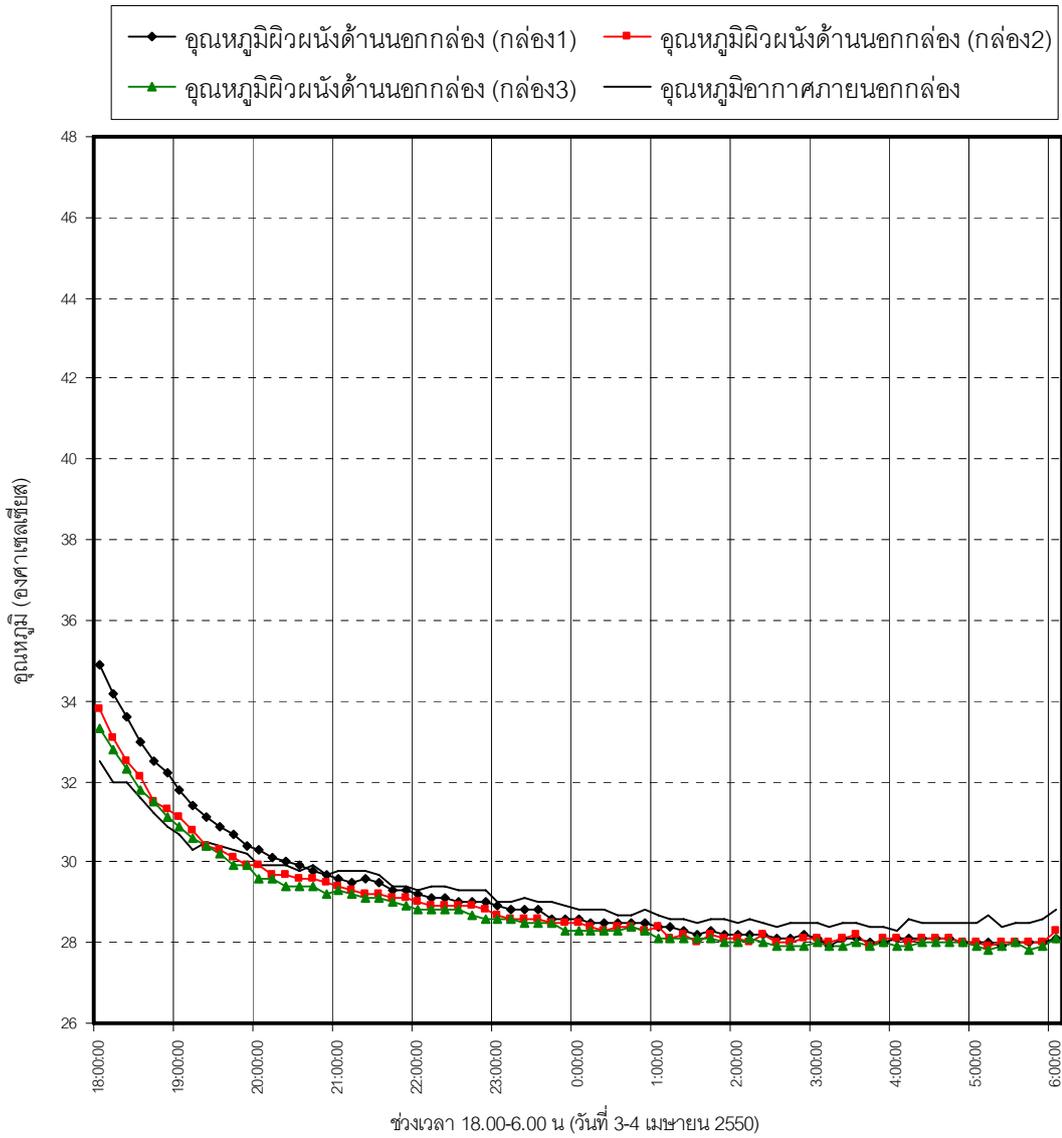
แผนภูมิที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 2-3 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทดลอง



แผนภูมิที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 3 เมษายน 2550
 สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง มีแดดมาก อากาศร้อนมาก

อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทดลอง



แผนภูมิที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 3-4 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

ผลการเปรียบเทียบราคา

การคำนวณหาราคาดำเนินการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ที่มีส่วนประกอบ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง) เส้นใยต้นกล้วย น้ำประปา และสารเคลือบผิวเคลือบ ไรต์ โดยยกตัวอย่างจากสูตร เส้นใย : ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 20 : 80

คิดค่าใช้จ่ายในการผลิตเส้นใยเซลลูโลส

คิดจากต้นกล้วยแห้ง 8.90 กิโลกรัม สามารถผลิตเส้นใยย่อยได้ 1 กิโลกรัม

สูตรการผลิต สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 200 กรัม : น้ำ 40 ลิตร : ต้นกล้วยแห้ง 4 กิโลกรัม

$$\text{- ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์} \quad \frac{8.90 \text{ กก.} \times 2 \text{ ซีด}}{4 \text{ กก.}} = 4.45 \text{ ซีด}$$

$$\text{ราคาสารโซเดียมไฮดรอกไซด์} \quad 4.45 \times 3 \text{ บาท} = 13.35 \text{ บาท}$$

$$\text{- ใช้น้ำประปา(แช่สารเคมี)} \quad \frac{8.90 \text{ กก.} \times 40 \text{ ซีด}}{4 \text{ กก.}} = 89 \text{ ลิตร}$$

$$\text{ราคาน้ำประปา} \quad 89 \times 0.04 \text{ บาท} = 13.56 \text{ บาท}$$

$$\therefore \text{เส้นใยย่อย 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย} \quad 13.35 + 13.56 = 26.91 \text{ บาท}$$

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบราคาดำเนินการผลิตในหนึ่งแผ่นของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 20/80

ส่วนผสมใน หนึ่งแผ่น	น้ำหนักของวัสดุ ที่ใช้	หน่วย	ราคาของที่ใช้ต่อหน่วย	รวมราคา
			บาท	บาท
ปูนซีเมนต์	2.256	กิโลกรัม	2.20	4.96
เส้นใยต้นกล้วย	0.592	กิโลกรัม	26.91	15.93
น้ำ	1.044	ลิตร	0.04	0.042
เคลือบผิวเคลือบไรต์	0.226	กิโลกรัม	35.00	7.91
ราคาทั้งหมด	-	-	-	28.84

หมายเหตุ ขนาดแผ่นที่ผลิต 45 x 45 x 1.2 ซม.

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง) 1 ถุง (50 กก.) ราคา 110 บาท

สารเคลือบผิวเคลือบไรต์ 1 กิโลกรัม ราคา 35 บาท

น้ำประปา 0-1 หน่วย (0-1,000 ลิตร) 1 หน่วย ราคา 4 บาท

สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 กิโลกรัม ราคา 30 บาท

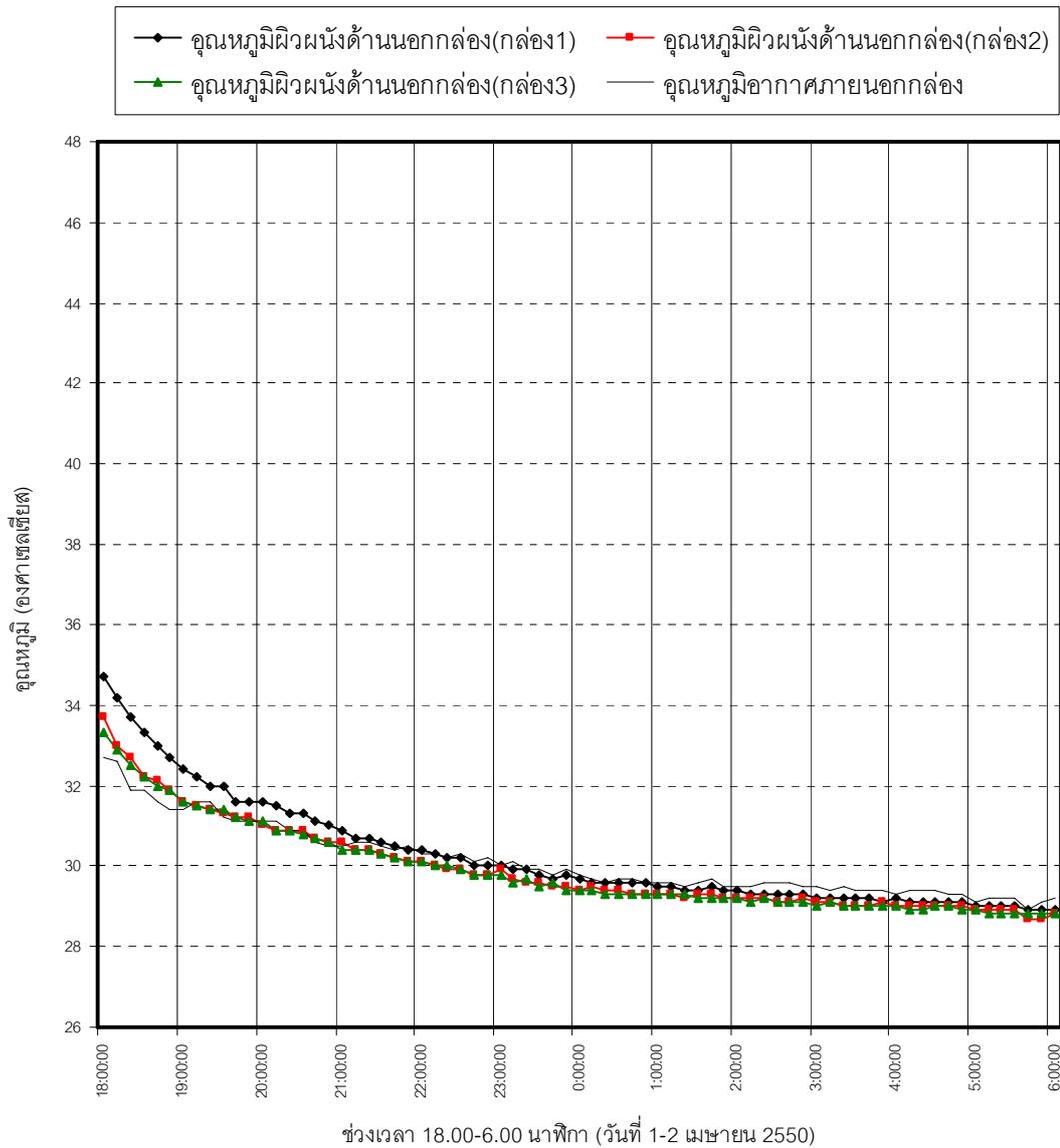
การพิจารณาเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช ที่นำมาคิดเฉพาะราคาวัสดุไม่ได้คิดค่าแรงงานที่ทำ (ดูตารางที่ 14) ในส่วนของราคาน้ำประปาเมื่อมีการทำงานที่มากขึ้นน้ำบางส่วนจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตและลดการใช้ทรัพยากรน้ำลงได้

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบราคาวัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยต้นกล้วยทั้ง 3 สูตร

รายการแผ่น		ราคาวัสดุที่ใช้ทำแผ่นซีเมนต์ใยพีช (บาท)				ราคาต่อแผ่น (45x45x1.2ซม.) (บาท)
		ปูนซีเมนต์	เส้นใยย่อย (ต้นกล้วย)	น้ำประปา	แคลเซียม คลอไรด์	
แผ่นซีเมนต์เส้นใย ต้นกล้วย	20/80	4.96	15.93	0.042	7.91	28.84
	30/70	4.34	23.92	0.04	6.90	35.20
	40/60	3.72	31.83	0.038	5.92	41.51
วัสดุแผ่นทดลองยี่ห้อที่ 1. (1.20x2.40x0.012ม.ราคา 980 บาท)		—	—	—	—	68.24
วัสดุแผ่นทดลองยี่ห้อที่ 2. (1.22x2.44x0.012ม.ราคา 1,180 บาท)		—	—	—	—	80.29

จากการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ ทำให้ได้แผ่นที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด คือ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 นำมาเปรียบเทียบด้านราคาต้นทุนการผลิตกับราคาของวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาดทั้ง 2 ยี่ห้อ ทำให้ทราบว่าราคาต้นทุนการผลิตของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ถูกกว่าแผ่นวัสดุยี่ห้อที่ 1 อยู่ที่ 39.40 บาท (คิดเป็น 58%) และแผ่นวัสดุยี่ห้อที่ 2 อยู่ที่ 51.45 บาท (คิดเป็น 64%) เมื่อคิดรวมค่าเชื้อเพลิง (ในการต้มพีชแห้งทั้งหมดใช้แก๊ส 1 ถึงราคา 280 บาท) ค่าแรงงาน และกำไร เพิ่ม 50% ของราคาต้นทุนการผลิต จะเท่ากับ 57.68 บาท ก็ยังมีราคาถูกกว่าแผ่นวัสดุยี่ห้อที่ 1 อยู่ 10.56 บาท และแผ่นวัสดุยี่ห้อที่ 2 อยู่ 22.61 บาท แต่การผลิตวัสดุจำนวนมากจะทำให้ราคาต้นทุนการผลิตลดลงได้มาก จะทำให้ราคาต้นทุนการผลิตต่อแผ่นมีราคาถูกกว่านี้ได้

เมื่อนำคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของวัสดุมาพิจารณาเปรียบเทียบ ทำให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการที่จะพัฒนาแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชเป็นวัสดุทดแทนการใช้ไม้ ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า และช่วยลดการตัดต้นไม้ เพื่อนำมาทำเป็นวัสดุก่อสร้างได้อีกทางหนึ่งด้วย



แผนภูมิที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทั้ง 3 กล่องทดลอง กับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่อง วันที่ 2-3 เมษายน 2550 (เวลากลางคืน)

อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกกล่องทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าวิจัยนี้เป็นการศึกษา การผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีที่ได้จากส่วนเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วย เพื่อศึกษาถึงกระบวนการผลิตเส้นใยเซลลูโลส ผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซี ทำการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซี ผลสรุปของงานวิจัยมีดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. การผลิตเส้นใย

กระบวนการผลิตเส้นใย โดยการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิด คือ ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด และต้นกล้วย มาผลิตโดยการใช้กรรมวิธีกึ่งเคมี (Semi-chemical Process) โดยครั้งที่ 1 สูตรการใช้สารเคมี คือ น้ำละลายสารส้มที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักเส้นใย ไม่สามารถแยกส่วนอื่นๆ ของพืชออกให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลสได้ ทำให้ต้องเปลี่ยนการผลิตเป็น สูตรการใช้สารเคมี คือ สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ : ต้นกล้วยแห้ง คือ 200 กรัม : 40 ลิตร : 4 กิโลกรัม สามารถแยกส่วนอื่นๆ ของพืชออกให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลสได้เฉพาะ ต้นกล้วย

ส่วนพืชอีก 2 ชนิด คือ ฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด ไม่สามารถแยกส่วนอื่นๆ ของพืชออกได้ ซึ่งจำเป็นต้องใช้สารเคมีจำนวนมากขึ้น และต้องมีการปรับปรุงการทำงานในขั้นตอนต่างๆ เช่น เพิ่มช่วงเวลาในการแช่สารเคมี และการใช้เครื่องทุ่นแรงที่สามารถแยกเส้นใยออกจากเนื้อพืชได้แทนแรงงานคนขยี้ทุบเส้นใย เป็นต้น จึงจะสามารถแยกให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลสได้

2. การขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซี

การขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซี ด้วยกรรมวิธีการหล่อและอัดแรงด้วยเครื่องอัดเย็นไฮดรอลิคอัดแผ่น สูตรสัดส่วนการผลิต เส้นใยพีซี : ปูนซีเมนต์ มีอยู่ 3 สูตร คือ 20/80, 30/70, 40/60 กำหนดความหนาแน่นของแผ่นทดลองอยู่ที่ 1,300 กก./ลบ.ม. มีขนาดแผ่นทดลองผลิต 45 x 45 x 1.2 เซนติเมตร การผลิตแผ่นจากเส้นใยต้นกล้วย พบว่าสามารถผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซีได้ทุกสูตร แต่แผ่นที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีซี สูตร 20/80

3. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

3.1.1 จากผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น พบว่าขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยที่นำมาผสม เมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นของแผ่นลดลง ซึ่งแผ่นที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ที่มีความหนาแน่นของแผ่นสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 1,348 กก./ลบ.ม. และเป็นแผ่นที่มีปริมาณเส้นใยน้อยที่สุด

3.1.2 จากผลการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น พบว่าเมื่อมีปริมาณเส้นใยมากขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นในแผ่นมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งทำให้ได้แผ่นที่มีคุณสมบัติดีที่สุด คือ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ที่มีปริมาณความชื้นในแผ่นน้อยที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 6.13%

3.1.3 จากผลการทดสอบหาค่าการขยายตัวเมื่อแช่น้ำและการดูดซึมน้ำ พบว่าเมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง การขยายตัวจะลดลงเมื่อมีปริมาณเส้นใยน้อยลง แต่ในการดูดซึมน้ำไม่ปรากฏแนวโน้มที่ชัดเจนถึงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับปริมาณเส้นใยตามแนวโน้มที่น่าจะเป็น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช ทั้ง 3 สูตรกับสินค้าชนิดเดียวกันที่ขายในท้องตลาด 2 ยี่ห้อ จะพบว่าแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 มีค่าการขยายตัวเมื่อแช่น้ำในเวลา 2 ชั่วโมง อยู่ที่ 0.60% และ 24 ชั่วโมง อยู่ที่ 1.17% และในส่วนของการดูดซึมน้ำในเวลา 2 ชั่วโมง อยู่ที่ 15.38% และ 24 ชั่วโมง อยู่ที่ 19.01% ทำให้มีคุณสมบัติทั้ง 2 ด้านดีที่สุด

3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.2.1 จากผลการทดสอบหาค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น พบว่าความหนาแน่นของแผ่นที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น ซึ่งทำให้ได้แผ่นที่มีคุณสมบัติดีที่สุด คือ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 เมื่อมีความหนาแน่นสูงสุด เฉลี่ยที่ 1,469 กก./ลบ.ม. มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยอยู่ที่ 5,377 MPa. สูงที่สุดจากทั้ง 3 สูตร

และยังพบอีกว่าปริมาณเส้นใยที่มากขึ้นทำให้แนวโน้มของค่ามอดูลัสแตกร้าวสูงขึ้น ทำให้พบแผ่นที่มีคุณสมบัติดีที่สุด คือ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 40/60 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 1,307 กก./ลบ.ม. ค่ามอดูลัสแตกร้าวเฉลี่ยอยู่ที่ 11.36 MPa. ซึ่งเป็นแผ่นที่มีปริมาณเส้นใยมากที่สุดจากทั้ง 3 สูตรการผลิต

3.2.2 จากผลการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยน้อยและมีความหนาแน่นสูง จะทำให้แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชที่ได้มี

แนวโน้มของค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายในสูงขึ้นมาก ซึ่งทำให้ได้แผ่นที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด คือ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ที่มีค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายในสูงสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 1.05 MPa. เป็นแผ่นที่มีปริมาณเส้นใยน้อยที่สุด และมีค่าความหนาแน่นสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 1,380 กก./ลบ.ม.

จากการศึกษาการนำเส้นใยจากต้นกล้วยมาเป็นตัวเสริมแรงให้กับปูนซีเมนต์ พบว่าแผ่นที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด คือ แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ซึ่งเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชที่มีความแข็งแรง แต่หากต้องการให้แผ่นที่ได้มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานจริงได้ดีขึ้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นในด้านสมบัติเชิงกล ได้แก่ การเพิ่มค่ามอดุลัสแตกร้าว และมอดุลัสยืดหยุ่น ส่วนการยึดเกาะภายในระหว่างเส้นใยพีชกับปูนซีเมนต์ ต้องมีการใส่สารเติมแต่ง เพื่อช่วยทำให้เกิดแรงยึดเกาะภายในวัสดุระหว่างสารพื้น และส่วนเสริมแรงมากขึ้น ทำให้แผ่นที่ได้มีความแข็งแรงสูงขึ้น

3.3 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

3.3.1 จากผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-Value) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ งานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-Value) เท่ากับ 0.2988 W/m. K มีค่าอยู่ลำดับที่ 2 จากการเปรียบเทียบวัสดุทั้ง 3 ตัวอย่าง

3.3.2 จากผลการทดสอบหาความสามารถในการลดความร้อน ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ด้วยกล่องทดลอง พบว่ายังมีความสามารถในการลดความร้อนได้น้อยกว่าแผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1-2 โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องสูงสุด ณ ช่วงเวลา 13.00-15.00 นาฬิกา ทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1-2 เฉลี่ยอยู่ที่ 2.57°C และมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ย ในช่วงกลางวัน เวลา 6.00-18.00 นาฬิกา ของทั้ง 3 วันที่ทำการทดลอง สูงกว่าแผ่นวัสดุทดลองยี่ห้อที่ 1-2 เฉลี่ยอยู่ที่ 1.67°C

ซึ่งเป็นผลมาจากวัสดุที่นำมาผลิตเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนใดๆ นั้น จะมีค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้น ที่จะทำให้แผ่นวัสดุนั้นมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนดีที่สุด แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชที่ค่าความหนาแน่นค่าเดียวเท่านั้น จึงไม่สามารถบอกได้ถึงค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมที่จะทำให้แผ่น

ซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 แต่มีแนวโน้มที่วัสดุจะสามารถพัฒนาคุณสมบัติให้เทียบเท่ากับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาดได้

4. การเปรียบเทียบราคา

การพิจารณาเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ที่คิดเฉพาะราคาวัสดุ ไม่ได้คิดค่าแรงงานที่ทำงาน (ดูตารางที่ 15) เปรียบเทียบด้านราคาต้นทุนการผลิตกับราคาขายในท้องตลาดของวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาดทั้ง 2 ยี่ห้อ ซึ่งทำให้ทราบว่า แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80 ถูกกว่าแผ่นวัสดุยี่ห้อที่ 1 อยู่ที่ 39.40 บาทต่อแผ่น (1 แผ่น ขนาด 45x45x1.2 ซม.) (คิดเป็น 58%) และแผ่นวัสดุยี่ห้อที่ 2 อยู่ที่ 51.45 บาทต่อแผ่น (คิดเป็น 64%) เมื่อต้องมีการคิดรวมค่าแรงงาน กำไร เพิ่ม 50% ของราคาต้นทุนการผลิต จะได้เท่ากับ 57.68 บาท ซึ่งยังมีราคาถูกกว่าแผ่นวัสดุยี่ห้อที่ 1 อยู่ 10.56 บาท และแผ่นวัสดุยี่ห้อที่ 2 อยู่ 22.61 บาท

และเมื่อมีการผลิตวัสดุจำนวนมากขึ้น จะทำให้ราคาต้นทุนการผลิตลดลงได้มาก อาทิเช่น น้ำประปาที่ใช้แซ่สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อการทำงานที่มีปริมาณมากขึ้นน้ำที่ใช้บางส่วนจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เป็นการลดต้นทุนการผลิตและลดการใช้ทรัพยากรน้ำ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่อแผ่นลดลงกว่านี้ได้

ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีชกับแผ่นทดลอง

รายการแผ่น	ราคาต่อแผ่น ขนาด 45x45x1.2 ซม. (บาท)	ถูกกว่าคิดเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)
แผ่นซีเมนต์เส้นใยต้นกล้วย 20/80	28.84	—
แผ่นทดลองยี่ห้อที่ 1. (1.20x2.40x0.012ม.ราคา 980 บาท)	68.24	58
แผ่นทดลองยี่ห้อที่ 2. (1.22x2.44x0.012ม.ราคา 1,180 บาท)	80.29	64

ปัญหาที่พบในงานวิจัย

1. ปัญหาที่เกิดจากการใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีลักษณะของพีชที่เนื้อเกาะกันแน่น ทำให้ต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก จึงต้องมีวิธีการที่จะทำให้การ

ยึดเกาะกันระหว่างเซลล์ของพืชลดลง อย่างเช่น การแช่ด้วยสารจุลินทรีย์ (Effective Microorganisms; EM) ก่อนการแช่สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อลดจำนวนการใช้สารเคมี

2. การผลิตแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช ด้วยวิธีการอัดเย็น ด้วยเครื่องไฮดรอลิกต้องมีความระมัดระวังขณะอัดแผ่น ไม่ให้มีเศษวัสดุอยู่ที่เหล็กกันขอบและควรกดอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้วัสดุกระจายตัวออกขณะอัดแผ่น

3. แผ่นที่สามารถผลิตได้มีขนาดเล็ก (45 x 45 x 1.2 เซนติเมตร) เนื่องจากเครื่องอัดแรงไฮดรอลิก มีขนาดความกว้างประมาณ 55 เซนติเมตร ซึ่งเป็นข้อจำกัดทำให้ขนาดกล่องทดลองมีขนาดเล็กตามไปด้วย คือ มีขนาดเพียง 40x40x40 เซนติเมตร

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยเซลลูโลสก่อนการนำมาผลิตแผ่น เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยเซลลูโลส เพราะถ้าดูดซึมน้ำได้มากจะมีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ปริมาณการใช้เส้นใยเซลลูโลส และการใช้สารเคมีปรับปรุงเส้นใยให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการต่อไป

2. ควรศึกษาปริมาณเส้นใยในหนึ่งสูตรการผลิต ต่อค่าความหนาแน่นของแผ่นที่ระดับต่างๆ เพื่อหาระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมกับปริมาณเส้นใย ที่จะทำให้แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชมีความสามารถในการลดความร้อนได้มากขึ้น

3. ควรศึกษาการใช้สารเคมีที่ช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการยึดเกาะภายในระหว่างเส้นใยพืชกับปูนซีเมนต์ให้มีความแข็งแรงสูงขึ้น เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวภายในแผ่นให้เทียบเท่ากับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขายในท้องตลาด

ประโยชน์ในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

1. ทำให้เกิดความเข้าใจในการนำส่วนเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า เพื่อไม่ต้องไปทำลายส่วนเหลือใช้เหล่านั้นจนส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนได้

2. ทำให้ได้วัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรงเป็นวัสดุทดแทนการใช้ไม้ เพื่อลดการบุกรุกทำลายป่าไม้ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และซ่อมแซมบ้านเรือนในชนบท

3. ทำให้ทราบถึงวิธีการที่จะนำไปใช้ปรับปรุงแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช เพื่อให้มีความสามารถในการลดความร้อนลงได้ โดยเป็นไปตามคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนนั้นๆ

บรรณานุกรม

- กิตติศักดิ์ บัวศรี. “การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน . “การใช้ฉนวน” กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.
- กรมปศุสัตว์ กองอาหารสัตว์, การใช้เศษวัสดุเหลือใช้ของข้าวโพดฝักอ่อนและข้าวโพดหวานเป็นอาหารสัตว์ [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 16 June 2006. เข้าถึงได้จาก http://www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowledge/ARTICLE/ArtileQ.htm
- กรมปศุสัตว์ กองอาหารสัตว์, การนำผลิตผลจากต้นกล้วยมาใช้เลี้ยงสัตว์ [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 16 June 2006. เข้าถึงได้จาก http://www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowledge/ARTICLE/ArtileF.htm
- คณะทำงานศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารและวิธีการก่อสร้างในโครงการพัฒนาเคหะชนบท. “โครงการศึกษาวิจัยวัสดุ แบบอาคารและวิธีการก่อสร้างในโครงการพัฒนาเคหะชนบท : ศึกษาเฉพาะกรณีพื้นที่ หมู่ที่ 4 บ้านวังกะทะ และหมู่ที่ 7 บ้านคลองป่าหมู อบต.วังกะทะอ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา” กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., 2546.
- จักริน พรหมจิรสุข. “การออกแบบวัสดุฉนวนและการผลิตผลิตภัณฑ์จากวัสดุผสมซีเมนต์ใยแก้วและพีวีซี ในกระบวนการอัดรีด.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.
- ฉัตรชัย แกมเงิน, วิชัย สังวรปทานสกุล และ สุวิมล อิศวพิศิษฐ์. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนขาน้อยและกากตะกอนยูคาลิปตัสจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษมาใช้ในการผลิตวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใย.” วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 11, 2 (เมษายน-มิถุนายน 2547) : 130.
- ตระการ ก้าวกลีกรรม. คู่มือฉนวนความร้อน. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี, 2537.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และคณะ. “การประยุกต์ใช้เส้นใยผักตบชวาเสริมในแผ่นหลังคา.” วารสาร สจจ. 17, 2(2537) : 71-90.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และพิชัย นิमितยงสกุล. “ผลของการปรับปรุงเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางเคมีที่มีต่อความตงทนของผลิตภัณฑ์.” วารสารข้าวช้าง 275, (2538) : 40-71.

- บริษัท โอลิมปิกกระเบื้องไทย จำกัด. “คุณสมบัติเด่น” เอกสารแจกผลิตภัณฑ์แผ่นเซลลูโลสไฟเบอร์ซีเมนต์เนื้อร่วนเฟล็กซ์บอร์ด, (แผ่นพับ)
- เพ็ญศรี อติวรรณพัฒน์. เคมีของไม้และการผลิตเยื่อไม้และกระดาษ กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., 2540.
- ไพฑูรย์ ประสมศรี. วัสดุศาสตร์. เพชรบุรี : สถาบันราชภัฏเพชรบุรี, 2542.
- วิจิตรา เจริญชัย. “การศึกษาการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีโพรพิลีน” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- ศิริรัตน์ อภัยโส. “แผ่นประกอบจากพลาสติกกับซีเมนต์” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(วนศาสตร์) สาขาวนศาสตร์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539.
- สมชัย เบญจชัย. “ผลกระทบของลักษณะขึ้นไม้ การปรับสภาพไม้และอัตราส่วนของไม้ต่อซีเมนต์ต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดซีเมนต์” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(วนศาสตร์) สาขาวนศาสตร์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535.
- Bledzki, A.K. and Gassan, J., “Composites Reinforced with Cellulose based Fibers,” Progress in Polymer Science Vol.24 (1999), 221-274.
- efunda engineering fundamentals, Composite Materials [Online], accessed 8 June 2007. Available from http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/composites/comp_intro.cfm
- Matthews, F.L. and Rawlings, R.D., Composite Materials : Engineering and Science, (London : Chapman & Hall, 1994.
- Moslemi, A.A. and S.C. Pfister., “The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels,” Wood and Fiber Sci. 19, 2(1987) : 165-175.
- MTEC a member of NSTDA, คอมโพสิต (composites) [Online], accessed 29 July 2007. Available from http://www.mtec.or.th/th/news/word/mat_word13.html

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การหาปริมาณความชื้นของเส้นใย

การหาปริมาณความชื้นของเส้นใยพืชที่จะนำมาใช้ ทำได้โดยการนำเส้นใยที่ย่อยแล้ว ไปผึ่งในร่มที่มีอากาศถ่ายเทเป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำมาหาปริมาณความชื้นด้วยการสุ่มตัวอย่าง การทดลองครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือหาค่าความชื้น ยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น MA 40 ทำการหาค่า ปริมาณความชื้น โดยการนำเส้นใยจากการสุ่มตัวอย่างมาหาค่าปริมาณความชื้น 5 ครั้ง แล้วหา ค่าเฉลี่ย

ตารางผนวกที่ 1 การหาค่าความชื้นของเส้นใยด้วยเครื่องหาค่าความชื้น

การหาค่าความชื้นครั้งที่ 1				
ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น MC. (%)	ใช้เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
1	2.835	5.57	10.0	105
2	2.844	4.92	10.0	105
3	2.841	4.77	10.4	105
4	1.404	4.48	4.0	105
5	4.516	4.79	9.6	105
รวม		24.53		
เฉลี่ย		4.906		
การหาค่าความชื้นครั้งที่ 2				
ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น MC. (%)	ใช้เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
1	2.856	5.81	12.0	105
2	2.887	6.04	10.0	105
3	2.883	5.83	8.0	105
4	1.433	5.59	4.0	105
5	5.561	6.49	15.6	105
รวม		29.76		
เฉลี่ย		5.952		

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกล

การทดลองสมบัติเชิงกายภาพ

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น(Density) และหาค่าความชื้น(Moisture)

ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80

ชิ้นงานทดสอบ		3A1	3A2	4A1	4A2	6D11	6D22	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
สภาวะก่อนอบ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		100.30	100.88	101.05	100.23	100.65	99.86	100.50
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		102.73	101.95	101.55	101.20	102.88	101.83	102.02
ความหนา (มม.)	1	11.76	10.77	12.94	11.95	10.97	10.54	
	2	12.06	11.00	12.28	11.45	10.88	10.92	
	3	11.51	11.33	12.00	12.46	11.00	10.98	
	4	11.58	11.59	12.18	11.56	11.05	11.31	
	เฉลี่ย	11.73	11.17	12.35	11.86	10.98	10.94	11.51
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		120,863.79	114,983.12	126,731.06	120,299.25	112,536.10	111,246.05	117,776.56
น้ำหนัก(กรัม)		156.48	150.14	178.43	185.30	129.27	148.60	158.04
สภาวะหลังอบ 24 ชม.								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		99.90	101.50	100.73	99.80	100.26	99.48	
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		102.40	100.50	101.15	100.88	102.44	101.45	
ความหนา (มม.)	1	11.69	10.64	11.87	11.90	10.95	10.53	
	2	11.74	10.94	12.01	11.11	10.88	10.93	
	3	11.45	11.20	11.92	12.34	11.02	10.96	
	4	11.28	11.41	12.11	11.49	11.05	11.30	
	เฉลี่ย	11.54	11.05	11.98	11.71	10.98	10.93	
น้ำหนัก(กรัม)		146.32	143.16	165.14	170.75	121.68	139.44	147.75
ความชื้น(%)		6.94	4.88	5.49	6.65	6.24	6.57	6.13
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,294.60	1,360.80	1,407.90	1,540.30	1,148.60	1,335.70	1,348.00

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80

ตารางผนวกที่ 4 ข้อมูลการทดสอบหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ(Swelling in water test) และหาค่า
การดูดซึมน้ำ(Water absorption test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80

ชิ้นงานทดสอบ		3B1	3B2	4B1	4B2	6D11	6D22	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
สภาวะก่อนแช่น้ำ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		100.75	99.05	100.93	100.03	99.15	99.80	99.95
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		103.60	102.08	100.13	101.25	101.23	99.27	101.26
ความหนา (มม.)	1	11.08	11.83	11.78	12.36	11.30	11.28	
	2	11.68	11.61	10.90	12.57	11.51	11.57	
	3	10.77	11.62	11.36	12.18	11.53	11.46	
	4	11.45	11.38	10.65	12.22	11.25	11.72	
	เฉลี่ย	11.25	11.61	11.17	12.33	11.40	11.51	11.55
น้ำหนัก(กรัม)		165.68	159.49	166.66	190.55	164.97	128.94	162.72
สภาวะหลังแช่น้ำ								
ความหนา หลังแช่น้ำ 2 ชม. (มม.)	1	11.36	11.93	11.79	12.41	11.30	11.30	
	2	11.73	11.66	11.01	12.60	11.52	11.59	
	3	10.87	11.70	11.40	12.20	11.56	11.46	
	4	11.87	11.40	10.77	12.26	11.26	11.76	
	เฉลี่ย	11.46	11.67	11.24	12.37	11.41	11.53	11.61
ความหนา หลังแช่น้ำ 24 ชม. (มม.)	1	11.42	11.98	11.85	12.48	11.34	11.33	
	2	11.78	11.82	11.12	12.68	11.53	11.65	
	3	10.90	11.80	11.44	12.33	11.60	11.48	
	4	11.95	11.53	10.81	12.42	11.30	11.78	
	เฉลี่ย	11.51	11.78	11.31	12.48	11.44	11.56	11.68
น้ำหนักแช่น้ำ 2 ชม.(กรัม)		185.77	192.66	181.74	204.30	186.84	167.38	186.45
น้ำหนักแช่น้ำ 24 ชม.(กรัม)		192.78	197.68	188.49	213.07	190.80	171.69	192.42
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,410.90	1,358.60	1,476.30	1,525.80	1,441.70	1,130.70	1,391.00
การพองตัวหลัง 2ชม.(%)		1.87	0.52	0.63	0.32	0.09	0.17	0.60
การพองตัวหลัง 24ชม.(%)		2.31	1.46	1.25	1.22	0.35	0.43	1.17
การดูดซึมน้ำหลัง 2ชม.(%)		12.13	20.80	9.05	7.22	13.26	29.81	15.38
การดูดซึมน้ำหลัง 24ชม.(%)		16.36	23.95	13.10	11.82	15.66	33.15	19.01

การทดลองสมบัติเชิงกล

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 20/80

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of rupture and elasticity test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 20/80

ชิ้นงานทดสอบ		3C1	3C2	4C1	4C2	6D11	6D22	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		99.73	98.88	96.90	98.75	99.93	100.06	99.04
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		218.00	218.00	218.25	219.00	217.25	216.00	217.79
ความหนา (มม.)	1	11.77	11.74	11.76	12.35	11.22	11.09	
	2	11.65	11.90	11.56	11.78	11.28	11.95	
	3	11.95	11.87	12.10	11.13	11.71	10.91	
	4	12.01	11.90	10.85	10.86	11.49	11.93	
	เฉลี่ย	11.85	11.85	11.57	11.53	11.43	11.72	11.66
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		257,632.50	255,729.63	244,687.27	249,350.66	248,142.92	253,303.89	251,474.50
น้ำหนัก(กรัม)		375.08	386.28	380.67	370.51	353.85	348.92	369.22
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,456.00	1,511.00	1,556.00	1,486.00	1,426.00	1,378.00	1,469.00
แรงกดสูงสุด(นิวตัน)		465.00	541.00	472.00	426.00	440.00	421.00	461.00
มอดูลัสแตกร้าว (MPa)		9.56	11.21	10.47	9.35	9.45	8.83	9.81
มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)		4,580.00	5,283.00	4,637.00	5,167.00	6,892.00	5,703.00	5,377.00

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน (Tensile strength perpendicular to plane of board test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 20/80

ชิ้นงานทดสอบ		3D1	3D2	4D1	4D2	6D11	6D22	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		46.83	48.93	49.63	49.68	49.00	49.48	48.93
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		49.15	49.33	50.83	52.95	51.62	49.51	50.57
ความหนา (มม.)	1	10.91	11.94	10.98	12.20	10.67	11.16	
	2	10.95	11.95	11.41	12.18	10.67	11.03	
	3	10.62	11.92	11.03	12.16	10.72	11.16	
	4	10.78	10.90	11.48	12.05	10.58	11.11	
	เฉลี่ย	10.82	11.68	11.23	12.15	10.66	11.12	11.28
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		24,904.33	28,192.21	28,329.84	31,961.26	26,963.19	27,241.27	27,932.02
น้ำหนัก(กรัม)		35.72	37.58	42.36	45.26	37.86	32.64	38.57
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,434.20	1,333.00	1,495.20	1,416.00	1,404.10	1,198.10	1,380.10
แรงดึงสูงสุด(นิวตัน)		2,653.40	2,218.20	3,014.20	3,185.50	2,623.30	1,962.60	2,609.50
ความต้านทานแรงดึง (MPa)		1.15	0.92	1.19	1.21	1.04	0.80	1.05

การทดลองสมบัติเชิงกายภาพ

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 30/70

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น(Density) และหาค่าความชื้น(Moisture)

ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 30/70

ชิ้นงานทดสอบ		4A1	4A2	5A1	5A2	6A1	6A2	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
สภาวะก่อนอบ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		99.92	100.31	100.50	100.35	100.64	100.43	100.36
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		100.87	100.35	99.85	100.38	101.35	101.50	100.72
ความหนา (มม.)	1	12.44	12.48	12.62	12.02	12.85	12.10	
	2	12.58	12.16	12.44	11.59	12.86	11.50	
	3	12.55	12.52	12.86	12.20	13.05	12.51	
	4	12.68	11.96	12.85	11.47	13.00	11.58	
	เฉลี่ย	12.56	12.28	12.70	11.82	12.94	11.92	12.37
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		126,591.36	123,611.81	127,443.54	119,064.43	131,986.24	121,508.24	125,034.27
น้ำหนัก(กรัม)		160.20	160.70	162.18	158.31	159.68	164.77	160.97
สภาวะหลังอบ 24 ชม.								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		90.46	90.83	100.10	90.89	100.25	95.53	94.68
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		100.45	95.45	90.43	100.03	100.95	101.14	98.07
ความหนา (มม.)	1	12.40	12.42	12.57	11.99	12.80	12.06	
	2	12.55	12.13	12.39	11.57	12.82	11.47	
	3	12.49	12.47	12.85	12.15	13.00	12.46	
	4	12.62	11.92	12.80	11.43	12.97	11.56	
	เฉลี่ย	12.52	12.18	12.65	11.79	12.90	11.89	12.32
น้ำหนัก(กรัม)		150.70	151.06	152.87	148.81	150.55	154.92	151.49
ความชื้น(%)		6.30	6.38	6.10	6.38	6.06	6.36	6.26
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,265.50	1,302.50	1,272.50	1,329.60	1,212.30	1,356.00	1,289.73

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 30/70

ตารางผนวกที่ 8 ข้อมูลการทดสอบหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ(Swelling in water test) และหาค่า
การดูดซึมน้ำ(Water absorption test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 30/70

ชิ้นงานทดสอบ		4B1	4B2	5B1	5B2	6B1	6B2	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
สภาวะก่อนแช่น้ำ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		101.38	100.74	100.92	101.05	100.38	100.59	100.84
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		100.47	100.57	101.70	100.48	101.42	100.87	100.92
ความหนา (มม.)	1	12.16	12.49	12.23	12.45	11.86	12.53	
	2	12.68	12.04	12.88	11.52	12.30	11.53	
	3	11.79	12.42	11.93	12.45	11.90	12.45	
	4	12.38	12.05	12.62	12.50	12.54	11.47	
	เฉลี่ย	12.25	12.25	12.42	12.23	12.15	12.00	12.22
น้ำหนัก(กรัม)		164.66	155.93	160.98	155.69	157.45	158.07	158.80
สภาวะหลังแช่น้ำ								
ความหนา หลังแช่น้ำ 2 ชม. (มม.)	1	12.27	12.64	12.45	12.67	12.09	12.68	
	2	12.79	12.15	13.09	11.88	12.50	11.81	
	3	11.99	12.63	12.20	12.67	12.24	12.59	
	4	12.55	12.19	12.88	12.74	12.81	11.57	
	เฉลี่ย	12.40	12.40	12.66	12.49	12.41	12.16	12.42
ความหนา หลังแช่น้ำ 24 ชม. (มม.)	1	12.32	12.66	12.49	12.86	12.11	12.70	
	2	12.84	12.17	13.11	11.48	12.51	11.87	
	3	12.00	12.64	12.24	12.74	12.40	12.66	
	4	12.59	12.24	12.91	12.79	12.98	11.62	
	เฉลี่ย	12.44	12.43	12.69	12.59	12.50	12.21	12.48
น้ำหนักแช่น้ำ 2 ชม.(กรัม)		192.25	191.63	202.03	191.37	193.84	185.98	192.85
น้ำหนักแช่น้ำ 24 ชม.(กรัม)		197.89	195.44	205.60	195.18	197.67	191.50	197.22
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,319.60	1,256.30	1,262.80	1,254.30	1,272.90	1,298.20	1,277.35
การพองตัวหลัง 2 ชม.(%)		1.22	1.22	1.93	2.13	2.14	1.33	1.66
การพองตัวหลัง 24 ชม.(%)		1.55	1.47	2.17	2.94	2.88	1.75	2.13
การดูดซึมน้ำหลัง 2 ชม.(%)		16.76	22.90	25.50	22.92	23.11	17.66	21.48
การดูดซึมน้ำหลัง 24 ชม.(%)		20.18	25.34	27.72	25.36	25.55	21.15	24.22

การทดลองสมบัติเชิงกล

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 30/70

ตารางผนวกที่ 9 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of rupture and elasticity test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 30/70

ชั้นงานทดสอบ		4C1	4C2	5C1	5C2	6C1	6C2	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		101.09	101.09	100.67	100.91	100.51	101.46	100.96
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		216.25	216.50	217.00	218.25	217.25	218.00	217.21
ความหนา (มม.)	1	12.52	12.46	12.73	12.76	12.97	12.56	
	2	12.10	12.22	11.88	11.61	11.98	11.38	
	3	11.86	12.38	11.89	12.16	12.04	12.20	
	4	11.71	12.06	11.30	11.66	11.50	11.72	
	เฉลี่ย	12.05	12.28	11.95	12.05	12.12	11.97	12.07
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		263,421.58	268,759.89	261,052.41	265,384.47	264,649.86	264,755.81	264,670.65
น้ำหนัก(กรัม)		333.96	346.90	346.25	344.69	333.03	345.22	341.68
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,267.80	1,290.74	1,326.36	1,298.83	1,258.38	1,303.92	1,291.00
แรงกดสูงสุด(นิวตัน)		354.00	332.00	394.00	310.00	406.00	339.00	356.00
มอดูลัสแตกร้าว (MPa)		6.95	6.27	7.90	6.10	7.92	6.72	6.97
มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)		3,714.50	3,422.10	4,468.50	3,152.70	3,875.90	3,856.00	3,748.28

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 30/70

ตารางผนวกที่ 10 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน(Tensile strength perpendicular to plane of board test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 30/70

ชิ้นงานทดสอบ		4D1	4D2	5D1	5D2	6D1	6D2	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		49.51	50.51	49.25	50.25	46.25	51.23	49.50
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		49.51	50.51	49.25	50.25	46.25	51.23	49.50
ความหนา (มม.)	1	12.65	12.55	12.44	12.84	12.47	12.95	
	2	12.88	12.52	12.37	12.82	12.45	12.86	
	3	12.51	12.55	12.34	12.85	12.55	12.87	
	4	12.57	12.54	12.25	12.80	12.47	12.76	
	เฉลี่ย	12.65	12.54	12.35	12.83	12.49	12.86	12.62
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		32,191.90	31,815.45	30,685.58	32,041.96	28,663.61	33,467.94	31,477.74
น้ำหนัก(กรัม)		41.46	39.32	39.88	41.05	36.86	40.51	39.85
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,287.90	1,235.88	1,299.63	1,281.13	1,285.95	1,210.41	1,267.00
แรงดึงสูงสุด(นิวตัน)		1,243.90	957.70	870.10	1,378.40	933.20	283.30	944.43
ความต้านทานแรงดึง (MPa)		0.49	0.38	0.35	0.55	0.41	0.11	0.38

การทดลองสมบัติเชิงกายภาพ

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 40/60

ตารางผนวกที่ 11 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น(Density) และหาค่าความชื้น (Moisture) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 40/60

ชิ้นงานทดสอบ		2A1	2A2	3A1	3A2	4A1	4A2	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
สภาวะก่อนอบ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		101.27	101.30	100.44	101.11	101.68	100.46	101.04
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		101.97	100.68	101.47	100.14	101.98	99.89	101.02
ความหนา (มม.)	1	12.43	12.82	13.28	13.59	12.43	11.56	
	2	11.20	12.82	13.63	12.32	12.36	10.94	
	3	12.58	13.09	13.64	13.73	12.84	12.26	
	4	10.69	12.84	13.65	12.13	12.82	11.02	
	เฉลี่ย	11.73	12.89	13.55	12.94	12.61	11.45	12.53
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		121,129.86	131,463.61	138,096.81	131,019.51	130,757.20	114,900.17	127,894.52
น้ำหนัก(กรัม)		164.42	142.72	167.61	162.19	160.57	146.01	157.25
สภาวะหลังอบ 24 ชม.								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		100.83	100.79	90.88	100.40	101.19	95.52	98.27
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		101.44	100.18	100.89	95.13	101.47	90.32	98.24
ความหนา (มม.)	1	12.76	12.42	13.21	13.50	12.38	11.50	
	2	12.74	11.16	13.54	12.29	12.29	10.89	
	3	13.20	12.40	13.56	12.61	12.77	12.57	
	4	12.72	10.60	13.62	12.04	12.71	10.94	
	เฉลี่ย	12.86	11.65	13.48	12.61	12.54	11.48	12.44
น้ำหนัก(กรัม)		153.12	133.10	156.98	152.30	150.18	136.62	147.05
ความชื้น (%)		7.38	7.23	6.77	6.50	6.92	6.87	6.95
ความหนาแน่น(กก./ม ³)		1,357.40	1,085.60	1,213.70	1,237.90	1,228.00	1,270.80	1,232.23

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 40/60

ตารางผนวกที่ 12 ข้อมูลการทดสอบหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ(Swelling in water test) และหาค่าการดูดซึมน้ำ(Water absorption test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 40/60

ชิ้นงานทดสอบ		2B1	2B2	3B1	3B2	4B1	4B2	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
สภาวะก่อนแช่น้ำ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		101.25	101.76	101.91	101.06	101.20	100.79	101.33
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		101.78	100.64	101.28	100.69	100.94	102.10	101.24
ความหนา (มม.)	1	12.59	12.64	12.10	13.81	11.36	12.73	
	2	13.00	11.27	13.23	12.35	12.03	11.17	
	3	12.21	12.45	12.05	13.55	11.07	12.74	
	4	13.02	12.01	13.40	12.02	12.17	11.14	
	เฉลี่ย	12.71	12.09	12.70	12.93	11.66	11.95	12.34
น้ำหนัก(กรัม)		175.42	142.23	154.98	162.35	151.57	150.36	156.15
สภาวะหลังแช่น้ำ								
ความหนา หลังแช่น้ำ 2 ชม. (มม.)	1	12.70	12.76	12.27	14.02	11.53	12.88	
	2	13.10	11.46	13.38	12.47	12.12	11.43	
	3	12.38	12.60	12.18	13.65	11.32	12.88	
	4	13.15	12.12	13.52	12.17	12.44	11.32	
	เฉลี่ย	12.83	12.24	12.84	13.08	11.85	12.13	12.50
ความหนา หลังแช่น้ำ 24 ชม. (มม.)	1	12.89	12.89	12.36	14.08	11.67	13.04	
	2	13.26	11.49	13.18	12.89	12.21	11.80	
	3	12.75	12.68	12.47	13.80	11.79	12.95	
	4	13.39	12.30	13.62	12.66	12.58	11.91	
	เฉลี่ย	13.07	12.34	12.91	13.36	12.06	12.43	12.67
น้ำหนักแช่น้ำ 2 ชม.(กรัม)		183.85	161.38	171.25	174.95	164.15	171.77	171.23
น้ำหนักแช่น้ำ 24 ชม.(กรัม)		194.47	172.44	183.21	187.56	174.44	182.98	182.52
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,339.20	1,148.70	1,182.30	1,233.90	1,272.50	1,222.70	1,233.22
การพองตัวหลัง 2 ชม. (%)		0.94	1.24	1.10	1.16	1.63	1.51	1.26
การพองตัวหลัง 24 ชม. (%)		1.42	2.07	1.65	3.33	3.45	4.02	2.66
การดูดซึมน้ำหลัง 2 ชม. (%)		4.81	13.46	10.50	7.76	8.30	14.24	8.18
การดูดซึมน้ำหลัง 24 ชม. (%)		10.86	21.24	18.21	15.53	15.10	21.70	17.11

การทดลองสมบัติเชิงกล

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช สูตร 40/60

ตารางผนวกที่ 13 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น

(Modulus of rupture and elasticity test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพืชสูตร40/60

ชิ้นงานทดสอบ		2C1	2C2	3C1	3C2	4C1	4C2	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		101.00	101.24	101.57	101.00	101.14	101.11	101.18
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		216.75	217.00	217.50	216.25	218.25	216.75	217.00
ความหนา (มม.)	1	13.36	13.11	13.58	13.45	12.71	12.99	
	2	12.13	10.55	12.28	11.87	12.90	11.32	
	3	12.27	12.33	12.03	12.57	11.35	12.72	
	4	11.69	10.32	11.77	11.45	11.88	11.00	
	เฉลี่ย	12.36	11.58	12.42	12.34	12.21	12.01	12.15
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		270,582.03	254,401.95	274,376.12	269,521.03	269,521.16	263,206.27	266,934.76
น้ำหนัก(กรัม)		361.64	322.91	359.88	344.78	354.64	349.38	348.87
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,336.50	1,269.29	1,311.63	1,279.23	1,315.82	1,327.40	1,307.00
แรงกดสูงสุด(นิวตัน)		735.00	475.30	637.00	565.00	542.00	593.00	591.00
มอดูลัสแตกร้าว (MPa)		13.72	10.08	11.70	10.58	10.35	11.71	11.36
มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)		5,337.00	3,875.30	4,495.00	3,965.20	4,417.00	4,236.00	4,387.30

แผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 40/60

ตารางผนวกที่ 14 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวภายใน(Tensile strength perpendicular to plane of board test) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช สูตร 40/60

ชิ้นงานทดสอบ		2D1	2D2	3D1	3D2	4D1	4D2	ค่าเฉลี่ย
รายการ								
ความกว้างเฉลี่ย(มม.)		47.89	49.56	48.56	49.34	48.17	51.63	49.19
ความยาวเฉลี่ย(มม.)		51.05	49.83	50.91	50.55	51.90	49.45	50.62
ความหนา (มม.)	1	12.68	13.02	13.22	13.49	11.97	12.77	
	2	12.75	12.82	13.54	13.46	11.97	12.68	
	3	12.63	13.14	13.18	13.63	11.86	13.00	
	4	12.72	12.94	13.49	13.54	11.85	12.79	
	เฉลี่ย	12.70	12.98	13.36	13.53	11.91	12.81	12.88
ปริมาตรแผ่น(ลบ.มม.)		31,048.76	32,055.08	33,028.45	33,745.67	29,775.27	32,705.26	32,059.75
น้ำหนัก(กรัม)		36.29	39.67	39.39	41.18	37.54	39.53	38.93
ความหนาแน่น(กก./ม ³ .)		1,168.81	1,237.56	1,192.61	1,220.30	1,260.78	1,208.67	1,214.79
แรงดึงสูงสุด(นิวตัน)		776.70	658.50	565.70	793.10	973.70	719.50	747.87
ความต้านทานแรงดึง (MPa)		0.32	0.22	0.23	0.32	0.39	0.28	0.29

ภาคผนวก ค.

รายงานผลการวิเคราะห์หาค่า Thermal Conductivity



HT.0025 /51

รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน : 8 พฤศจิกายน 2550
 ตัวอย่างจาก : นางสาวสิริพร วาสนาประเสริฐ
 มหาวิทยาลัยศิลปากร
 ทดสอบโดย : ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ
 งานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
 ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์ : “แผ่นซีเมนต์เส้นใยพืช” จำนวน 2 ตัวอย่าง ระบุโดยลูกค้า ดังนี้
 1. 20
 2. 40
 การซึบงตัวอย่าง : ไม่มีข้อมูลระบุจากผู้ส่งตัวอย่าง
 จุดประสงค์ในการวิเคราะห์: หาค่า Thermal Conductivity ของตัวอย่าง
 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ : Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk AB)
 เทคนิคในการทดสอบ : Thermal Constant Analysis (TCA)
 สภาพในการวิเคราะห์ : Room temperature
 Disk type: Kapton Insulation (Sensor No. C7577, Radius = 2.001 mm.)

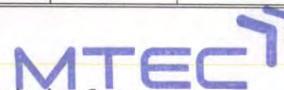
ผลการวิเคราะห์ และการแปลผล:

จากการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างด้วยเทคนิค TCA ได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง

Samples (WxLxT mm)	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.	
	Out Put of Power (W)	Measuring Time (s)					
1. “20” (50x50x12 mm)	0.05	15	Thermal Conductivity (W / m K)	0.2990	0.2988	0.0007	
				0.2980			
				0.2994			
				Thermal Diffusivity (mm ² /s)	0.2488	0.2501	0.0030
					0.2535		
					0.2480		
				Specific Heat (MJ/m ³ K)	1.2020	1.1947	0.0172
					1.1750		
					1.2070		

HT. 0025/51

1/2



Samples (WxLxT mm)	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
	Out Put of Power (W)	Measuring Time (s)				
2. "40" (50x50x12 mm)	0.06	10	Thermal Conductivity (W / m K)	0.3961	0.3959	0.0011
				0.3947		
				0.3969		
			Thermal Diffusivity (mm ² / s)	0.3422	0.3463	0.0038
				0.3497		
				0.3469		
			Specific Heat (MJ/m ³ K)	1.1570	1.1433	0.0140
				1.1290		
				1.1440		

หมายเหตุ:

1. Thermal conductivity is a measure of the ability to transmit heat through the material.
2. Thermal diffusivity is a measure of transient heat flow and is defined as the thermal conductivity divided by the product of specific heat times density.
3. Specific heat is the quantity of heat needed to raise the temperature of a unit mass of the substance 1 degree of temperature.
4. Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk AB)

Reproducibility	- Thermal Conductivity	±2%
	- Thermal Diffusivity	±5%
	- Specific Heat	±7%

ภาคผนวก ง.
การคำนวณหาค่าความร้อน ได้ดังนี้

- การหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance; C) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน กับความหนาของวัสดุ สามารถคำนวณได้ดังสมการ ต่อไปนี้

สูตร $C = k / \Delta x$

เมื่อ $C =$ ค่าการนำความร้อน ($W/m^2 K$)

$k =$ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m. K$)

$\Delta x =$ ความหนาของวัสดุ (m.)

หาค่าการนำความร้อน (C) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช (20/80) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-Value) เท่ากับ $0.30 W/m. K$

ดังนั้น $C = \frac{0.30}{0.012}$

ค่าการนำความร้อน, $C = 25 W/m^2 K$

- ค่าการต้านทานความร้อน(Thermal Resistivity, R-Value) ประกอบไปด้วย ค่าการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ และค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ คือ ส่วนกลับของค่าการนำความร้อน (Conductivity; K-Value) สามารถคำนวณได้ดังสมการ ต่อไปนี้

สูตร $R = 1 / C = \Delta x / k$

เมื่อ $R =$ ค่าการต้านทานความร้อน ($m^2 K/W$)

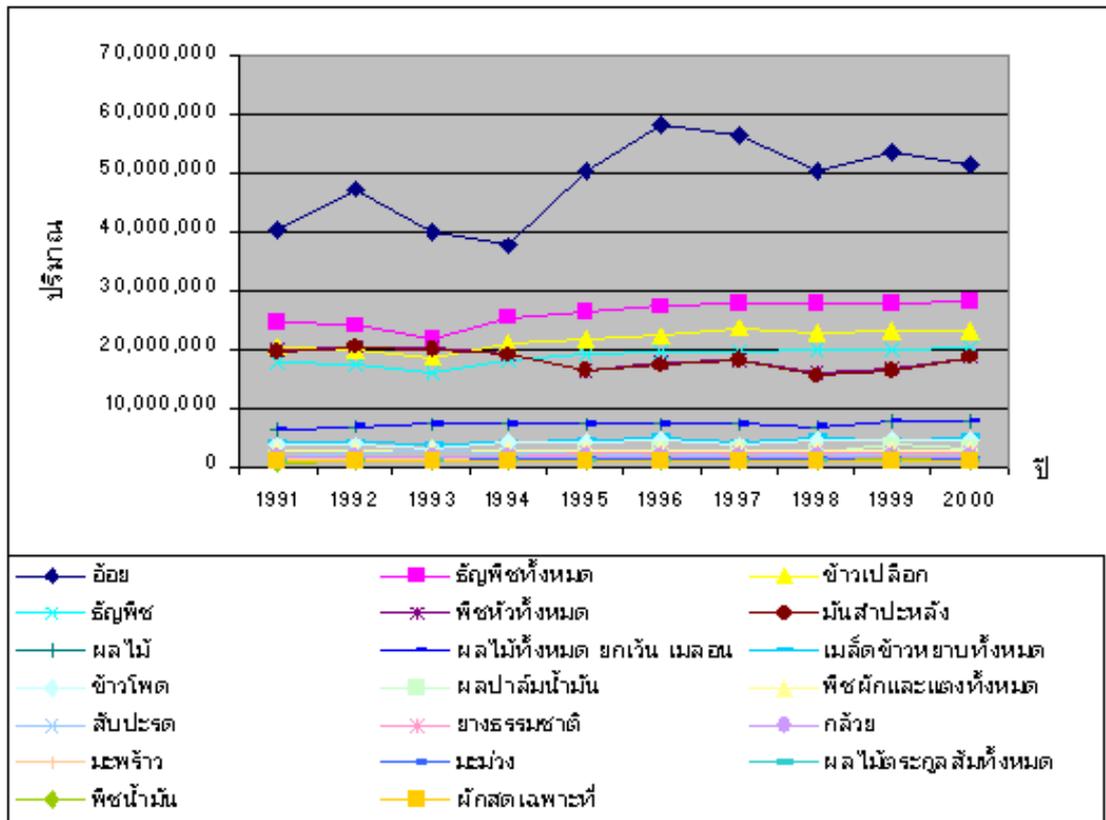
หาค่าการต้านทานความร้อน (R-Value) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยพีช (20/80) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-Value) เท่ากับ $0.30 W/m. K$

ดังนั้น $R = \frac{0.012}{0.03}$

ค่าการต้านทานความร้อน, $R = 0.04 m^2 K/W$

ภาคผนวก จ.

ปริมาณผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทย



แผนภูมิผนวกที่ 1 แสดงสถิติข้อมูลปริมาณผลิตผลเบื้องต้นทั้งหมดจากปี 1991-2000

ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สถิติข้อมูลทางอาหาร และกิจกรรมของประเทศไทย [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 8 June 2006

www.rdi.ku.ac.th/FAOSTAT/agriculture.html

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล ที่อยู่	นางสาวสิริพร วาสนาประเสริฐ 141 หมู่ 8 ตำบลโพธิ์กลาง อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2541	สำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา เทคโนโลยีสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
พ.ศ. 2546	ศึกษาต่อระดับปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา สถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2541 – 2542	ทำงานออกแบบสถาปัตยกรรม
พ.ศ. 2543 - 2545	ลูกจ้างชั่วคราว ตำแหน่ง อาจารย์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.นครราชสีมา