



## รายงานการวิจัย

การผลิตแผ่นใยไม้อัดปลอดสารพิษจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและ  
อุตสาหกรรม

**Non-Toxic Fiberboard Manufacturing from Wastes in Agriculture  
and Industry**

ชาตรี หอมเขียว      Chatree Homkhiew  
วรพงศ์ บุญช่วยแทน      Worapong Boonchouytan  
วรรณพร ชีววุฒิพงศ์      Watthanaphon Cheewawuttipong

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย  
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2559

## การผลิตแผ่นใยไม้อัดปลอดสารพิษจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม

ชาตรี หอมเขียว<sup>1</sup> วรพงศ์ บุญช่วยแทน<sup>1</sup> และวรรณพร ชีววุฒิพงศ์<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาล โคนด ชี้อ้อย ไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด และเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยผลตาล โคนด โดยแบ่งวิธีการในกระบวนการได้ 4 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 เตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง ขั้นตอนที่ 2 ทำการอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง โดยในการอัดใช้อุณหภูมิ 190 °C แรงดันอัด 2000 psi เป็นระยะเวลา 30 นาที ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard; JIS A 5905) ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรมทางสถิติ Design-Expert software (Version 8.0.6, Stat-Ease, Inc.) จากการทดลองสามารถสรุปผลวิจัยได้ดังนี้ การวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ชี้อ้อย ไม้ยางพารา เส้นใยผลตาล โคนด และแป้งมันสำปะหลังมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติความแข็งแรงดัด มอดูลัสการดัด ความแข็งแรงดึง ดึงจากกับผิวหน้า การดูดซับน้ำ และการพองตัว เช่นเดียวกันพบว่า การเพิ่มขึ้นของชี้อ้อย ไม้ยางพารา เส้นใยผลตาล โคนด และแป้งมันสำปะหลังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติความแข็งแรงดัด มอดูลัสการดัด ความแข็งแรงดึง ดึงจากกับผิวหน้า การดูดซับน้ำ และการพองตัวของแผ่นใยไม้อัด นอกจากนี้พบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดคือ เส้นใยผลตาล โคนด 9.1% ชี้อ้อย ไม้ยางพารา 74.5% และแป้งมันสำปะหลัง 16.4% โดยมีค่าความพึงพอใจ 0.761 ที่มีค่าความแข็งแรงดัดเท่ากับ 8.3 MPa ค่ามอดูลัสการดัดเท่ากับ 1325 MPa ค่าความแข็งแรงดึงจากกับผิวหน้าเท่ากับ 0.9 MPa เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเท่ากับ 93% และเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำเท่ากับ 22.7%

คำสำคัญ: แผ่นใยไม้อัด เส้นใยผลตาล โคนด ชี้อ้อย ไม้ยางพารา แป้งมันสำปะหลัง

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา 90000

## Non-Toxic Fiberboard Manufacturing from Wastes in Agriculture and Industry

Chatree Homkhiew<sup>1</sup> Worapong Boonchouytan<sup>1</sup> and Watthanaphon Cheewawuttipong<sup>1</sup>

### Abstract

This research aims to analyze effect of palmyra fruit fiber, rubberwood sawdust and cassava starch contents on mechanical and physical properties of fiberboard as well as finding an optimal formulation. This research included with 4 stages: 1) preparing the equipment in the experiment, 2) pressing the sample fiberboard with temperature 190 °C, pressure 2,000 psi and time 30 min, 3) testing the mechanical and physical properties following Japanese Industrial Standard (JIS) A 5905 and 4) analyzing the results with Design-Expert software (Version 8.0.6, Stat-Ease, Inc.) From the experiment, in analysis of variance it was revealed that the rubberwood sawdust, palmyra fruit fiber and cassava starch significantly affected on modulus of rupture, modulus of elasticity, internal bond strength, water absorption and thickness swelling of fiberboard. Likewise, it was also found that the increasing additions of rubberwood sawdust, palmyra fruit fiber and cassava starch increased modulus of rupture, modulus of elasticity, internal bond strength, water absorption and thickness swelling of fiberboard. Furthermore, it revealed that an optimal formulation found was palmyra fruit fiber 9.1%, rubberwood sawdust 74.5% and cassava starch 16.4% with desirability score 0.761. The fiberboard made with this formulation had modulus of rupture 8.3 MPa, modulus of elasticity 1325 MPa, internal bond strength 0.9 MPa, water absorption 93% and thickness swelling 22.7%.

**Keywords:** Fiberboard, Palmyra fruit fiber, Rubberwood sawdust, Cassava starch

---

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000.



## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือ ร่วมใจหลายฝ่าย และประการสำคัญ คือ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2559

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุที่ใช้ในการปฏิบัติและโรงงานปฏิบัติการพื้นฐานทางวิศวกรรม (โรงงานอาคาร 11)

ขอขอบคุณหน่วยงานภายนอก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือพื้นฐาน เช่น ตู้อบ และเครื่องร่อนแยกขนาด

ขอขอบคุณนักศึกษาผู้ช่วยวิจัยนางสาวนิตติญา หอยสกุล และนางสาววิชุดา แก้วคง ที่ช่วยเหลือการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ

ชาตรี หอมเขียว  
วรพงศ์ บุญช่วยแทน  
วรรณพร ชีววุฒิพงศ์

1 สิงหาคม 2559





## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขต	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ไม้อัดและกรรมวิธีการผลิต	8
2.3 ไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและกรรมวิธีการผลิต	11
2.4 ตาลโตนด	15
2.5 ไม้ยางพารา	16
2.6 แป้งมันสำปะหลัง	18
2.7 กาวสำหรับทำไม้อัด	20
2.8 มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น	22
2.9 การออกแบบสิ่งทดลองแบบ Mixture	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	31
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย	31
3.2 วัสดุ	32
3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักร	34
3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	45
4.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการคัดของแผ่นใยไม้อัด	45

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับ ผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัด	51
4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นใย ไม้อัด	55
4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการพองตัวของแผ่นใยไม้ อัด	58
4.5 สูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตแผ่นใยไม้อัด	60
4.6 การขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากสูตรที่เหมาะสมที่สุด	61
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผลการทดลอง	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม	65



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางกลและทางกายภาพของเส้นใยผลตาลโตนด	16
2.2	ค่ามาตรฐานการทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นใยไม้ไผ่	22
2.3	ค่ามาตรฐานการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้ไผ่	24
3.1	แผนการทดลองตลอดโครงการวิจัย	32
4.1	ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้ไผ่	46
4.2	ผลการวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสมบัติ	47





## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ลักษณะต้นตาลโตนดและผลตาลโตนด	2
2.1	แผนผังกรรมวิธีการผลิตไม้อัดสลักชั้น	9
2.2	กรรมวิธีการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบวิธีที่ 1	10
2.3	กรรมวิธีการผลิตไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	14
2.4	การตัดชิ้นแผ่นทดสอบสมบัติต่างๆ	22
2.5	ลักษณะสิ่งทดลองที่เป็นแบบ Mixture	26
2.6	ลักษณะสิ่งทดลองที่เป็นแบบ Scheffe simplex-lattice	28
2.7	ลักษณะสิ่งทดลองที่เป็นแบบ Scheffe simplex-lattice ที่มี 3 ตัวแปร แต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ และ 3 ระดับ (ไม่รวม 0)	28
2.8	สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบ Scheffe simplex-centroid	29
2.9	สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบ Simplex axial	29
3.1	แผนผังการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการวิจัย	31
3.2	เส้นใยผลตาลโตนด	33
3.3	ซีลี้อยไม้ยางพารา	33
3.4	แป้งมันสำปะหลัง	33
3.5	เครื่องย่อยเส้นใย	34
3.6	ตะแกรงร่อนเบอร์ 12	34
3.7	ดาซัง	35
3.8	แม่พิมพ์แผ่นบนและแผ่นล่าง	35
3.9	เครื่องอัดรีด	36
3.10	เลื่อยจิ๊กซอว์	36
3.11	เครื่องขัดไม้	37
3.12	เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์	37
3.13	เครื่องชั่งดิจิตอล	38
3.14	เวอร์เนียร์ดิจิตอล	38
3.15	การเตรียมเส้นใยผลตาลโตนด	39
3.16	การย่อยใยผลตาลโตนดด้วยเครื่องย่อย	40

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17	40
3.18	41
3.19	42
3.20	42
3.21	43
3.22	44
4.1	48
4.2	49
4.3	52
4.4	54
4.5	57
4.6	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	กราฟโครงร่างค่าความพึงพอใจในสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตแผ่นใยไม้อัด	61
4.8	แผ่นใยไม้อัดจากสูตรที่เหมาะสมที่สุด	61
4.9	ผลิตภัณฑ์กล่องบรรจุภัณฑ์จากแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากเส้นใยผลตาลโดนดจีเดี่ยวไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง	62





# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันทรัพยากรป่าไม้มีปริมาณลดน้อยลง ส่งผลให้ไม่มีการขาดแคลน ทำให้เกิดผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากไม่มีบทบาทต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ เช่นเดียวกัน เนื่องด้วยการใช้ประโยชน์อย่างไม่รู้คุณค่าทำให้ทรัพยากรป่าไม้มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ไม่มีไม้เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน ด้วยเหตุนี้การผลิตวัสดุทดแทนไม้จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่นักวิจัยให้ความสนใจกันอย่างแพร่หลาย

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันทรัพยากรป่าไม้มีปริมาณลดน้อยลง ส่งผลให้ไม่มีการขาดแคลน ซึ่งมีการแก้ปัญหา นี้โดยการนำเข้าไม้จากประเทศเพื่อนบ้านเพื่อทดแทนไม้ภายในประเทศ ด้วยเหตุนี้การใช้ไม้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดหรือการผลิตวัสดุทดแทนไม้จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่นักวิจัยให้ความสนใจอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่าง การนำเศษไม้หรือวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าโดยการผลิตเป็นแผ่นไม้ประกอบ แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ แผ่นวัสดุผสมไม้พลาสติก แผ่นใยไม้อัดแข็ง (Hard board) และแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard; MDF) โดยเฉพาะแผ่นใยไม้อัดที่เป็นแผ่นไม้ชนิดอัดแน่นชนิดหนึ่งที่เกิดจากการนำเอาวัสดุไม้หรือวัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลักมาบดให้เป็นเส้นใยแล้วนำมาผสมกับสารยึดติดและสารเติมแต่งอื่น จากนั้นนำมาอัดเป็นแผ่นให้ได้ความหนาแน่นตลอดทั้งแผ่นอย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันตลาดหลักของแผ่นใยไม้อัดคืออุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างและตกแต่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมการผลิตประตูและอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศมี 2 ชนิด คือ แผ่นใยไม้อัดชนิดเปลือย และแผ่นใยไม้อัดชนิดปิดผิว โดยวัสดุปิดผิวที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ แผ่นไม้บางและเมลานิน ซึ่งมีทั้งสีพื้นและลวดลายต่างๆ การใช้งานแผ่นใยไม้อัดส่วนใหญ่เป็นการใช้แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตในประเทศทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่า แผ่นใยไม้อัดมีความได้เปรียบมากกว่าแผ่นไม้ (Wood-based panels) ประเภทอื่นทั้งในเชิงเศรษฐกิจและเทคนิคลอย ซึ่งเป็นที่ยอมรับของทั้งผู้บริโภคและผู้ผลิต ดังจะเห็นได้จากความต้องการและประยุกต์ใช้งานที่มากขึ้น [1]

จากสภาพปัญหาด้านทรัพยากรป่าไม้ที่มีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่องดังที่กล่าวข้างต้น ทำให้วัสดุคิบบที่ไม่ใช่ไม้ (Non-wood material) คือพืชที่ไม่มีลักษณะต้นไม้ ได้แก่ พืชเส้นใยทางเกษตรอื่นๆ และเมื่อพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ เรื่องราคา ปริมาณที่มีอยู่ แหล่งของวัสดุคิบบระยะเวลาและปริมาณ พบว่าวัสดุคิบบที่ไม่ใช่ไม้เป็นวัสดุคิบบที่น่าสนใจกว่าไม้โตเร็วที่มีข้อจำกัดในด้าน

ระยะเวลา พื้นที่ในการปลูก และปริมาณที่น้อยกว่าพืชเส้นใยทางเกษตร ดังนั้นแนวคิดการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เส้นใยผลตาลโตนดมาทำให้มีคุณค่าเป็นวัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติหรือผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ ตามความเหมาะสม น่าจะเป็นโอกาสในการสร้างงานและเพิ่มรายได้ให้กับท้องถิ่นได้เป็นอย่างดีอีกด้วย [1]

ต้นตาล โตนดคังรูปที่ 1 มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn. มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Palmyra palm หรือ Lontar หรือ Fan palm ในประเทศไทยมีชื่อหลายชื่อคือ ในภาคกลางเรียกว่า “ต้นตาลโตนด” หรือเรียกสั้นๆ ว่า “ต้นตาล” ภาคใต้เรียกว่า “ตาลโตนด” หรือ “ต้นโหนด” ชาวจังหวัดยะลาหรือปัตตานีเรียกว่า “ปอเก๊ะตา” ตาลโตนดเป็นพืชตระกูลปาล์มใบพัดชนิดหนึ่ง ชอบอากาศร้อน ชอบขึ้นในดินทรายหรือดินปนทราย และดินเหนียว เช่นเดียวกันในที่เปียกแฉะ เช่น ทุ่งนาตาลโตนดสามารถเจริญงอกงามดี ในที่ดินทรายน้ำกร่อยขึ้นถึงต้นตาลโตนดจะยิ่งโตเร็วและมีน้ำหวานจัด นอกจากนี้ยังชอบขึ้นในที่ไม่มีพืชปกคลุม เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพค่อนข้างแห้งแล้งไม่ชอบดินกรดแต่สามารถเจริญเติบโตในที่ชุ่มชื้นได้ดี นอกจากนี้ตาลโตนดมีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ตะวันออก ต่อมาได้แพร่พันธุ์เข้าไปในประเทศอินเดีย ศรีลังกา และกลุ่มประเทศในแถบเอเชีย ปัจจุบันมีมากในแถบทวีปเอเชียประกอบด้วย อินเดีย ศรีลังกา พม่า กัมพูชา อินโดนีเซีย และไทย สำหรับประเทศไทยพบมากในพื้นที่เขตภาคกลาง จังหวัดเพชรบุรี สุพรรณบุรี และภาคใต้แถบจังหวัดสงขลา เป็นต้น



(ก) ต้นตาลโตนด

(ข) ผลตาลโตนด

รูปที่ 1.1 ลักษณะต้นตาลโตนดและผลตาลโตนด [1]



อำเภอสติงพระ จังหวัดสงขลา เป็นที่ราบลุ่ม ซึ่งเหมาะแก่การปลูกข้าวและตาลโตนด โดยมีการผสมผสานการปลูกข้าวและตาลโตนดกันอย่างใกล้ชิด พื้นที่ประมาณ 3 ใน 4 เป็นที่ทำนาและทำน้ำตาลโตนด ปริมาณการปลูกต้นตาลโตนดเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดแรงงานทางการเกษตร และการเติบโตของอุตสาหกรรมครัวเรือนไปพร้อมกัน จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยพบว่า ต้นตาลมีคุณสมบัติและประโยชน์ที่ดีหลายประการ แต่ยังมีปัญหาจากเศษเหลือทิ้งจำนวนมากในธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากชาวบ้านนำผลตาลไปใช้ประโยชน์เพื่อทำขนมตาลแล้วทิ้งส่วนของผลตาล (ใบตาลโตนด) เป็นจำนวนมาก โดยไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์และปล่อยให้เปื่อยยุไปเองตามธรรมชาติ [2]

จากสภาพปัจจุบันผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าส่วนของเส้นใยผลตาลที่เหลือทิ้ง สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตแผ่นใยไม้อัดได้ เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาหลายเรื่องได้นำเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรมาประยุกต์ใช้ เช่น ใยมะพร้าว ต้นข้าวโพด เปลือกทุเรียน เส้นใยปาล์ม ฟางข้าว และผงไม้ยางพารา เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การผลิตแผ่นใยไม้อัดจากใยผลตาลโตนดกับขี้เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลังจึงเป็นนวัตกรรมใหม่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโตนด ปริมาณผงไม้ยางพารา และปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด ซึ่งผลจากการวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่ปลูกต้นตาลโตนดและแปรรูปผลตาลโตนด ซึ่งสามารถนำเศษวัสดุเหลือใช้มาเพิ่มมูลค่าโดยการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยผลตาลโตนด เช่นเดียวกันผลจากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในทางวิชาการสำหรับผู้สนใจนำเส้นใยผลตาลโตนดไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโตนด ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด

1.2.2 เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยผลตาลโตนด

## 1.3 ขอบเขต

1.3.1 ใช้เส้นใยผลตาลโตนดที่มีความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร (cm.) และขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีขนาดเล็กกว่า 1.68 มิลลิเมตร (mm.)

1.3.2 สภาวะที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูป คือ อุณหภูมิ 190 °C เวลาที่ใช้ในการกวนผสมและใช้ในการอัด คือ 10 นาที และแรงดันที่ใช้ในการอัด คือ 2000 psi



1.3.3 ศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพตามมาตรฐานการทดสอบของ JIS A 5905 เช่น ทดสอบความแข็งแรงดัด ทดสอบแรงดึงดึงฉากกับผิวหน้า ทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ทดสอบการดูดซับน้ำ เป็นต้น

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบอัตราส่วนผสมของเส้นใยผลตาล โดนด จี๊เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นใยไม้อัด

1.4.2 ทราบผลกระทบของเส้นใยผลตาล โดนด จี๊เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลังที่มีต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด

1.4.3 แผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยผลตาล โดนด และจี๊เลื่อยไม้ยางพาราสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ได้

1.4.4 สามารถเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เส้นใยผลตาล โดนด และจี๊เลื่อยไม้ยางพาราให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.4.5 สามารถเพิ่มมูลค่าและประโยชน์การใช้งานให้แก่แป้งมันสำปะหลัง



## บทที่ 2

### งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยผลตาล โคนด ไม้อัดและกรรมวิธีการผลิต ไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและกรรมวิธีการผลิต กาวสำหรับทำไม้อัด และมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard; JIS A 5905) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฉัตรชัย แถมเงิน [3] ทำการผลิตแผ่นเส้นใยซีเมนต์ใช้กากตะกอนจากระบบน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ โดยใช้ชานอ้อยและยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ ทำการทดสอบความต้านทานแรงดัดของเส้นใยซีเมนต์เป็นเวลา 28 วัน เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์ น้ำ และกากตะกอนน้ำเสีย พบว่ากากตะกอนชานอ้อยร้อยละ 2 และอัตราส่วนน้ำต่อมวลของแข็งเท่ากับ 0.3 ให้แรงดัดสูงสุด ส่วนกากตะกอนยูคาลิปตัสให้แรงดัดสูงสุดที่ปริมาณการร้อยละ 5 อัตราส่วนน้ำต่อมวลของแข็งเท่ากับ 0.45 เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางความร้อน พบว่าความหนาแน่นของแผ่น ไม้อัดซีเมนต์กากชานอ้อยสูงกว่าแผ่นซีเมนต์ใช้กากยูคาลิปตัส การพองตัวแห้งน้ำ 24 ชั่วโมง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าและการนำความร้อนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ซึ่งแผ่นเส้นใยซีเมนต์ใช้กากชานอ้อยมีค่าสูงกว่าแผ่นใยซีเมนต์ใช้กากยูคาลิปตัส

ศราวิน ปัญจะพลินกุล [4] ได้ศึกษาวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยธรรมชาติจากพืช ในเรื่องการแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีตขณะก่อตัวด้วยเส้นใยธรรมชาติจากพืชเปรียบเทียบกับ การใส่เส้นใยโพลีโพรพิลีน และในการเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ โดยทำการทดลองในที่ควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เส้นใยแต่ละชนิดใช้ปริมาณร้อยละ 0.05-0.25 จากนั้นจะศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตและซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย ประกอบด้วย กำลังอัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยร้อยละ 0.05-0.25 กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย ปริมาณร้อยละ 2.0 กำลังอัดของซีเมนต์ร้อยละ 2.0 จากผลการทดสอบ การใส่เส้นใยธรรมชาติจากพืชใน ปริมาณร้อยละ 0.25 สามารถลดการแตกร้าวได้เทียบเท่าเส้นใยโพลีโพรพิลีนและยังลดได้มากกว่า ร้อยละ 80 เทียบกับคอนกรีตล้วน ในขณะที่แรงอัดของคอนกรีตลดลงประมาณร้อยละ 4-5

กิตติศักดิ์ บัวศรี [5] ได้ทำการวิจัยการพัฒนาแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด คือ เส้นใยจากชานอ้อย

เส้นใยจากกะลาปาล์ม เส้นใยจากเปลือกข้าวโพด และเส้นใยจากชังข้าวโพด ที่ใช้ในการผลิตแผ่นฉนวนความร้อน พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางความร้อน ผลสรุปของงานวิจัยได้ว่า ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่า ที่ปริมาณสารยึดติดสูงขึ้น ปริมาณความชื้น การดูดซับน้ำ และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ 2 และ 24 ชั่วโมง จะลดลง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารยึดติดที่ใช้ด้วย ผลการทดสอบสมบัติทางกลพบว่า ที่ปริมาณสารยึดติดสูงขึ้น ความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น ความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าหรือแรงยึดเหนี่ยวภายในสูง ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่า ที่ปริมาณสารยึดติดของแผ่นที่ต่ำจะมีสมบัติในการนำความร้อนที่ต่ำ ที่ปริมาณสารยึดติดของแผ่นสูงขึ้นไปมีแนวโน้มค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วย

บุศรินทร์ อินทรกำแหง ณ ราชสีมา [6] ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อพฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่นซีเมนต์เยื่อกระดาษผสมเส้นใย ได้แก่ ชนิด ปริมาณ และความยาวของเส้นใย โดยนำกระดาษที่ใช้มาแช่น้ำ 7 วัน แล้วนำไปย่อยให้ได้เนื้อกระดาษ จากนั้นนำไปผสมกับกาวซีเมนต์และเส้นใย อัดและขึ้นรูป แล้วนำมาตัดให้ได้ขนาด 10 cm x 30 cm x 1.5 cm สำหรับการศึกษาระเบียงเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกใช้อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ต่อเยื่อกระดาษคือ 1 : 1 แรงอัดใช้ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{kg/cm}^2$ ) เส้นใยปานศรนารายณ์ เส้นใยปอ และเส้นใยโพลีโพรพิลีน ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ความยาวที่ใช้ 2.5, 5.0 และ 7.5 cm กลุ่มที่ 2 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ต่อเยื่อกระดาษ คือ 1 : 0.5, 1 : 1 และ 1 : 1.5 ใช้เส้นใยปานศรนารายณ์ปริมาณร้อยละ 1.5 และ 2.0 ความยาว 50 และ 75 cm แรงอัดในการขึ้นรูป คือ 30 และ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{kg/cm}^2$ ) จากการศึกษาและวิจัยกระดาษต่อซีเมนต์ที่ดีที่สุดคือ 1 : 1 แรงอัดในการขึ้นรูป 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{ksc}$ ) ให้ผลดีที่สุด และไม่ว่าผลจะเป็นชนิด ปริมาณ และความยาวของเส้นใย แรงดัน ล้วนมีผลต่อแรงดัดของแผ่นซีเมนต์

กฤษดา คงเดิม [7] ทำการศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเศษเหลือของปาล์มน้ำมันเพื่อหาอัตราส่วนของเศษเหลือของปาล์มน้ำมันในการผลิตแผ่นใยไม้อัดโดยใช้กาวยูเรียฟอรั่มลดีไฮด์เป็นตัวประสาน โดยนำไปทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพตามมาตรฐาน JIS A 5905 จากผลการทดสอบได้สัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเศษเหลือของปาล์มน้ำมันที่มีทะเลาะปาล์ม : ทางใบปาล์ม : กะลาปาล์ม ส่วนผสม 30 : 40 : 30 โดยปริมาณกาวยูเรียฟอรั่มลดีไฮด์เป็นตัวประสาน 495 กรัม อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดประสาน คือ 110-125 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเวลาที่เหมาะสม คือ 10 นาที

วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวุฒิ และนิคม แหลมสัก [8] ได้ทำการวิจัยแผ่นใยไม้อัดโดยไม่ใช้กาวจากชานอ้อย ในงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากชานอ้อยโดยไม่ใช้กาวด้วยกรรมวิธีอื่นๆ กับวิธีการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำตามความแปรผันของปัจจัยต่างๆ ที่มี



ผลกระทบต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของแผ่นใยไม้อัด พบว่าเยื่อที่ผ่านการเตรียมด้วย Defibrator ที่ความดัน 5 บาร์ เป็นเวลา 10 นาที และบด 2 ครั้ง ได้นำมาศึกษาวิธีการอัดร้อน 3 วิธี ตามความผันแปรของอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส และใช้วิธีการอัดร้อน แบบที่ 1 ให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของแผ่นใยไม้อัดดีที่สุด ได้แก่ ค่ามอดูลัสการแตกฉา 25 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น 3,300 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร การทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า 0.09 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ 33.5% และการทดสอบการดูดซับน้ำ 55.9%

ปรัชญา ประกอบสุข [9] ได้ทำการวิจัยนวัตกรรมเส้นใยตาลรักโลก ในงานวิจัยได้ทำการนำเสนอเส้นใยธรรมชาติอีกเส้นใยหนึ่งเส้นใยของไทยที่มีการพัฒนาขึ้นและมีความน่าสนใจด้วยเหตุผลหลายประการ คือ เป็นเส้นใยที่พัฒนามาจากวัสดุเหลือทิ้ง มีเอกลักษณ์ มีคุณสมบัติที่สามารถนำไปทำเป็นวัสดุสำหรับเครื่องนุ่งห่ม เช่น ผ้าทอเก็บเสียงจากเส้นใยตาล ผลจากการวิจัยโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นใยผลตาลโดนดในเชิงอุตสาหกรรมสิ่งทอ สามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำมาจากเส้นใยผลตาลโดนด และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากรเหลือทิ้งในท้องถิ่นที่ยั่งยืน และเพื่อเป็นพื้นฐานการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนที่พอเพียง และสร้างเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอใหม่ของไทยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ปราโมทย์ วีรานุกูล [10] ทำการวิจัยการใช้กามะพร้าว ต้นข้าวโพด และเปลือกทุเรียน เป็นวัสดุประกอบชีวภาพทดแทนไม้ในแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง โดยการหาอัตราส่วนผสมต่างๆ 7 อัตราส่วน โดยใช้อัตราส่วนเส้นใย : กาวไอโซไซยานต เท่ากับ 1 : 0.13 : 0.003 การผลิตแผ่นใยชีวภาพอัดทำได้โดยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 130°C ด้วยความดัน 20-50 kg/cm<sup>2</sup> เป็นเวลา 8 min มีความหนาแน่นระหว่าง 603-856 kg/cm<sup>2</sup> ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 จากผลการทดสอบอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว : เส้นใยข้าวโพด : เส้นใยทุเรียน คือ 0.33 : 0.33 : 0.33 และ 0.50 : 0.25 : 0.25 มีสมบัติทางกลและทางกายภาพผ่านมาตรฐานกำหนด

อมเรศ บกสุวรรณ [11] ได้ทำการวิจัยการผลิตแผ่นใยไม้อัดเทียมจากโพลีเอทิลีนผสมเส้นใยเปลือกทุเรียน ในการวิจัยได้ทำการศึกษาสมบัติแผ่นไม้อัดเทียมโดยการผสมวัสดุจากโพลีเอทิลีนกับเส้นใยเปลือกทุเรียน โดยมีส่วนผสมของโพลีเอทิลีนต่อเส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 โดยน้ำหนัก ผสมเส้นใยทุเรียนด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปแผ่นวัสดุผสมขนาด 30 cm x 30 cm x 0.5 cm โดยวิธีการอัดร้อน และทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นวัสดุผสมตามมาตรฐาน ASTM จากผลการทดสอบพบว่า วัสดุผสมที่มีปริมาณของโพลีเอทิลีนที่สูงขึ้นจะทำให้วัสดุผสมมีความต้านทานการรับแรงดึง และแรงกระแทกสูงกว่า ส่วนปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานการรับแรงดัด และ

ความแข็งที่ผิวสูงขึ้น ผลการวิจัยมีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาเป็นแผ่นวัสดุตกแต่งผนังอาคาร เนื่องจากมีสีผิวและลวดลายของวัสดุผสมที่สวยงาม

ปิติฉัตร ตรีวงศ์ [12] ได้ทำการวิจัยการประยุกต์ใช้แผ่นใยไม้อัดเป็นฝ้าเพดานกันความร้อน ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แผ่นใยไม้อัดเป็นฝ้าเพดานกันความร้อน แทนการใช้แผ่นยิปซัมที่เมื่อเลิกใช้แล้วจะกลายเป็นขยะซึ่งย่อยสลายได้ยากและเป็นพิษ โดยการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อนของแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยพารา กับแผ่นยิปซัม เพื่อพิสูจน์ว่าแผ่นใยไม้อัดมีความเหมาะสมสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าแผ่นยิปซัมถึง 7 เท่า จึงสามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยิปซัม อีกทั้งยังมีความแข็งแรงมากกว่าด้วย แต่มีข้อเสีย คือ เปอร์เซ็นต์การพองตัวของแผ่นใยไม้อัดมีมากกว่าแผ่นยิปซัม จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในที่มีความชื้นสูง

## 2.2 ไม้อัดและกรรมวิธีการผลิต [13]

ไม้อัดมี 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ ไม้อัดสลักชั้น (Plywood) ไม้อัดแผ่นเรียบ (Hard board หรือ Fiber board) และแผ่นปาร์ติเกิล (Particleboard) ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตดังนี้

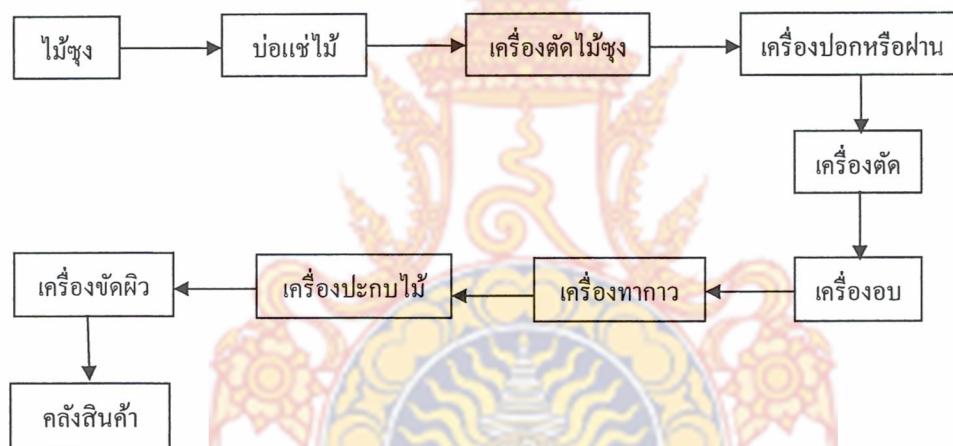
1) วัตถุดิบที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตไม้อัดสลักชั้น ได้แก่ ไม้ซุง กาวเทป และแป้งมัน ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบและแผ่นปาร์ติเกิล ได้แก่ เศษไม้ กาว และจี้ฟุ้ง โดยมีแหล่งที่มา คือ

- ไม้ซุง จากองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้หรือสั่งไม้จากต่างประเทศ เช่น ประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย เป็นต้น
- กาวจากโรงงานผลิตภายในประเทศ และสั่งซื้อจากต่างประเทศ เช่น ประเทศอังกฤษ สาธารณรัฐเยอรมันตะวันตก อิตาลี สวีเดน และญี่ปุ่น เป็นต้น
- เทป สั่งซื้อจากต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ออสเตรเลีย และเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น
- จี้ฟุ้ง จากโรงงานในประเทศ และสั่งซื้อจากต่างประเทศ
- แป้งมัน จากโรงงานในประเทศ
- เศษไม้ จากโรงงานไม้แปรรูปภายในประเทศ

2) กรรมวิธีการผลิตไม้อัดสลักชั้น จะต้องเริ่มตั้งแต่การผลิตไม้วีเนียร์ก่อน โดยการนำไม้ซุงทั้งท่อนแช่ในบ่อสำหรับต้มด้วยไอน้ำประมาณ 12-24 ชั่วโมง (แล้วแต่ความอ่อนแข็งของเนื้อไม้) เพื่อให้เนื้อไม้อ่อนตัวปอกง่ายและมีผิวเรียบ ไม้ที่ใช้ผลิตส่วนใหญ่ เช่น ไม้สัก ไม้ยาง ไม้สมพง ไม้สยา และไม้มะปิ่น เป็นต้น เมื่อต้มท่อนซุงได้ที่แล้ว จึงนำมาตัดเป็นท่อนสั้นๆ ให้ได้ขนาดที่จะ



นำเข้าเครื่องปอกหรือเครื่องฟาน เพื่อปอกไม้ท่อนให้เป็นแผ่นไม้วีเนียร์ เครื่องจักรจะปอกเนื้อไม้ ออกเป็นแผ่นยาวๆ ต่อจากนั้นจะเคลื่อนเข้าไปม้วนในลูกกลิ้ง แล้วนำไปเข้าเครื่องตัด เพื่อตัด ออกเป็นแผ่นวีเนียร์ ต่อจากนั้นนำเข้าเครื่องอบประมาณ 1-2 นาที โดยใช้ความร้อนประมาณ  $170^{\circ}\text{C}$  เพื่อไล่ความชื้นในเนื้อไม้ ออกให้แห้งเท่ากับความชื้นในอากาศ ทั้งนี้ป้องกันไม้ยืดและหดตัว และ เพื่อให้แห้งพอดีที่จะติดกาวได้ ไม้วีเนียร์เมื่ออบแห้งแล้วนำมาต่อเป็นแผ่น โดยใช้เทปให้ได้ขนาด ตามที่ต้องการ แล้วนำเข้าเครื่องทากาวให้เสมอทั่วกันตลอดแผ่น ปะกบไม้วีเนียร์เข้าด้วยกัน กาว เป็นส่วนประกอบที่สำคัญยิ่ง ไม้อัดจะมีคุณภาพและความแข็งแรงคงทนมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ คุณภาพของกาวเป็นสำคัญ การปะกบแผ่นไม้วีเนียร์จะต้องให้เส้นเนื้อไม้แผ่นบางแต่ละข้างสลับกัน เป็นมุมฉากกันทุกแผ่นแล้วจึงนำไปเข้าเครื่องขัด โดยใช้ความร้อน  $120^{\circ}\text{C}$  (อยู่ในเครื่องประมาณ 2 นาที) และแรงอัดนี้ช่วยให้แผ่นวีเนียร์ที่ทากาวไว้แห้งสนิทติดเป็นแผ่นเดียวกัน กลายเป็น ไม้อัดสลับ ชั้นและส่งเข้าเครื่องขัดผิวให้เรียบ เพื่อตกแต่งให้สวยงาม



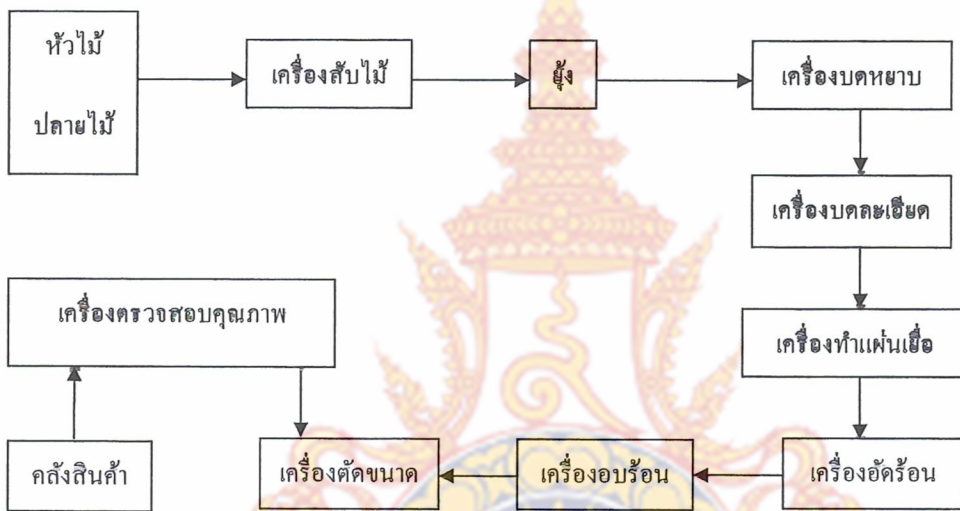
รูปที่ 2.1 แผนผังกรรมวิธีการผลิตไม้อัดสลับชั้น (Plywood) [13]

3) กรรมวิธีการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบและแผ่นปาร์ติเกิล การผลิตไม้อัดแผ่นเรียบมีอยู่ 2 วิธี คือ

- การผลิตไม้อัดแผ่นเรียบและแผ่นปาร์ติเกิลวิธีที่ 1 คือ แผ่นไม้ที่ผลิตขึ้นจากการ นำเอาสารประกอบลิกโนเซลลูโลส (Ligno-cellulose) หรือเยื่อซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก ในไม้มาทำเป็นแผ่นโดยนำมาอัดให้เป็นแผ่นตามที่ต้องการ เป็นการผลิตตาม กรรมวิธีเปียก (Wet process) สำหรับลิกโนเซลลูโลสหรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า ไฟเบอร์ (Fiber) คือ ไยหรือเยื่อ ทำได้โดยนำเอาเศษไม้ชนิดและลักษณะต่างๆ กัน สับ



ให้ไต้ขนาดพอเหมาะแล้วนำเข้าเตาให้ร้อนจัดด้วยไอน้ำเพื่อให้อ่อนตัวในการนำไปบด เอาสารลิกโนเซลลูโลส เพื่อนำไปใช้ทำไม้อัดแผ่นเรียบต่อไป จากนั้นจะนำแผ่นเยื่อไปเข้าเครื่องอัดร้อนด้วยแรงอัดสูงถึง 3,400 ton ( $50 \text{ kg/cm}^2$ ) ที่อุณหภูมิ  $210^\circ\text{C}$  เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 6 นาที เพื่ออัดเป็นแผ่นเรียบที่มีความแข็ง ก็จะส่งเข้าเตาอบความร้อนอีกประมาณ 4 ชั่วโมง ต่อจากนั้นก็นำเข้าปรับความชื้นอีก 8 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและให้คงรูปดีขึ้น เมื่อกรรมวิธีตามขั้นตอนต่างๆ ดังกล่าวแล้ว นำไม้อัดแผ่นเรียบไปตัดตามขนาดที่ต้องการและแยกชั้นคุณภาพตามผลการวิเคราะห์จากห้องวิจัยเพื่อนำออกจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 2.2 กรรมวิธีการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบวิธีที่ 1 [13]

- กรรมวิธีการผลิตไม้อัดแผ่นเรียบและแผ่นปาร์ติเกิลวิธีที่ 2 เป็นการผลิตตามวิธีแห่ง โดยนำไม้ต่างๆ เช่น เศษพื้จากโรงเลื่อย ไม้ตะแบก ไม้เบญจพรรณ ที่เตรียมไว้ส่งไปตามร่างบ่อนไม้ ใช้น้ำฉีด เพื่อสร้างดินทรายที่สกรปรกซึ่งติดมากับเศษไม้ แล้วบ่อนเข้าเครื่องหันไม้ เพื่อหันให้เป็นชิ้นเล็กตามขนาดที่ต้องการ คือ ขนาดประมาณ ตั้งแต่ 1.5 cm, 1.0 cm และ 0.35 cm โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1 นิ้ว (in)  $\times$  1 นิ้ว (in) ส่วนที่โตเกินขนาดจะส่งกลับเข้าหั่นอีก ส่วนที่เล็กเกินไปจะส่งไปเป็นเชื้อเพลิงผลิตไอน้ำ สะเก็ดไม้ที่ได้ขนาดจะส่งเข้าไปเก็บไว้ในถังเก็บ แล้วจะส่งสะเก็ดไม้ที่ได้ขนาดจากถังเก็บเข้าหม้อต้มซึ่งใช้ไอน้ำประมาณ 10-20 นาที พร้อม กับฉีดซีเมนต์ที่ละลายเข้าผสมกับสะเก็ดไม้ในเครื่องบด เพื่อบดสะเก็ดไม้จากหม้อต้ม

ให้เป็นเส้นใยหรือเรียกว่า ไฟเบอร์ พร้อมทั้งฉีดทาสีเคลือบที่ซึ่งละลายน้ำแล้วเข้าผสมกับไฟเบอร์ในเครื่องบด ไฟเบอร์ในเครื่องบดจนมีความชื้นสูงจึงต้องผ่านเข้าเครื่องอบซึ่งเป็นท่อลมร้อน เพื่ออบให้เหลือความชื้นพอเหมาะแล้วส่งเข้าเครื่องโรยแผ่นไฟเบอร์จะโรยลงบนตะแกรงลวดทองแดงผสมกรรมวิธีการผลิตนี้เรียกว่า “Mat forming air filter” แล้วส่งเข้าเครื่องอัดเย็นเพื่ออัดให้เป็นแผ่น และให้แต่ละแผ่นยาวประมาณ 16 ฟุต (ft) จึงส่งแผ่นที่อัดแล้วลงบนแผ่นรองรับ เพื่อส่งเข้าแท่นอัดร้อน อัดครั้งละ 12 แผ่น  $4 \times 16$  ฟุต (ft) ใช้แรงอัดสูง ความร้อน  $200-220^{\circ}\text{C}$  เวลาอัดประมาณ 4 นาที ส่งแผ่นฮาร์ดบอร์ด ซึ่งออกจากแท่นอัดร้อนเข้าห้องป้อนความชื้นเพื่อให้แผ่นฮาร์ดบอร์ดมีความชื้นอยู่ในเกณฑ์ 8-10% เมื่อแผ่นฮาร์ดบอร์ดได้รับความชื้นแล้วก็จะส่งเข้าเครื่องตัดริมตามขนาดกว้าง 4 ฟุต ยาว 8 ฟุต ความหนา มีหลายขนาด แล้วจะส่งเข้าเก็บในโกดังสินค้า เพื่อรอจำหน่ายต่อไป

กรรมวิธีการผลิตทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะแตกต่างกัน คือ กรรมวิธีการผลิตวิธีที่ 2 เป็นวิธีการผลิตแบบแห้ง คือ เมื่อเส้นไฟเบอร์ผ่านเครื่องแยกไฟเบอร์แล้วจะผ่านท่อลมร้อน โดยไฟเบอร์จะไม่มีน้ำผสมอยู่เลยเป็นการอัดแห้งและไม่ต้องมีตะแกรงรองรับภายใต้แผ่น ส่วนกรรมวิธีการผลิตวิธีที่ 1 เป็นวิธีการผลิตแบบเปียก คือ เมื่อขึ้นไม้ผ่านหม้อต้มและเครื่องแยกไฟเบอร์แล้ว เส้นไฟเบอร์ยังคงปนอยู่กับน้ำโดยยังไม่มีการโรยแผ่น ซึ่งไฟเบอร์กับน้ำจะรวมตัวกันเข้าเครื่องแผ่น แล้วเข้าเครื่องอัดร้อนและท่อนอัด ซึ่งจะทำหน้าที่กดไฟเบอร์ เพื่อแยกน้ำออกภายใต้แผ่นจะต้องมีตะแกรงเพื่อให้ น้ำออกได้

### 2.3 ไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและกรรมวิธีการผลิต [13]

ไม้อัดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นไม้ที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ใยมะพร้าว ี่เสื่อใยพารา และเปลือกทุเรียน เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ทดแทนการใช้ไม้จากธรรมชาติและยังช่วยลดปริมาณขยะในสิ่งแวดล้อม โดยไม้อัดที่ทำได้จากเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าวนี้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับไม้อัดที่ทำจากไม้พาราหรือไม้ยูคาลิปตัสที่นับวันจะมีจำนวนลดน้อยลงและมีราคาสูงขึ้น ตลาดของไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นตลาดเดียวกับตลาดไม้อัดทั่วไป เนื่องจากไม้อัดชนิดนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงสามารถทดแทนไม้อัดทั่วไปได้ค่อนข้างสมบูรณ์ แม้ว่าปัจจุบันการใช้ไม้อัดในภาคธุรกิจอสังหาริมทรัพย์มีแนวโน้มลดลง แต่การใช้ไม้อัดในภาคอุตสาหกรรมอื่น เช่น การผลิตเฟอร์นิเจอร์ ยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะเพื่อการส่งออก จึงทำให้ไม้อัดมีแนวโน้มการใช้งานสูงขึ้น อีกทั้งตัวไม้อัดเองก็มีแนวโน้มการส่งออกสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ปัจจุบันมีผู้ผลิตไม้อัดจากไม้ต่างๆ ประมาณ 48



ราย ทั่วประเทศ แต่ยังไม่มีการผลิตรายใดผลิตไม้อัดจากใยผลตาล โตนคในเชิงพาณิชย์ ดังนั้น โรงงานที่ผลิตไม้อัดอยู่แล้วจึงสามารถผลิตได้ทันทีโดยวัตถุดิบได้จากใยผลตาล โตนค ซึ่งมีมากมายในทางตอนใต้และภาคกลางของประเทศไทย ส่วนเครื่องจักรก็สามารถใช้ร่วมกันกับเครื่องจักรเดิมที่ใช้ในการผลิตไม้อัดทั่วไป ได้แก่ เครื่องสับ เครื่องผสม แม่พิมพ์ และเครื่องอัดรีด ซึ่งสามารถหาซื้อได้ในประเทศทั้งสิ้น ด้านการลงทุนสำหรับผู้ประกอบการที่ผลิตไม้อัดอยู่แล้วสามารถดำเนินการได้ทันที เพียงแต่เปลี่ยนวัสดุจากเดิมที่ใช้ไม้ยางพารา ไม้ยูคาลิปตัสเพียงอย่างเดียวมาเป็นการผสมใยผลตาล โตนค นอกจากนี้การนำเนื้อไม้ที่ได้จากการปอกหรือฝานบางๆ หลายแผ่นมาประกอบอัดยึดให้ติดกันด้วยกาว ซึ่งลักษณะสำคัญคือ ประกอบด้วย ไม้บางตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป โดยชั้นที่ติดกันมีแนวเส้นขวางตั้งฉากกันเพื่อเพิ่มสมบัติทางความแข็งแรง และลดการขยายตัวหรือหดตัวในแนวระนาบของแผ่นให้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของไม้อัดตามกาวที่ใช้ได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1) ประเภทภายนอก ใช้กาวที่ทนทานต่อลมฟ้าอากาศ น้ำเย็น น้ำเดือด ไอน้ำ และความชื้นได้ดี เหมาะสำหรับใช้ภายนอกอาคารหรือในที่ซึ่งถูกน้ำหรือละอองน้ำ
- 2) ประเภทภายใน ใช้กาวที่ทนน้ำเย็นได้ดีพอสมควร ทนทานในน้ำร้อนได้ในเวลาจำกัด ไม่ทนทานในน้ำเดือด เหมาะสำหรับใช้ภายในอาคารหรือในที่ซึ่งไม่ถูกน้ำหรือละอองน้ำ
- 3) ประเภทชั่วคราว ใช้กาวที่ทนน้ำเย็นได้ในเวลาจำกัด เหมาะสำหรับใช้งานชั่วคราว ในแต่ละประเภทของแผ่นไม้อัดจะมีการแบ่งชั้นคุณภาพตามลักษณะของไม้บางที่ทำเป็นไม้หน้าและไม้หลังที่นำมาประกบ โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ (เกรด) ซึ่งเลือกได้จากประเภทของงานที่ต้องการความประณีตของหน้าไม้

นอกจากนี้ในการผลิตไม้อัดนั้นยังจำเป็นต้องมีการเลือกกรรมวิธีในการผลิตให้มีความเหมาะสมกับเนื้อไม้และหน้าที่ในการใช้งานด้วย ในการผลิตไม้อัดจะสามารถจำแนกวิธีในการอัดดังนี้

- 1) แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ เป็นการผลิตไม้อัดโดยใช้วัสดุที่เป็นแผ่นไม้ที่ทำมาจากไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Ligno-cellulosic material) มาประกอบ และอัดให้ติดกันด้วยกาว โดยใช้ความร้อน
- 2) แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดทะลัก ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นทำจากชิ้นส่วนของเนื้อไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Ligno-cellulosic material) ที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักร กับกาวโดยใช้วิธีอัดให้ทะลักผ่านแบบออกมา ทำให้ยึดติดกันด้วยความร้อน ชิ้นไม้ส่วนใหญ่จะถูกอัดให้หดตัวไปตามแนวตั้งฉากกับทิศทางของการอัดทะลัก แผ่นขึ้นไม้ อาจเป็นแบบตันหรือแบบกลวงก็ได้ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 400 ถึง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg/m}^3$ )



3) แผ่นใยไม้อัด ผลิตภัณฑ์ไม้อัดที่ทำจากเส้นใยของไม้หรือเส้นใยของวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Ligno-cellulosic material) อื่นๆ เป็นองค์ประกอบ โดยการอัดร้อนหรือให้ความร้อนเพื่อให้เกิดความยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกัน มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 800 ถึง 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg/m}^3$ )

4) แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ทำจากชั้นไม้และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1,100 ถึง 1,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg/m}^3$ )

ในการอัดแบบแผ่นใยไม้จะทำการควบคุมปริมาณความชื้นโดยดูตามความเหมาะสมกับงานที่ต้องการ ได้แก่

1) กรรมวิธีเปียก (Wet process) เป็นกรรมวิธีการทำแผ่นใยไม้อัด โดยทำให้แผ่นเชื้อเปียก (Wet sheet หรือ Wet lap) ก่อนเข้าอัดร้อนจะมีความชื้นเกินร้อยละ 50

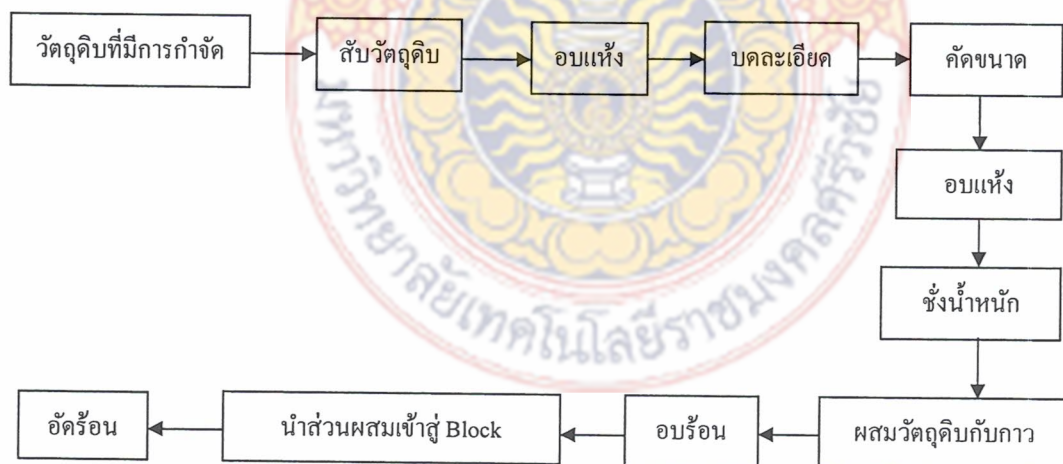
2) กรรมวิธีชื้น (Semi-dry หรือ Damp process) เป็นกรรมวิธีการทำแผ่นใยไม้อัด โดยทำให้แผ่นใยไม้ (Fiber mat) ก่อนอัดร้อนมีความชื้นระหว่างร้อยละ 15 ถึง ร้อยละ 50

3) กรรมวิธีแห้ง (Dry process) เป็นกรรมวิธีการทำแผ่นใยไม้อัด โดยทำให้แผ่นใยไม้ก่อนเข้าอัดร้อน มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 15

4) กรรมวิธีเปียก-แห้ง (Wet-dry process) เป็นกรรมวิธีการทำแผ่นใยไม้อัด โดยการนำแผ่นเชื้อเปียกไปเข้าเครื่องอบให้เหลือความชื้นร้อยละ 2 ถึง 6 โดยการผลิตแบบเปียก (Wet process) เป็นกรรมวิธีที่มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- การเตรียมชั้นไม้สับ (Chip) โดยสับให้มีขนาดเท่าๆ กัน ควบคุมความชื้นในชั้นไม้สับประมาณร้อยละ 50
- ล้างชั้นไม้สับ (Chip washer) ล้างชั้นไม้สับให้สะอาดก่อนนำเข้ากระบวนการผลิตขั้นต่อไป และเป็นการเพิ่มปริมาณความชื้นให้กับชั้นไม้สับ
- การนึ่งชั้นไม้สับ (Preheat) ชั้นไม้สับที่จะนำไปกดให้เป็นเยื่อนั้นจะต้องผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ ให้มีความอ่อนนุ่มเพื่อให้ง่ายต่อการกด และได้เยื่อที่มีขนาดความละเอียดสวยงาม
- การกดเยื่อ (Defibration) ชั้นไม้สับที่นึ่งด้วยไอน้ำจนอ่อนนุ่มแล้ว จะส่งเข้ากดหยาบและกดละเอียด (Refinator) เพื่อควบคุมให้ได้เยื่อที่มีความละเอียด (Freeness) พอเหมาะกับขนาดไม้แผ่นเรียบที่ต้องการอัด ส่วนมากจะควบคุมความละเอียดระหว่าง 16-25 D.S. เพื่อใช้อัดแผ่นใยไม้อัดแข็งความหนา 2.5-6.0 mm (โดยไม้ที่มีความหนามากจะต้องใช้เยื่อที่มีความละเอียดน้อย)

- ถังพักเยื่อ (Pulp chest) เยื่อที่บดละเอียดตามที่ต้องการแล้วจะเก็บไว้ในถังพักเยื่อเพื่อปรับและควบคุมความเข้มข้นของน้ำเยื่อให้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นตามกำหนด เพื่อให้ความเข้มข้นพอเหมาะที่จะใช้ทำแผ่น
- การทำแผ่นเยื่อเปียก (Wet lap forming) นำเยื่อที่ควบคุมความเข้มข้นพอเหมาะแล้วจะถูกสูบเข้าเครื่องทำแผ่นเปียก (Wet lap forming M/C) อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง เพื่อปรับความหนาของแผ่นเปียกให้สอดคล้องกับความหนาของแผ่นใยไม้อัดแข็งที่ต้องการผลิต แผ่นเปียกที่ได้จะเคลื่อนผ่านเครื่องดูดน้ำสูญญากาศ (Vacuum pump) และถูกกลิ้งสำหรับรีดน้ำออกจากแผ่นเปียก เพื่อควบคุมให้แผ่นเปียกมีปริมาณเยื่อแห้งประมาณร้อยละ 30-35 (Dry content) โดยแผ่นเปียกจะถูกตัดเป็นขนาด 4 x 16 โดยประมาณด้วยน้ำจากปั๊มแรงดันสูง
- การอัดร้อน (Hot pressing) แผ่นเยื่อเปียกที่ตัดแผ่นได้ขนาดแล้ว จะเคลื่อนไปลงบนตะแกรงลวดขนาด 16-18 Mesh ที่วางบนแผ่นเหล็กรองรับอีกชั้นหนึ่งเพื่อเคลื่อนสู่เครื่องอัดร้อน โดยการอัดร้อนมี 3 ขั้นตอน คือ 1) ปั๊มน้ำออก 2) คลายไอน้ำ 3) อัดร้อน ที่อุณหภูมิ 185-200 °C ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นกับขนาดความหนาของแผ่นใยไม้อัดแข็งที่ต้องการ เช่น 2.5, 3.0, 3.2, 4.0, 5.0, 6.0 mm
- การอบร้อน (Heat treatment) นำไม้อัดแข็งที่ได้เข้าห้องอบร้อนที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 165 °C นานประมาณ 4 ชั่วโมง เพื่อบ่มให้แผ่นใยไม้อัดแข็งมีความแข็งแรงและคงสภาพมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.3 กรรมวิธีการผลิตไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร [13]



- การอบชื้น (Humidification) แผ่นใยไม้อัดแข็งที่ผ่านการอบร้อนแล้ว ต้องนำเข้าอบความชื้นในห้องอบชื้น ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 เพื่อปรับสภาพให้แผ่นใยไม้อัดแข็งมีความชื้นในเนื้อไม้ใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นสมดุลของไม้มากที่สุด คือ ให้มีความชื้นระหว่าง 5-13% จะต้องใช้เวลาอบประมาณ 8 ชั่วโมง
- การตัดขนาด (Sizing) ตามที่ต้องการ โดยขนาดมาตรฐานคือ 122 cm x 224 cm
- การตรวจสอบคุณภาพ (Quality testing) ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ทั้งในด้านความหนา ความถ่วงจำเพาะ ปริมาณความชื้น การต้านแรงหัก การดูดซับน้ำ การพองตัว
- การบรรจุหีบห่อ (Packaging)

#### 2.4 ตาลโตนด (*Borassus flabellifer*) [14]

“ตาลโตนด” เป็นพืชตระกูลปาล์มชนิดหนึ่งอยู่ในสกุล *Borassus* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* ลักษณะพันธุ์พวกปาล์มใบพัด เป็นปาล์มที่ให้น้ำตาล เป็นพืชยืนต้นที่มีอายุยาวประมาณ 100-200 ปี เมื่ออายุได้ 12-15 ปี จะเริ่มออกดอกและมีผล ลักษณะเป็นผลรวม ซึ่งเฉพาะต้นตาลเพศเมียเท่านั้นที่จะให้ผลตาล (ต้นตาลเพศผู้จะให้น้ำตาลโตนด) แต่กว่าจะทราบเพศของต้นตาลก็ต้องใช้เวลา 15 ปี และผลตาลสุกจะให้เส้นใยผลตาลโตนดคิดเป็นน้ำหนักร้อยละ 23-37 ของผล เส้นใยผลตาลโตนดเป็นหนึ่งในวัสดุเหลือทิ้งที่มีมากในท้องถิ่น โดยเฉพาะจังหวัดสุโขทัยและเพชรบุรี จากกระบวนการขี้เถ้าเนื้อตาลสุกไปทำขนมตาล ซึ่งเส้นใยที่เหลือจากการขี้เถ้าเนื้อตาลออกไปแล้วก็เป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก

เส้นใยผลตาลโตนด เส้นใยผลตาลโตนดมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ลิกนิน 12.20% เซลลูโลส 62.90% เฮมิเซลลูโลส 18.42% และเปกติน 1.55% ซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสสูง เส้นใยผลตาลโตนดเป็นเส้นใยที่มีผนังเซลล์พืช (เซลลูโลสและลิกนิน) ในปริมาณที่สูง ซึ่งมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย ทำให้เป็นตัวดูดซับน้ำและความชื้นได้ดี รวมทั้งมีผลทำให้เส้นใยมีความแข็งแรง สามารถทนต่อการย่อยด้วยกรดและด่างได้สูง เนื่องจากอิทธิพลของผนังเซลล์พืช จากกล้องจุลทรรศน์ทำให้ทราบลักษณะภายในตามภาคตัดขวางของเส้นใยผลตาลโตนดว่ามีลักษณะเป็นรูปรีเกือบกลม มีลูเมนเห็นได้ชัดเจน ผนังเซลล์ค่อนข้างบาง

การปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยผลตาลโตนดให้เหมาะกับการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยการหมักเส้นใยผลตาลโตนดแบบชีวเคมี (Biochemical) แบบการหมักในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) เป็นการหมักภายใต้สภาพน้ำขังนาน 14 วัน โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ EM (Effective



microorganism) และให้สารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจน และกาบน้ำตาล เพื่อให้จุลินทรีย์ช่วยย่อยกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (ประกอบด้วยลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส) ในเส้นใยพบว่าลักษณะของเส้นใยมีความละเอียด ความแข็งแรง และการยึดตัวขณะขาดเพิ่มขึ้น มีความนุ่มดี ขึ้นมาก ลักษณะของสีเส้นใยยังคงเอกลักษณ์สีเหลือง

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกลและทางกายภาพของเส้นใยผลตาลโตนด [14]

การทดสอบ	เส้นใยผลตาลโตนด	
	ก่อนการหมัก	หลังการหมักทางชีวเคมี
ขนาดเส้นด้าย (ดีเนียร์)	22.45	15.31
ความแข็งแรง (กรัมแรง/ดีเนียร์)	2.66	4.36
การยึดตัวขณะขาด (ร้อยละ)	45.75	55.36

ในการพัฒนาเส้นใยผลตาลโตนดได้ดำเนินการผลิตเส้นด้ายใยผลตาลโตนดผสม โดยกระบวนการปั่นด้ายแบบปลายเปิด (Open-end spinning) ที่บริษัท ก้องเกียรติเท็กซ์ไทล์ จำกัด ได้ทดลองผสมเส้นใยผลตาลโตนดกับเส้นใยต่างๆ ดังนี้

1) เส้นด้ายใยผลตาลโตนดผสม 1; เส้นใยผลตาลโตนด 15% : พอลิเอสเตอร์ 45.5% : เรยอน 42.5%

2) เส้นด้ายใยผลตาลโตนดผสม 2; เส้นใยผลตาลโตนด 15% : เรยอน 85%

3) เส้นด้ายใยผลตาลโตนดผสม 3; เส้นใยผลตาลโตนด 15% : ฝ้าย 85%

จากเส้นด้ายใยผลตาลโตนดผสมทั้ง 3 ชนิด พบว่า เส้นด้ายใยผลตาลโตนดผสมเรยอน เมื่อนำมาผลิตเป็นผืนผ้าจะได้ผ้าที่มีผิวสัมผัสที่นุ่มและมีความสวยงาม เงา และมีการทิ้งตัวที่ดี การระบายความร้อนดี มีความมันวาว ตัวเนื้อผ้ามีกลิ่นหอม และมีลักษณะคล้ายผ้าลินิน เหมาะกับการนำมาผลิตเป็นผืนผ้า เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ ได้แก่ ผ้าปูโต๊ะ ชุดผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร ชุดสูท เป็นต้น

## 2.5 ไม้ยางพารา [15]

ยางพารา หรือ Para rubber มาจากคำภาษาอังกฤษ 2 คำ คำว่า Para เป็นชื่อเมืองท่าศูนย์กลางค้ายางในทวีปอเมริกาใต้ อูริรัมฝั่งแม่น้ำอเมซอน ประเทศบราซิล ในสมัยก่อนที่ศูนย์กลางการค้ายางจะย้ายมาอยู่ที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และคำว่า Rubber แปลว่า ตัวดู ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษผู้ค้นพบก๊าซออกซิเจน ชื่อ Joseph Priestley ได้ค้นพบสมบัติของยางที่สามารถนำมาลบรอยดินสอ

ได้ โดยค้นพบคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อปี พ.ศ. 2313 ยางพาราเป็นพืชพื้นเมืองดั้งเดิมของภูมิภาคในทวีปอเมริกาใต้และอเมริกากลาง ชาวพื้นเมืองเรียกพืชชนิดนี้ว่า คาอูทชุก (Caoutchouc) แปลว่า “ต้นไม้ร้องไห้” เนื่องจากเป็นพืชที่ถ้าใช้มีดกรีดที่ลำต้นแล้วจะมีน้ำสีขาวออกมาจากต้นไม้ ชาวยุโรปรู้จักยางพาราเมื่อกว่า 500 ปีที่ผ่านมา โดย Christopher Columbus นักเดินเรือชาวอิตาลีผู้ค้นพบทวีปอเมริกาใต้การสนับสนุนของราชอาณาจักรสเปน เมื่อเขาได้เดินทางไปยังทวีปอเมริกาครั้งที่ 2 ในปี พ.ศ. 2036 เขาได้เห็นชาวพื้นเมือง Maya ใช้น้ำยางจากต้นไม้ชนิดหนึ่งมาทำรองเท้า ทำผ้ากันฝน ทำเป็นลูกบอลที่สามารถกระด้างขึ้นลงเพื่อสักการเทพเจ้าของมาयाได้ เมื่อเขาเดินทางกลับยุโรป เขาได้นำผลิตภัณฑ์ที่ทำจากต้นไม้ดังกล่าวกลับไปเผยแพร่ในยุโรป ทำให้ชาวยุโรปเริ่มรู้จักกับต้นไม้ร้องไห้ นักวิทยาศาสตร์ในยุโรปสมัยนั้นเห็นว่าน้ำยางที่ได้จากต้นไม้ร้องไห้มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์กับวิถีชีวิตของมนุษย์ได้ เช่น มีความยืดหยุ่น กันน้ำ เป็นฉนวนกันกระแสไฟฟ้า สามารถพองลม ทำให้นักวิทยาศาสตร์ทำการวิจัยค้นคว้าเพื่อต้องการนำน้ำยางดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ โดยใช้กระบวนการทดลองทางเคมีและฟิสิกส์

จนในปี พ.ศ. 2382 หรือหลังจากชาวยุโรปรู้จักยางมากกว่า 300 ปี Charles Goodyear นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันสามารถปรับปรุงคุณภาพยางให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรมยาง ในยุคเริ่มต้นของอุตสาหกรรมยางทำให้โลกต้องการน้ำยางเพิ่มมากขึ้น กลุ่มประเทศที่ปลูกยางจึงได้ทำการค้นคว้าพันธุ์ยางพื้นเมืองที่สามารถให้น้ำยางมากขึ้น จนได้พบกับยางสายพันธุ์ที่เจริญเติบโตดีให้ปริมาณน้ำยางมาก โดยกำหนดชื่อทางพันธุศาสตร์ของยางพาราพันธุ์ใหม่นี้ว่า *Hevea Brasiliensis* ทำใหยางสายพันธุ์นี้ได้รับความนิยมปลูกอย่างแพร่หลายแม้ว่ากลุ่มในประเทศอเมริกาใต้และอเมริกากลางมีการปลูกยางเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ยังไม่พอกับความต้องการของอุตสาหกรรมยางในยุโรปและอเมริกา ทำให้ประเทศในทวีปยุโรปที่มีแผ่นดินอาณานิคมในทวีปเอเชียที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสามารถปลูกยางพาราได้ ก็มีแนวคิดที่จะนำพันธุ์ยางจากลุ่มน้ำอเมซอนไปทดลองปลูกในอาณานิคมของตนเอง โดยประเทศอังกฤษได้นำไปทดลองปลูกครั้งแรกในประเทศอินเดียเมื่อปี พ.ศ. 2398 ปรากฏว่าไม่ประสบผลสำเร็จในปี พ.ศ. 2425 จึงได้นำไปทดลองปลูกในประเทศมาเลเซีย และประเทศออสเตรเลียไปทดลองปลูกในประเทศอินโดนีเซียปรากฏว่าต้นยางพาราที่ปลูกใน 2 ประเทศดังกล่าว มีการเจริญเติบโตให้ผลผลิตเป็นที่พอใจ ทำใหยางพาราได้รับความนิยม ทำการปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศมาเลเซียซึ่งเป็นเมืองอาณานิคมของอังกฤษ และประเทศอินโดนีเซียอาณานิคมของประเทศออสเตรเลีย สำหรับในประเทศไทย ผู้สนใจนำต้นยางพารามาปลูกในประเทศไทยคนแรกคือ พระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี หรือ คอซิมบี้ ณ ระนอง เจ้าเมืองตรัง ในขณะที่ท่านเดินทางไปดูงานที่ รัฐเปรู ประเทศมาเลเซีย ท่านเห็นว่าน้ำยางพาราเป็นที่ต้องการของตลาดโลกมาก ถ้าราษฎรนำไปปลูกก็จะทำให้



ราษฎรมีรายได้จากยางพารามาก ท่านจึงต้องการนำพันธุ์ยางมาปลูกในประเทศไทย แต่เจ้าของสวน ซึ่งเป็นชาวอังกฤษไม่ยินยอมให้ท่านนำพันธุ์ยางออกไปนอกพื้นที่ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2444 ท่านจึงให้พระสถลสถานพิทักษ์ซึ่งเป็นหลานของท่าน เดินทางไปประเทศอินโดนีเซีย และสามารถนำกล้ายางออกมาจากประเทศอินโดนีเซียกลับมาทดลองปลูกในประเทศไทยได้สำเร็จ โดยทำการปลูกที่หน้าบ้านพักพระสถลฯ อำเภอกันตัง จังหวัดตรังเป็นที่แรก หลังจากนั้นท่านพระยารัชฎานุประดิษฐ์ฯ ก็ได้ส่งเสริมให้ราษฎรปลูกยางพาราเพิ่มมากขึ้นเกือบทุกจังหวัดในภาคใต้ และได้ขยายพื้นที่ปลูกไปยังภาคตะวันออกเฉียงใต้ที่จังหวัดจันทบุรี ในปี พ.ศ. 2451 และในปี 2476

หลวงสุวรรณวาจกกสิกิจ ได้จัดตั้งสถานีทดลองยางพาราขึ้นที่ตำบลคลองหอยโข่ง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และได้เปลี่ยนชื่อจากสถานีทดลองยางพาราเป็นศูนย์วิจัยยางพาราในปี พ.ศ. 2508 ทำหน้าที่ศึกษาทดลองพัฒนายางพาราที่เหมาะสมสำหรับการปลูกในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย และในปี พ.ศ. 2521 ก็ได้ทดลองนำกล้ายางไปปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และต่อมาได้ขยายไปยังภาคเหนือ ทำให้ยางพาราสามารถปลูกได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ปัจจุบันนับได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศผลิดยางพาราเป็นสินค้าส่งออกได้มากที่สุดในโลก มีผลผลิตยางพาราออกสู่ตลาดโลกได้เกือบ 4 ล้านตัน/ปี ซึ่งผลิตได้จากสวนยางพาราทั่วทุกภูมิภาคมากกว่า 15 ล้านไร่ โดยพบว่า 75% ของผลผลิตทั้งหมดมาจากสวนยางพาราในภาคใต้

## 2.6 แป้งมันสำปะหลัง [16]

แป้ง (Starch) เป็นโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) หลายๆ หน่วยมาต่อกัน สูตรทั่วไปคือ  $(CH_2O)_n$  โดยปกติแป้งจะมีอยู่ในเมล็ด ราก และลำต้นของพืช ลักษณะของแป้งจะเป็นเม็ดเล็ก มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แป้งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1) อัลฟา-อะไมเลส (Alpha-amylase) ประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคส D(+) ประมาณ 500-2,000 มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ Alpha,1-4 Glycosidic linkage น้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปตั้งแต่ 2,000-500,000 โดยทั่วไปอะไมเลสจะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นไมเซลล์ และเมื่อรวมกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินมีอยู่ประมาณ 20-25% ของแป้งทั้งหมด

2) อะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นแป้งที่มีโครงสร้างแตกแขนง โดยแต่ละแขนงจะประกอบไปด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 12 หน่วย แกนของอะไมโลเพคตินจะยึดกันด้วยพันธะ Alpha,1-4-Glycosidic linkage แต่ละจุดที่มีการแตกแขนงจะยึดกันด้วยพันธะ Alpha,1-6 Glycosidic linkage โดยทั่วไปอะไมโลเพคตินจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย  $\geq 1,000,000$  เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีม่วงแดง มีอยู่ประมาณ 75-80% ของแป้งทั้งหมด



คุณสมบัติของแป้ง โดยปกติเมื่อแป้งผสมอยู่ในน้ำ แป้งจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ แต่จะไม่ละลายน้ำเนื่องจากอนุภาคของแป้งจะมีขนาดใหญ่เกินที่จะละลายน้ำได้ แป้งจะมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงประมาณ 1.45-1.64 g/cm<sup>3</sup> (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้นแป้งจึงพร้อมที่จะตกตะกอนหลังจากแขวนลอยอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้นประมาณ 60-70 °C (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) น้ำจะเข้าไปใน Amorphous region และพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจน ใน Crystalline region ทำให้สามารถเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดบวมอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นจะลดลงความหนืดจะสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นผิวของเม็ดแป้งจะเปิดมากขึ้น จนเม็ดแป้งเกิดการแตกต่างฉับพลัน ทำให้อะโลโลส ออกจากเม็ดแป้งเกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดเจล (Gelatinization)

แป้งมันสำปะหลัง คือ แป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลังประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2-8 เม็ด มารวมตัวกัน แต่ละเม็ดจะมีความยาวตั้งแต่ 5-35 ไมครอน เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออกและผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านแบน ไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยมุมอย่างชัดเจน และในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้งด้วย

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แต่เดิมหัวมันสำปะหลังถูกใช้เพื่อการบริโภคโดยตรง เช่นนำไปต้มหรือทอด ต่อมาเมื่ออุตสาหกรรมเจริญก้าวหน้าขึ้น จึงได้มีการนำหัวมันสำปะหลังมาแปรรูปโดยสร้างโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังขึ้น วัตถุประสงค์สำคัญคือ หัวมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว 8-13 เดือน ซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำ 59-70% แป้ง 20-40% และโปรตีน 0.9-2.3% หัวมันสำปะหลังสดเมื่อขูดจากดินแล้ว จะเก็บไว้ไม่ได้นานเหมือนพืชชนิดอื่นๆ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในหัวมัน ดังนั้นหัวมันจากลานมันต้องทำการแปรรูปโดยเร็วที่สุด เพราะถ้าทิ้งไว้นานเกินกว่า 72 ชั่วโมง จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของแป้งลดต่ำลงหรือเกิดการเน่าเสียได้ ระยะแรกการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน ใช้แรงงานคนเป็นส่วนใหญ่กำลังการผลิตต่ำ (ไม่เกิน 10 ตันต่อวัน) แป้งที่ได้สีไม่ค่อยขาว ค่า pH และความหนืดต่ำ มีพวกเส้นใยและเถ้าค่อนข้างสูง กรรมวิธีการผลิตเป็นแบบง่าย ๆ โดยนำหัวมันสำปะหลังที่ใช้แรงคนสร้างเข้าสู่เครื่องบดกรองผ่านตะแกรง ปล่อยให้ให้น้ำแป้งตกตะกอนแยกแป้งขึ้นมาตากแป้งบนพื้นคอนกรีตร้อน (ความร้อนได้จากแสงแดดหรือเตาฟืน) แล้วจึงบดแป้งให้เป็นผง เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องคุณภาพและกำลังการผลิต กรรมวิธีการผลิตแบบนี้จึงลดจำนวนลงหันมาใช้กรรมวิธีการผลิตแบบใหม่ที่อาศัยเครื่องจักรแทน ในประเทศไทยกำลังการผลิตของโรงงานที่ใช้กรรมวิธีการผลิตแบบใหม่คิดเป็นร้อยละ 90 ของกำลังการผลิตทั่วประเทศ

กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบใหม่ มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

- 1) นำมันสดที่ซื้อเข้าเครื่องชั่งน้ำหนัก วัดเปอร์เซ็นต์ของแป้งที่มีในหัวมัน
- 2) การทำความสะอาดและจัดเตรียมหัวมัน เริ่มตั้งแต่นำหัวมันสดเข้าสู่เครื่องร่อนเพื่อแยกเอาดินออก จากนั้นลำเลียงเข้าสู่เครื่องล้างเพื่อทำความสะอาดหัวมันอีกครั้ง แล้วจึงนำเข้าสู่เครื่องสับและชูดเปลือกเพื่อให้หัวมันมีขนาดเล็กลงและแยกเอาเปลือกออก แล้วเข้าสู่เครื่องบด
- 3) เมื่อบดเสร็จแล้ว จะส่งเข้าเครื่องสกัด (Extractor) แยกเอากากและน้ำแป้งออกจากกัน กากมันนี้จะถูกนำไปตากแดดเพื่อให้เป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์หรือนำไปผสมกับมันเส้นเพื่อทำมันอัดเม็ด
- 4) การทำน้ำแป้งให้บริสุทธิ์ ด้วยเครื่องแยกเหวียง (Separator) แยกเอากรอยางและเมือกออกจากน้ำแป้ง โดยการเอาน้ำสะอาดไปแทนที่น้ำที่มีสิ่งเจือปนในน้ำแป้ง
- 5) น้ำแป้งที่ได้จะผ่านเครื่องสกัดเหวียงแยกน้ำออก ก่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพาสเซียม (Pneumatic dryer)

จากขั้นตอนการผลิตข้างต้นจะเห็นว่าขั้นตอนหลัก คือ

- ทำความสะอาดและบดมัน โดยใช้เครื่องจักร
- สกัด (Extraction) และแยกแป้ง (Separation)
- การทำแห้ง

สำหรับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบอื่นๆ ขั้นตอนหลักไม่ต่างไปจากนี้ แต่รายละเอียดและอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนจะแตกต่างกันไปตามแต่ละระบบที่ออกแบบกระบวนการผลิตของโรงงานมันสำปะหลังในประเทศไทยที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 60 ตันแป้งต่อวัน บางโรงงานมีการใช้ Decanter แยกไขมันและโปรตีนก่อนนำแป้งเข้าหน่วยสกัดและแยกแป้งตามลำดับ หรือในบางโรงงานจะเพิ่มเครื่องสกัดในหน่วยแยกแป้งอีกชุดหนึ่ง

## 2.7 กาวสำหรับทำไม้อัด [17]

ไม้อัดหรือไม้ประสาน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ไม้ที่ผลิตจากการนำแผ่นไม้บางมาต่อกันด้วยกาว โดยให้เสี้ยนไม้ของแผ่นไม้ที่ประชิดติดกันอยู่ในทิศทางที่ขนานกัน นอกจากนี้ไม้ยังเป็นปัจจัยหลักในการทำไม้ประสานแล้ว ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่จะสัมพันธ์ได้คือ กาว กาวเป็นวัสดุเพื่อใช้เป็นตัวเชื่อมประสานไม้ให้ติดกัน กาวที่ใช้ในการทำไม้ประสานมีหลายประเภทด้วยกัน แต่ละชนิดต่างมีความแตกต่างกันทั้งในด้านคุณภาพและราคา ตลอดจนกรรมวิธีการใช้ก็ไม่เหมือนกัน ส่วนกาวที่เราใช้กันในท้องตลาดเมืองไทยโดยสมบัติของกาวแต่ละตัวมีดังนี้



1) กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกาวที่สามารถต้านทานความชื้นได้ดี โดยสามารถอยู่ในสภาพที่ตากแดดตากฝนได้เป็นเวลา 2-3 ปี มีความต้านทานต่อการนำไปแช่ในน้ำเย็นเป็นระยะเวลานาน ทนต่อการนำไปต้มในน้ำอุ่นในระยะเวลาจำกัด และมีความต้านทานต่อการทำลายโดยแมลงและเห็ดรา เก็บได้นานประมาณ 8-12 เดือน ที่ 20 °C ในสภาพที่เป็นผง กาวชนิดนี้จัดอยู่ใน MR TYPE (Moisture resistance)

2) กาวเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกาวที่มีความต้านทานต่อการต้มในสภาพน้ำเดือด ทนต่อการแช่ในสภาพน้ำเย็นได้เป็นเวลานาน และมีสมบัติต้านทานต่อการทำลายโดยพวกจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี กาวชนิดนี้จัดอยู่ใน TYPE BR (Boil resistance)

3) กาวฟีนอลและกาวริซอลซินอลฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกาวที่มีความทนทานตามธรรมชาติอย่างดีเลิศ สามารถทนต่อการแช่ในน้ำเย็น และต้มในสภาพน้ำเดือดได้ระยะเวลานาน ทนต่อการทิ้งไว้ในสภาพธรรมชาติได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน มีความต้านทานต่อความร้อน และการทำลายโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี กาวชนิดนี้เป็นกาวที่มีคุณภาพดีมาก แต่ไม่ค่อยมีใครนิยมใช้กัน เนื่องจากราคาที่แพงมาก ประกอบกับอายุของกาวมีระยะเวลาที่สั้น จัดอยู่ใน WBP TYPE (Weather and boil proof)

4) กาวอีพอกซีเรซิน เป็นกาวที่มีราคาแพงมาก ประกอบกับยากลำบากในการดำเนินงานจึงไม่ค่อยนิยมใช้กัน คุณสมบัติเด่นของกาวชนิดนี้คือ สามารถนำไปใช้ติดคอนกรีตและพวกโลหะกับไม้

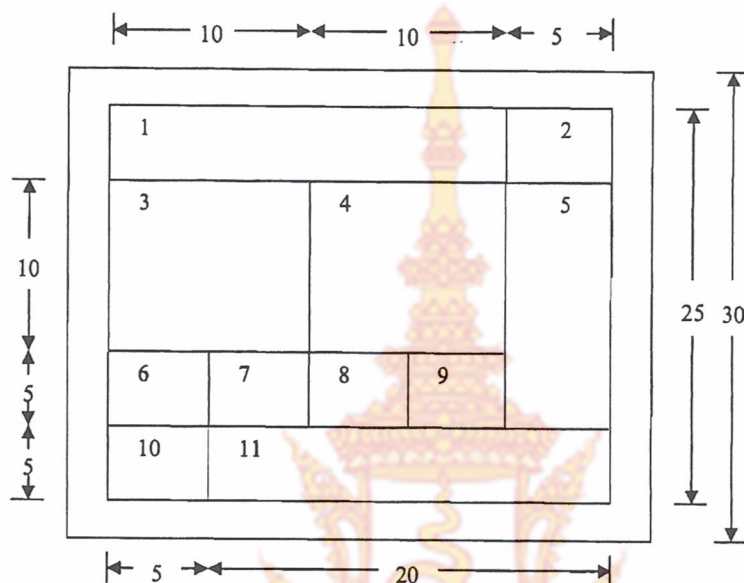
5) กาว PVAC หรือกาวโพลีไวนิลเอซิเตท หรือที่รู้จักกันชื่อกาวลาเท็กซ์ เป็นกาวชนิดที่ละลายในน้ำ มีอายุของการที่ผสมแล้วนานมาก สะดวกในการดำเนินงาน และสามารถแข็งตัวในระยะเวลาอันสั้น กาวชนิดนี้มีคุณภาพด้านความแข็งแรงและความทนทานที่ต่ำ ความแข็งแรงของกาวจะลดลงเมื่อรอยต่อด้วยกาวได้รับน้ำหนักอยู่ตลอดเวลา กาวจะอ่อนตัวลงเมื่อนำไปใช้ในที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 57.5 °C และอาจมีผลเสียบางประการกับแล็กเกอร์ที่ใช้ จึงเหมาะกับชิ้นงานที่ใช้ประโยชน์ภายในและไม้ต้องรับน้ำหนัก

การใช้กาวแต่ละตัวอยู่ที่จุดประสงค์ของผู้ใช้ว่าจะเอาชิ้นไม้ที่อัดกาวแล้วไปใช้ทำอะไร เช่น ถ้าต้องการชิ้นงานภายในที่สามารถต้านทานน้ำเย็นหรือน้ำร้อนได้เป็นครั้งคราว อาจใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ หรือต้องการเอาชิ้นงานใช้ประโยชน์ภายนอก อาจจำเป็นต้องใช้กาวที่มีคุณภาพสูงขึ้นอีกคือ กาวฟีนอลหรือกาวริซอลซินอลฟอร์มาลดีไฮด์ แต่ถ้าเป็นชิ้นงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากและไม่พิถีพิถันในการทำไม้ประสาน เช่น ไม้ต้องการแรงอัดมาก ก็อาจใช้กาว PVAC ได้เพราะกาว PVAC มีคุณภาพในการอุดช่องว่างได้



## 2.8 มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard; JIS A 5905) [18]

มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่นระบุแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากเศษวัสดุต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเป็นหลักโดยวิธีการอัดร้อนด้วยกาวเป็นตัวประสาน (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Fiberboard; FB แผ่นใยไม้อัด) มีวิธีการทดสอบดังนี้



รูปที่ 2.4 การตัดชิ้นแผ่นทดสอบสมบัติต่างๆ [18]

1) การทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นใยไม้อัดตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard (JIS A 5905)

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานการทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นใยไม้อัด [18]

ชนิด	ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )	ปริมาณความชื้น (%)	ค่าความแข็งแรงดัด ( $\text{N/mm}^2$ )	ค่าแรงดึงตั้งฉากกับ ผิวหน้า ( $\text{N/mm}^2$ )
Type 30	0.35 หรือ	5 หรือมากกว่าแต่	$\geq 30.0$	$\geq 0.5$
Type 25	มากกว่าแต่ไม่	ไม่เกิน 13	$\geq 25.0$	$\geq 0.4$
Type 15	เกิน 0.8		$\geq 15.0$	$\geq 0.3$
Type 5			$\geq 5.0$	$\geq 0.2$

### การทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond Strength; IBS)

- วัดขนาดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบให้ละเอียดถึง 0.01 mm แล้วนำมาคำนวณเป็นพื้นที่การรับแรงดึง (พื้นที่ = กว้าง × ยาว)
- ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ
- นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันซึ่งปกติจะแยกออกจากกันในชั้นไส้ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงดึงอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 sec และไม่เกิน 120 sec บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน (ประมาณ 2 mm/min)
- นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าตามสูตร ดังนี้

$$\text{Internal bond strength (N/mm}^2\text{)} = P/bL \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ แรงดึงสูงสุดในเวลาที่กำหนด (N)

B คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)

L คือ ความยาวของชิ้นทดสอบ (mm)

### การทดสอบความแข็งแรงดัด (Flexural strength)

- วัดความหนาและความกว้างของชิ้นทดสอบให้ละเอียดถึง 0.01 mm
- วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับ โดยมีระยะห่างระหว่างแท่นรองรับเป็น 250 mm และให้ชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 mm เท่าๆ กัน
- ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 sec และไม่เกิน 120 sec บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหัก (ประมาณ 10 mm/min)
- นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาความต้านแรงดัดตามสูตร ดังนี้

$$\text{Flexural strength (N/mm}^2\text{)} = 3PL/2bt^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ P คือ แรงกดสูงสุด (N)

L คือ ระยะห่างระหว่างแท่นรองรับ (mm)

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)

t คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

2) การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard (JIS A 5905)

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด [18]

ชนิด	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	ปริมาณความชื้น (%)	ค่าการพองตัวเมื่อ แช่น้ำ (%)	ชนิด	ค่าการดูดซับน้ำ (%)
Type 30	0.35 หรือ มากกว่าแต่ไม่ เกิน 0.8	5 หรือมากกว่าแต่ ไม่เกิน 13	≤17% สำหรับ ความหนาของ แผ่นที่ ≤7 mm.	S35 type	≤25
Type 25				S25 type	≤25
Type 15				S20 type	≤30
Type 5					

#### การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Thickness swelling)

- วัดความหนาของชิ้นทดสอบให้ละเอียดถึง 0.01 mm บันทึกเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ
- แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ที่ระดับผิวน้ำประมาณ 20 mm แต่ละชิ้นต้องห่างจากกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่น้ำไม่น้อยกว่า 10 mm
- เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 2 ชั่วโมง ระบายน้ำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซับน้ำ เช่น พลาสติก กระจก
- นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม บันทึกเป็นความหนาหลังแช่น้ำ หลังจากนั้นแช่น้ำต่ออีก 22 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดความหนาอีกครั้ง



- นำค่าทั้งหมดที่ได้มาคำนวณหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำที่ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง จากสูตร ดังนี้

$$\text{Thickness swelling (\%)} = ((t_2 - t_1) \times 100) / t_1 \quad (2.3)$$

เมื่อ  $t_1$  คือ ความหนาหน้าก่อนแช่น้ำ (mm)

$t_2$  คือ ความหนาหลังแช่น้ำ (mm)

การทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption)

- ชั่งชิ้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 g บันทึกเป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ
- แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 mm และแต่ละชิ้นต้องไม่ติดกัน
- เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 2 ชั่วโมงแล้ว รีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมด แล้วชั่งน้ำหนักทันที บันทึกเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง
- จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำอีก 22 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาชั่งตามวิธีเดิม น้ำหนักที่ชั่งได้ในครั้งนี้เป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง
- นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าการดูดซับน้ำที่ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามสูตรดังนี้

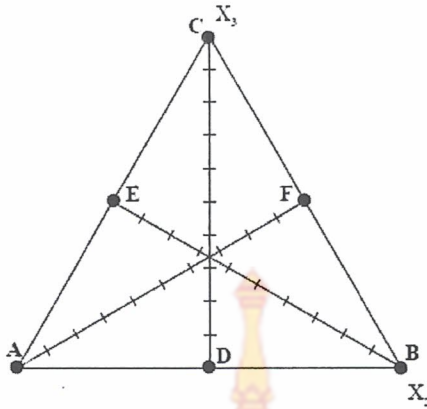
$$\text{Water absorption (\%)} = ((m_2 - m_1) \times 100) / m_1 \quad (2.4)$$

เมื่อ  $m_1$  คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (g)

$m_2$  คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (g)

## 2.9 การออกแบบสิ่งทดลองแบบ Mixture [19]

การออกแบบสิ่งทดลองแบบ Mixture ใช้กับปัจจัยที่เป็นเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยเป็นต้นไป โดยที่ปัจจัยนั้นๆ จะมีความเกี่ยวเนื่องกัน ซึ่งปริมาณของแต่ละปัจจัยเมื่อรวมกันจะเป็น 100% กล่าวคือ เมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่นๆ มีสัดส่วนลดลง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองที่ไม่ใช่ Mixture ที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระจากกัน ในกรณีมี 3 ปัจจัย ความสัมพันธ์ของปริมาณที่ใช้ในแต่ละปัจจัยแสดงไว้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะสิ่งทดลองที่เป็นแบบ Mixture [19]

แบบจำลองสำหรับ Mixture เนื่องจากตัวแปรทุกตัวรวมกันได้ 100% ดังนั้นแบบจำลองรีเกรสชันของ Mixture จึงไม่มีค่าคงที่ หรือเทอม  $\beta_0$  และ  $\beta_{ij} x_{12}$  โดยแบบจำลองที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีดังนี้

1) แบบจำลองเส้นตรง (Linear)

$$\hat{Y} = \sum \beta_i x_i \quad (2.5)$$

$$\hat{Y} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad (2.6)$$

2) แบบจำลองกำลังสอง (Quadratic)

$$\hat{Y} = \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j \quad (2.7)$$

$$\hat{Y} = \text{Linear} + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 \quad (2.8)$$

3) แบบจำลองกำลังสามแบบพิเศษ (Special cubic)

$$\hat{Y} = \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (2.9)$$

$$\hat{Y} = \text{Quadratic} + \beta_{12}x_1x_2x_3 \quad (2.10)$$

4) แบบจำลองกำลังสามแบบเต็ม (Full cubic)

$$\hat{Y} = \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum \beta_{ijx_i} x_i (x_i - x_j) + \sum \beta_{ijx_j} x_j (x_i - x_j) + \sum \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \hat{Y} = \text{Full cubic} + \sum \beta_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \sum \beta_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) \\ + \sum \beta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Mixture design มีแบบแผนการทดลองย่อยได้เป็น 3 แบบดังนี้

1) การออกแบบ แบบ Scheffe simplex-lattice

พิกัด (Coordinate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง โดยแต่ละตัวแปรสามารถคำนวณระดับดังนี้

$$x_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, 1 \quad \text{โดยที่ } i = 1, 2, 3, \dots, q$$

$m$  = เป็นสัดส่วนของแต่ละปัจจัยจาก 0-1 (0-100%)

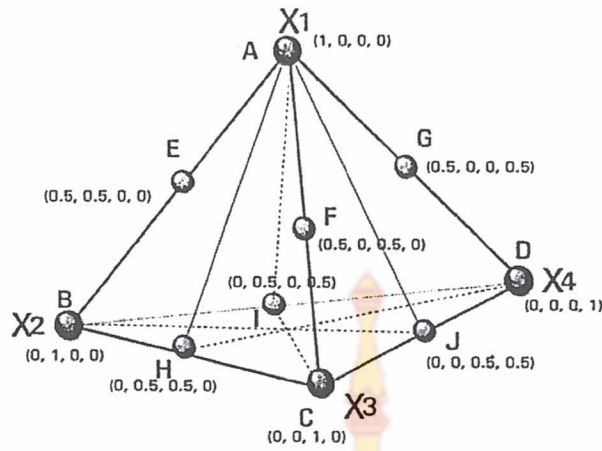
สำหรับกรณีที่มี  $q = 3$  หรือมี 3 ปัจจัย เป็นตัวอย่างที่นิยมใช้แสดงให้เห็นถึงการออกแบบดังกล่าว หาก  $m = 3$  พิกัดที่ได้ที่เป็นส่วนประกอบของ  $x_1, x_2$  และ  $x_3$  จะเป็น 0, 1/3 และ 2/3 ตามลำดับ จำนวนของจุดในการทดลองทั้งหมดคำนวณจาก

$$M = (m+q-1)!/m!(q-1)! = q(q+1) \dots (q+m-1)/(1)(2) \dots (m)$$

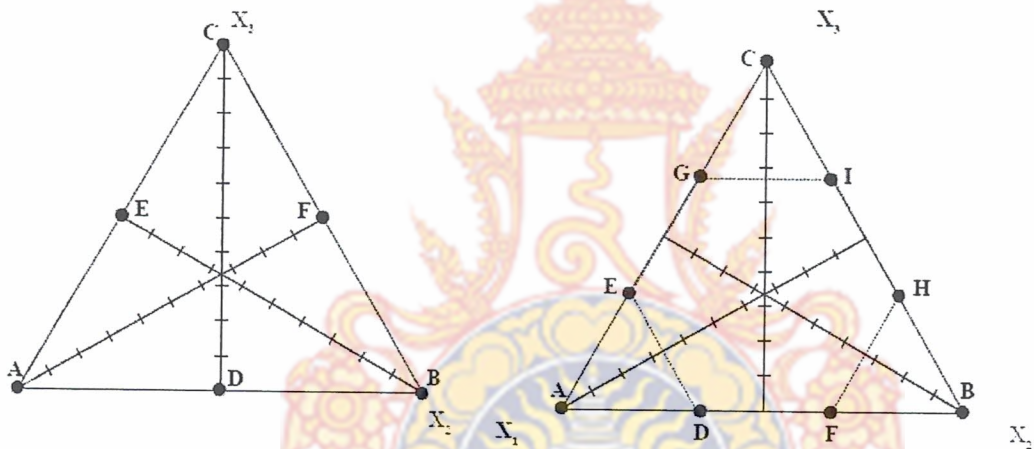
$$M = 3(4)(5)/(1)(2)(3) = 10 \quad (2.13)$$

ซึ่งตัวอย่างของสิ่งทดลองที่มีจำนวน  $q$  และ  $m$  ต่างๆ ดังรูปที่ 2.6





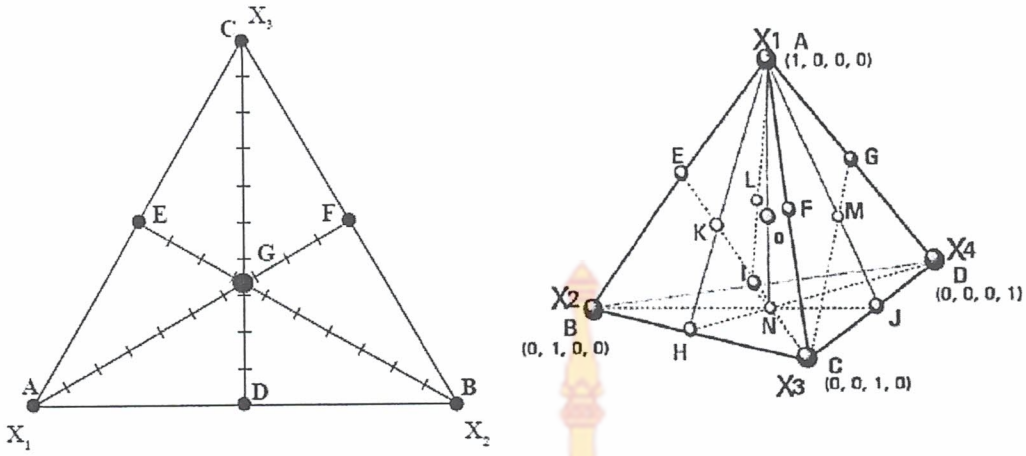
รูปที่ 2.6 ลักษณะสิ่งทดลองที่เป็นแบบ Scheffe simplex-lattice [19]



รูปที่ 2.7 ลักษณะสิ่งทดลองที่เป็นแบบ Scheffe simplex-lattice ที่มี 3 ตัวแปร แต่ละ ตัวแปร มี 2 ระดับ และ 3 ระดับ (ไม่รวม 0) [19]

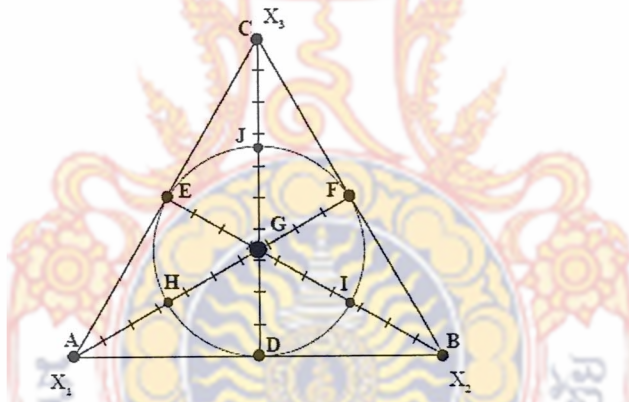
2) การออกแบบ Scheffe simplex-centroid

เป็นการออกแบบแผนการทดลองที่มีสิ่งทดลองเท่ากับ  $2^q - 1$  แต่ละปัจจัยมีสัดส่วนที่เท่ากันทุกปัจจัย สิ่งทดลองประกอบด้วยจุดที่เป็นส่วนผสมเดี่ยว (Pure components) ต่างๆ หมายถึง สิ่งทดลองที่มีปัจจัยนั้น 100% หรือเท่ากับ 1.0 และ 0.5, 0.5, 0, ..., 0 เป็นส่วนผสมคู่ (Binary mixture) และ 1/3, 1/3, 1/3, 0, ..., 0 สำหรับส่วนผสม 3 ชนิด (Ternary mixture) และ 1/q, 1/q, 0, ..., 0 สำหรับ 3 และ 4 ปัจจัยที่แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบ Scheffe simplex-centroid [19]

3) การออกแบบ แบบ Simplex axial



รูปที่ 2.9 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบ Simplex axial [19]

การออกแบบ Scheffe simplex-lattice และ Scheffe simplex-centroid เป็นแบบสิ่งทดลองที่ส่วนประกอบของสิ่งทดลองอยู่บริเวณเส้นขอบเป็นหลัก โดยอาจมีจุดกึ่งกลางระหว่างส่วนประกอบหรือปัจจัยต่างๆ ส่วนแบบ Simplex axial นั้นจะเน้นจุดที่เป็นส่วนประกอบต่างๆ ของทุกปัจจัยสังเกตจากจุด H, I และ J ในรูปที่ 2.9 โดยจุดทั้ง 3 ดังกล่าว มาจากจุดกึ่งกลางของแต่ละส่วนย่อย จากรูปที่ 2.9 หากพิจารณาจุด A, D และ E จะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมย่อย โดยมีจุด H เป็นจุดกึ่งกลางสามเหลี่ยมดังกล่าวซึ่งเป็นเช่นเดียวกับจุด I และ J

#### 4) การออกแบบ แบบ Extreme vertices

การออกแบบแผนการทดลองนี้อาจเรียกว่า แบบมีข้อจำกัดเป็นส่วน (Design with constraints on proportion) หรือแบบมีข้อจำกัด (Constrained mixture design) กล่าวคือ แผนการทดลองแบบนี้ ระดับในแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้องเป็น 0-100% โดยอาจเป็น 20-30% (0.20-0.30) หรือ 10-25% (0.10-0.25) เป็นต้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากความจำเป็นโดยพื้นฐานในการทดลองบางอย่าง เช่น ในการผลิตอาหารบางชนิดที่มีส่วนผสมของกลูเตน (Gluten) โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy protein isolated) และน้ำ พบว่า ต้องมีส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองรวมกันอย่างน้อย 50% (โดยใช้ในปริมาณเท่ากันชนิดละ 25%) จึงสามารถจับเป็นก้อนเพื่อทำการรีดเป็นแผ่นได้ ดังนั้นส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ต่ำกว่า 50% จึงไม่เป็นที่สนใจ ขณะเดียวกันพบว่าหากมีน้ำต่ำกว่า 30% จะไม่สามารถปั้นให้เป็นก้อนได้ ดังนั้นจึงอาจกำหนดปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมแต่ละชนิดเป็น 25, 25 และ 30% ตามลำดับ โดยให้สังเกตว่าปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมทั้ง 3 รวมกัน ต้องไม่เกินหรือเท่ากับ 100% อย่างเด็ดขาด ไมเช่นนั้นจะมีเพียงส่วนผสมเดียวที่เป็นไปได้ หรือไม่มีส่วนผสมใดที่เป็นไปได้เลย

นอกจากนี้แม้การวางแผนจำเป็นต้องให้ปัจจัยที่ทำการศึกษาในแต่ละสิ่งทดลองรวมกันเป็น 100% แต่ไม่จำเป็นต้องนำทุกปัจจัยมาศึกษาพร้อมกัน ในส่วนผสมของแต่ละสิ่งทดลองอาจมีปัจจัยจำนวนมาก แต่สนใจศึกษาเพียง 3 ปัจจัย สามารถใช้แผนการทดลองแบบส่วนผสมได้ เช่น มีส่วนผสมในผลิตภัณฑ์จำนวน 10 ปัจจัย คือ A-J แต่สนใจเฉพาะ B, C และ D ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าว มีสัดส่วนคิดเป็น 18% ของส่วนผสมทั้งหมด สามารถนำปัจจัย B, C และ D มากำหนดเป็นสิ่งทดลองต่างๆ กันและในส่วนผสมแต่ละสิ่งทดลองที่ได้ให้คิดเป็น 18% (หรือ 100 ส่วน) ส่วนอีก 82% (หรือ 455.56 ส่วน มาจาก  $82 \times 100 / 18$ ) ส่วนที่เหลือกำหนดให้ใช้ปริมาณคงที่หรือปัจจัยคงที่ (Fixed variables) ในทุกสิ่งทดลอง

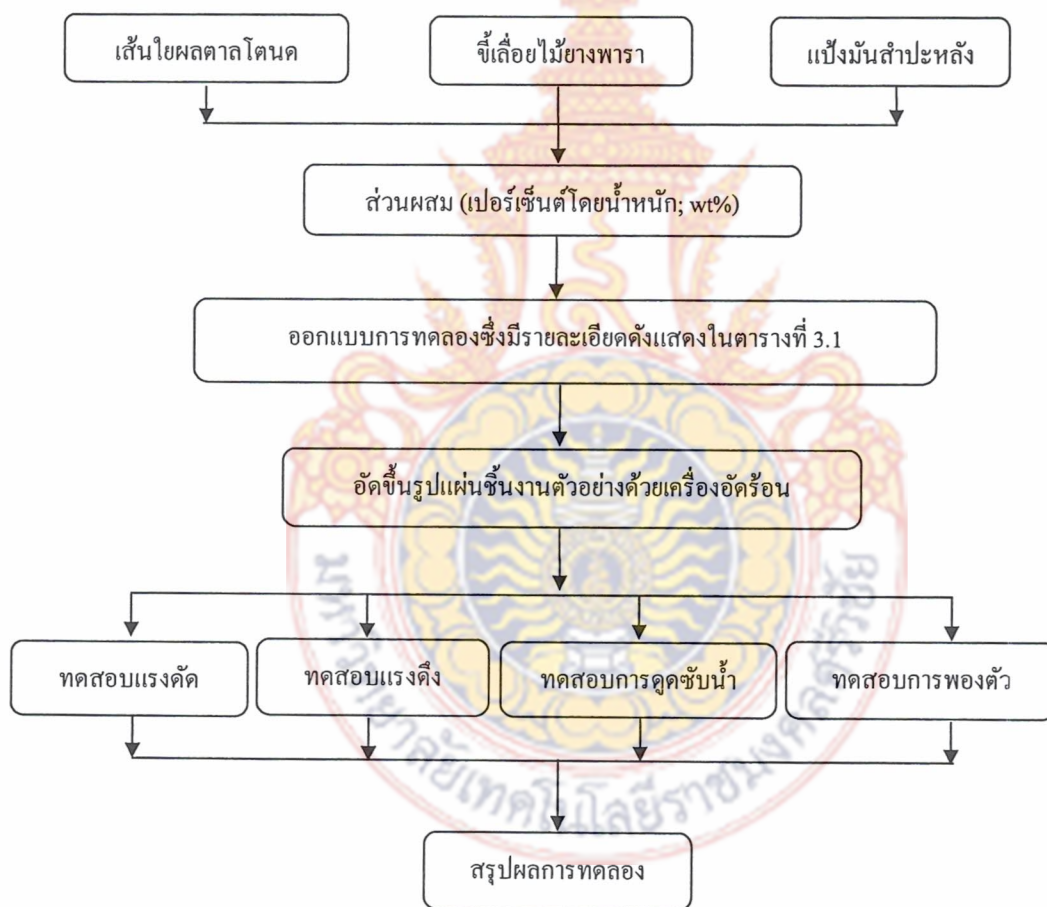


### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย วัสดุ อุปกรณ์ในการวิจัย เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาล โตนด ปริมาณผงไม้ยางพารา และปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีแผนผังการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองตลอดโครงการวิจัย

ลำดับ	สูตร	เส้นใยผลตาลโตนด (wt%)	ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (wt%)	แป้งมันสำปะหลัง (wt%)
1	P0R90C10	0.0	90.0	10.0
2	P11R73C15	11.7	73.0	15.4
3	P5R74C20	5.1	74.9	20.0
4	P11R73C15	11.7	73.0	15.4
5	P24R65C10	24.2	65.0	10.9
6	P0R80C20	0.0	80.0	20.0
7	P0R80C20	0.0	80.0	20.0
8	P15R64C20	15.7	64.3	20.0
9	P30R50C20	30.0	50.0	20.0
10	P30R58C12	30.0	58.0	12.0
11	P30R50C20	30.0	50.0	20.0
12	P7R82C10	7.6	82.4	10.0
13	P22R57C19	22.9	57.3	19.8
14	P18R71C10	18.2	71.8	10.0
15	P0R90C10	0.0	90.0	10.0

หมายเหตุ: ในแต่ละสูตรมีการใช้น้ำเป็นส่วนผสม 0.2 ลิตร; P คือ Palmyra fruit fiber, R คือ Rubberwood sawdust และ C คือ Cassava starch; wt% คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

### 3.2 วัสดุ

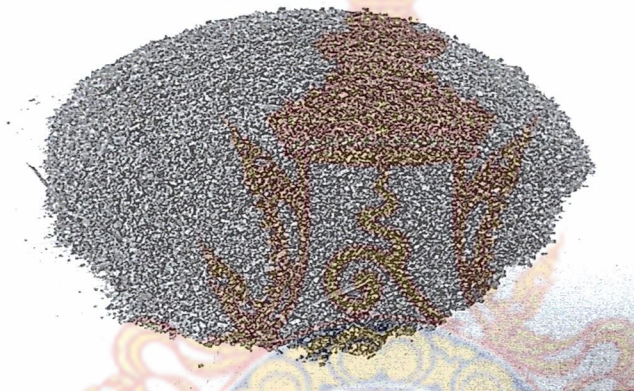
3.2.1 เส้นใยผลตาลโตนดจากแห้ง จัดหามาจากพื้นที่ใน อ.สทิงพระ จ.สงขลา ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.2.2 ขี้เลื่อยไม้ยางพารา ได้รับมาจากโรงงานแปรรูปเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในจังหวัดสงขลา ดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.2.3 แป้งมันสำปะหลังชนิดพิเศษ ตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก จัดซื้อมาจาก หจก. เกரியงไกรค้าแป้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 เส้นใยผลตาลโตนด



รูปที่ 3.3 จี่เลื่อยไม้ยางพารา

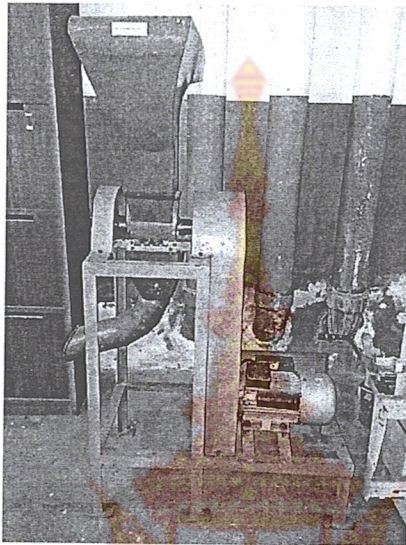


รูปที่ 3.4 แป้งมันสำปะหลัง



### 3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักร

3.3.1 เครื่องย่อยเส้นใยผลตาลโดนด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ใช้สำหรับบั่นย่อยลดขนาดของเส้นใยผลตาลโดนดให้เป็นเส้นใยที่มีความยาวสั้นกว่า 1 cm



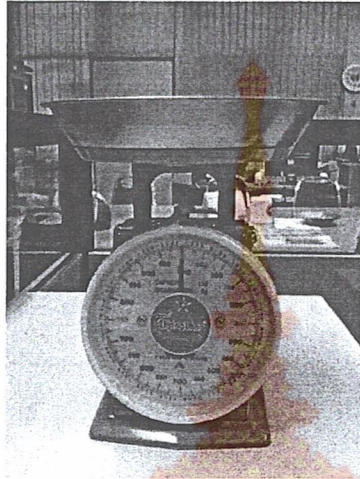
รูปที่ 3.5 เครื่องย่อยเส้นใย

3.3.2 ตะแกรงร่อนแยกขนาดเบอร์ 12 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ยี่ห้อ Ro-tap ผลิตโดยบริษัท W.S. Tyler (Ohio, U.S.A.) ใช้สำหรับแยกขนาดจี้เลื่อยไม้ยางพารา



รูปที่ 3.6 ตะแกรงร่อนเบอร์ 12

3.3.3 ตาชั่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักส่วนผสม เช่น เส้นใยผลตาลโดนด จี้เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 3.7 ตาชั่ง

3.3.4 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 แม่พิมพ์แผ่นบนและแม่พิมพ์แผ่นล่าง มีขนาด 250 mm x 350 mm x 6 mm สำหรับประกบเพื่ออัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลางที่ส่วนผสมที่ผสมไว้



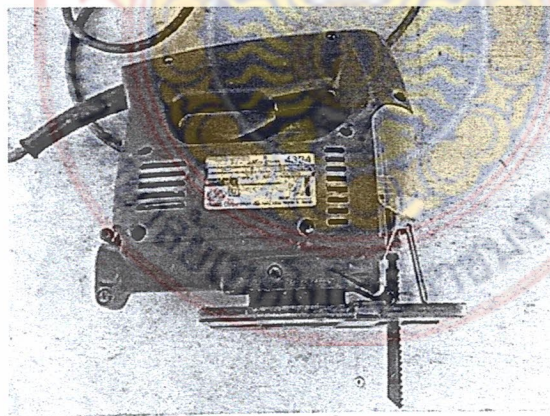
รูปที่ 3.8 แม่พิมพ์แผ่นบนและแผ่นล่าง

3.3.5 เครื่องอัดรีด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ใช้สำหรับขึ้นรูปแผ่นขึ้นงานตัวอย่าง ตัวเครื่องประกอบไปด้วยส่วนของชุดอัดรีดและชุดอัดเย็น ซึ่งมีกำลังในการอัดสูงสุด 3,000 psi



รูปที่ 3.9 เครื่องอัดรีด (Hot press machine)

3.3.6 เลื่อยจิ๊กซอว์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ใช้สำหรับเลื่อยแผ่นขึ้นงานตัวอย่างให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 3.10 เลื่อยจิ๊กซอว์ (Jigsaw)



3.3.7 เครื่องตัดไม้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ใช้สำหรับตัดตกแต่งขอบของแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง ให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานกำหนด



รูปที่ 3.11 เครื่องตัดไม้

3.3.8 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 รุ่น NRI-TS500-50 จาก บริษัท นรินทร์ อินสทรูमेंท์ จำกัด ใช้สำหรับทดสอบสมบัติการตัดและการดึง



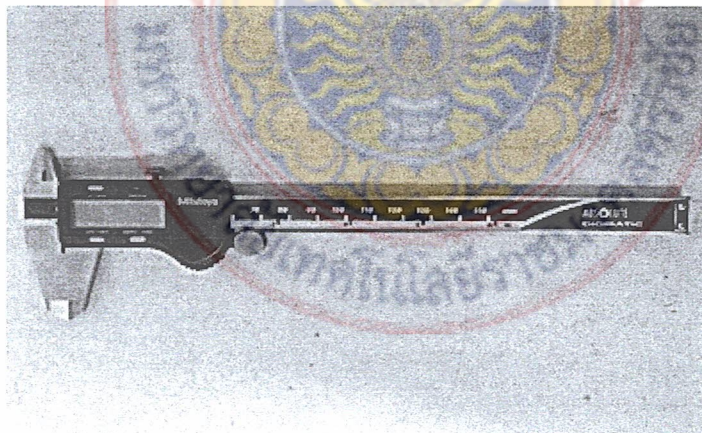
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์

3.3.9 เครื่องชั่งดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบ เพื่อทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นใยไม้อัด



รูปที่ 3.13 เครื่องชั่งดิจิทัล

3.3.10 เวอร์เนียดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ใช้สำหรับวัดขนาดของชิ้นงานทดสอบ ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความหนา



รูปที่ 3.14 เวอร์เนียดิจิทัล



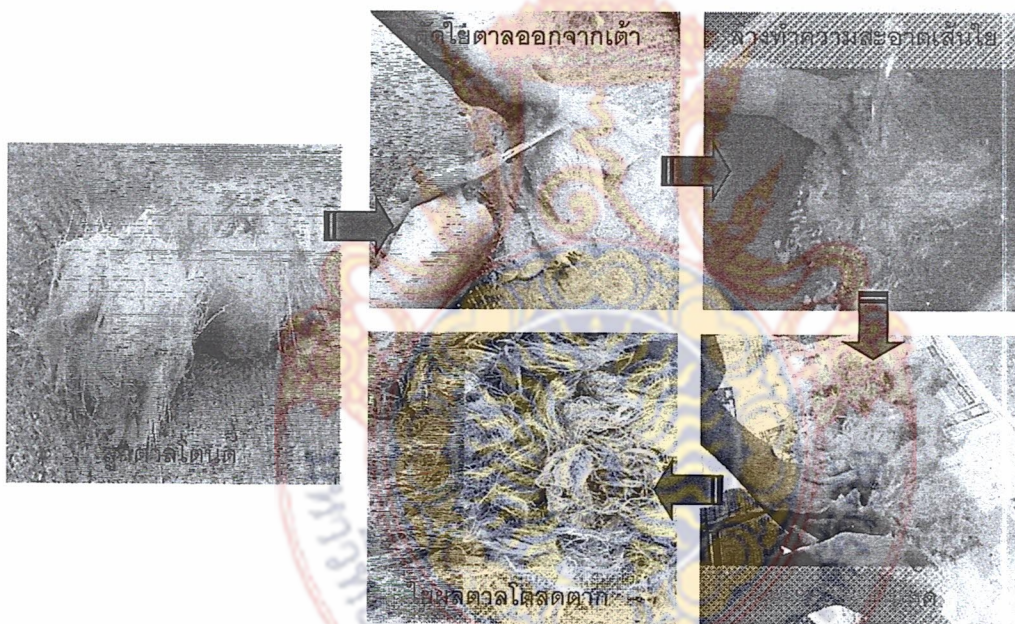
### 3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.4.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาค้นคว้างานวิจัยในอดีต ทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เช่น การผลิตแผ่นใยไม้อัดจากวัสดุเหลือใช้ต่างๆ การทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย โดยทำการศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น อินเทอร์เน็ต ห้องสมุด บทความ และหน่วยงานต่างๆ เป็นต้น

#### 3.4.2 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานวิจัย

1) จัดหาวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของแผ่นใยไม้อัด เช่น เส้นใยผลตาล โตนดตากแห้ง จี๊ เลื่อยไม้ยางพารา แป้งมันสำปะหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ถึง 3.4 อย่างไรก็ตามก่อนนำเส้นใยผลตาล โตนดไปใช้นั้น ต้องทำการตัดเส้นใยออกจากเต้าของลูกตาล จากนั้นนำมาล้างทำความสะอาด แล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.15



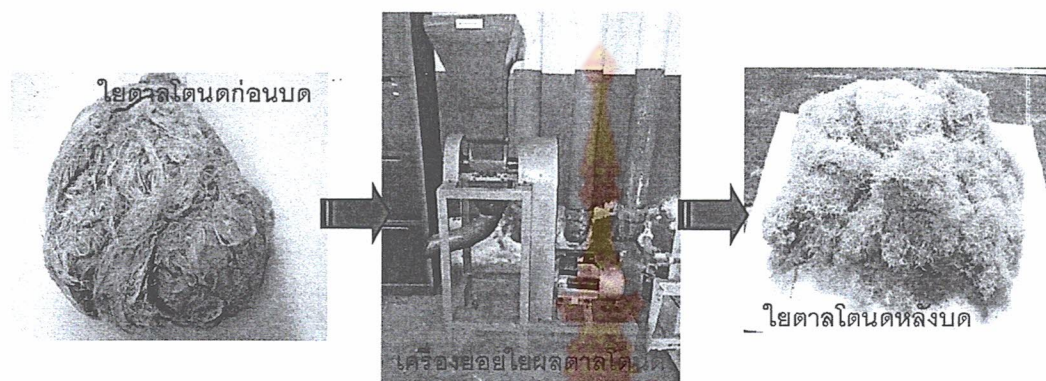
รูปที่ 3.15 การเตรียมเส้นใยผลตาลโตนด

2) จัดหาเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย เช่น เครื่องร่อนแยกขนาดผงไม้ เครื่องย่อยเส้นใยผลตาลโตนด และเครื่องอัดร้อน เป็นต้น



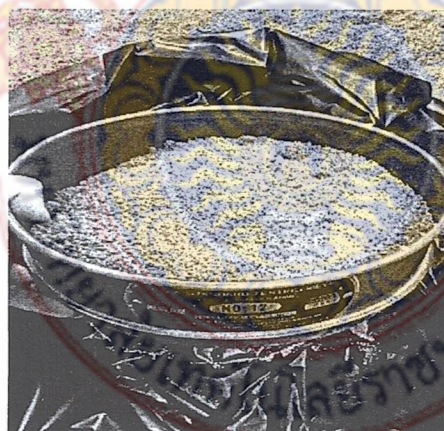
### 3.4.3 ขึ้นรูปแผ่นขึ้นงานตัวอย่าง

1) นำเส้นใยผลตาลโตนดตากแห้งมาบดตัดย่อยให้มีขนาดสั้นกว่า 1 cm ด้วยเครื่องย่อยใยผลตาลโตนด ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การย่อยใยผลตาลโตนดด้วยเครื่องย่อย

2) นำขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ได้จากภาคอุตสาหกรรมมาแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนและร่อนให้ขี้เลื่อยไม้ผ่านตะแกรงขนาด 12 mesh ดังแสดงในรูปที่ 3.17

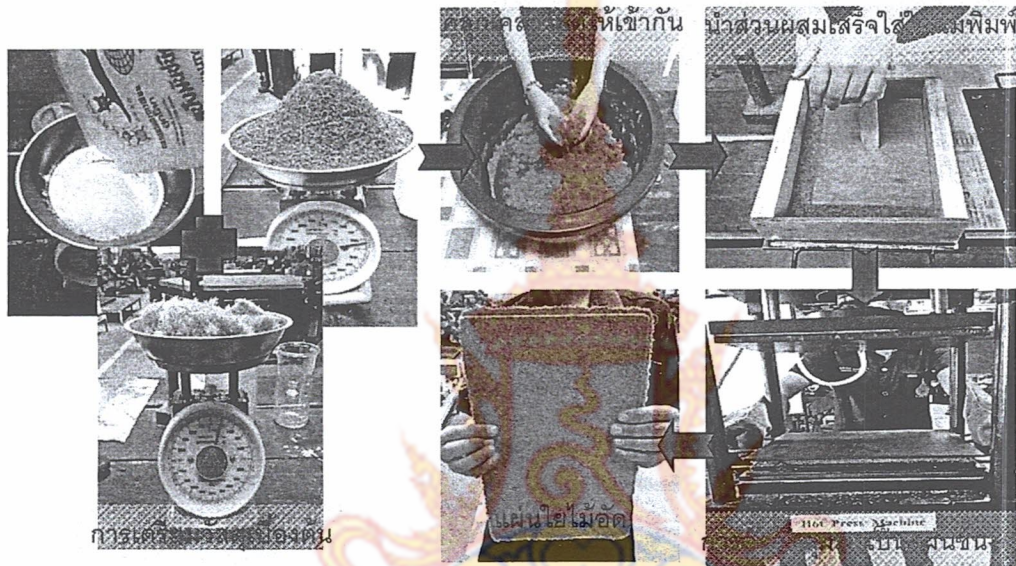


รูปที่ 3.17 การร่อนแยกขนาดขี้เลื่อยไม้ยางพารา

3) ผสมวัสดุต่างๆ ตามสูตรที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เช่น สูตรที่ 1 POR90S10 ใยผลตาล โตนด 0% ซีเมนต์ ไม้ยางพารา 90% และแป้งมันสำปะหลัง 10% และน้ำเป็นตัวผสม 0.2 ลิตร จากนั้นคลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากัน โดยการกวนด้วยมือประมาณ 10 นาที

4) นำส่วนผสมที่กวนผสมเสร็จมาใส่ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ อัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อน

5) นำส่วนผสมที่ใส่ในแม่พิมพ์ไปขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง โดยใช้เครื่องอัดร้อนที่มีอุณหภูมิ 190 °C แรงดันอัด 2000 psi เป็นระยะเวลา 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การขึ้นรูปส่วนผสมเป็นแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง

#### 3.4.4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

1) ทำการเลื่อยแผ่นชิ้นงานตัวอย่างให้ได้ขนาดใกล้เคียงกับขนาดมาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ ตามมาตรฐาน JIS A 5905 ด้วยเลื่อยจิ๊กซอว์ เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบในแต่ละการทดสอบ

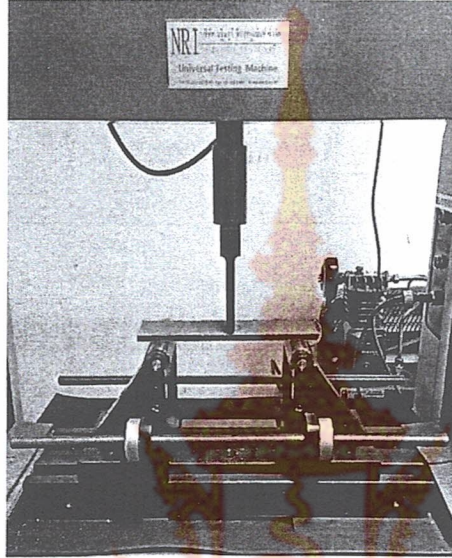
2) นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ทำการเลื่อยเสร็จเรียบร้อยแล้ว มาทำการขัดตกแต่งขอบด้วยเครื่องขัดไม้ เพื่อให้ชิ้นงานทดสอบมีขนาดตามมาตรฐานการทดสอบ

#### 3.4.5 ทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ

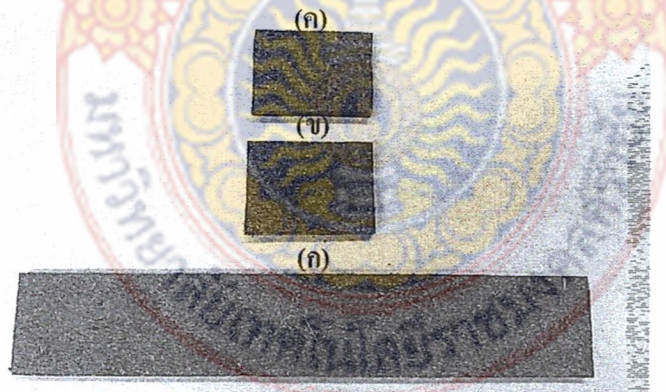
1) การทดสอบความแข็งแรงดัด ดังแสดงในรูปที่ 3.19 เป็นการทดสอบดัดแบบ 3 จุด ซึ่งปฏิบัติตามมาตรฐาน JIS A 5905 โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาด



ชิ้นงาน 50 mm x 200 mm x 6 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.20(ก) จากนั้นวางชิ้นงานทดสอบลงบนแท่นรองรับ โดยมีระยะรองรับ 150 mm และยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 mm เท่าๆ กัน ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการกดคงที่ด้วยความเร็ว 10 mm/min บันทึกค่าแรง นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงคัด และค่ามอดูลัสการคัด



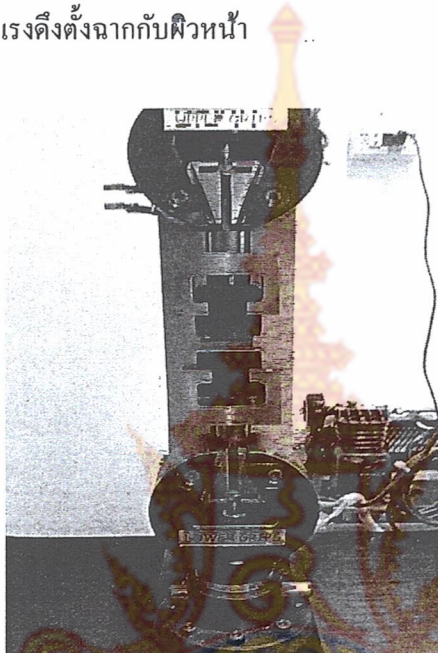
รูปที่ 3.19 การทดสอบความแข็งแรงคัด



รูปที่ 3.20 ชิ้นงานทดสอบ (ก) ความแข็งแรงคัด (ข) ความแข็งแรงดึง และ (ค) การดูดซับน้ำ

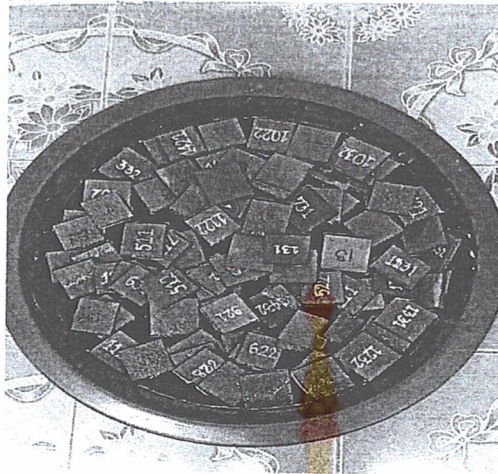


2) การทดสอบความแข็งแรงดึงดึงฉีกกับผิวหน้า ดังแสดงในรูปที่ 3.21 เป็นการทดสอบที่ปฏิบัติตามมาตรฐาน JIS A 5905 โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาดชิ้นงาน 50 mm x 50 mm x 6 mm จากนั้นใช้กาวสังเคราะห์ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับอุปกรณ์ทดสอบ นำชิ้นทดสอบไปเข้าเครื่องทดสอบ ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกขาดออกจากกัน โดยมีอัตราดึงคงที่ด้วยความเร็ว 2 mm/min บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาแรงดึงดึงฉีกกับผิวหน้า



รูปที่ 3.21 การทดสอบความแข็งแรงดึงดึงฉีกกับผิวหน้า

3) การทดสอบการดูดซับน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.22 เป็นการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ และการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ซึ่งปฏิบัติตามมาตรฐาน JIS A 5905 ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาดชิ้นงาน 50 mm x 50 mm x 6 mm โดยชั่งน้ำหนักและวัดความหนาของชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลละเอียด 0.01 g และเวอร์เนียร์ดิจิตอลที่ให้ความละเอียดถึง 0.01 mm จากนั้นแช่ชิ้นทดสอบในน้ำที่อุณหภูมิห้องให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวหน้า เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมด แล้วชั่งน้ำหนักและวัดความหนาทันที บันทึกค่าและนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ และค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำ



รูปที่ 3.22 การทดสอบการดูดซับน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

3.4.6 สรุปผลกระทบของเส้นใยผลตาล โตนด จี้เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นใยไม้อัด ตลอดจนหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นใยไม้อัด

3.4.7 ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากแผ่นใยไม้อัด (Fiberboard) เป็นชิ้นงานตัวอย่างตามกระบวนการที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้าในสูตรที่มีความเหมาะสมที่สุด



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ในบทนี้เป็นการอธิบายผลการทดลองที่ได้จากการวิจัย ซึ่งจะอธิบายถึงผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาล โตนด จีเลื้อย ไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด ตลอดจนการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของแผ่นใยไม้อัด

#### 4.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการตัดของแผ่นใยไม้อัด

การออกแบบการทดลองมีตัวแปรอิสระที่ใช้ในการออกแบบการทดลองประกอบด้วย เส้นใยผลตาล โตนด จีเลื้อย ไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถออกแบบสูตรส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองได้ 15 สูตร เช่นเดียวกันค่าผลตอบสนองที่ได้จากการทดลองคือ ค่าความแข็งแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) ค่ามอดูลัสการดัด (Modulus of Elasticity; MOE) ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond Strength; IBS) การดูดซับน้ำ (Water Absorption; WA) และการพองตัว (Thickness Swelling; TS) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

##### 4.1.1 การวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมของสมบัติการตัด

ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อเลือกรูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสมบัติได้ ซึ่งในการวิเคราะห์รูปแบบจำลองที่ Sequential model sum of squares มีนัยสำคัญ Adjusted coefficient of determination ( $Adj-R^2$ ) และ Predicted coefficient of determination ( $Pred-R^2$ ) มีค่าสูง ตลอดจน Lack of fit ไม่มีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าความแข็งแรงดัดมีความเหมาะสมกับรูปแบบจำลองเชิงเส้น (Linear model) เพราะจากการเปรียบเทียบผลทางสถิติพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมมีค่า  $Adj-R^2$  และค่า  $Pred-R^2$  สูง เช่นเดียวกันจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) พบว่ารูปแบบจำลองที่เหมาะสมเหล่านี้มีค่า P-value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) ซึ่งมีความหมายว่า รูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูล และค่า Coefficient of determination ( $R^2$ ),  $Adj-R^2$  และ  $Pred-R^2$  ที่แสดงในตารางที่ 4.2 ถูกใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลค่า  $Adj-R^2$  ของความแข็งแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับค่า  $R^2$  ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม ในส่วนของค่า  $Pred-R^2$  พบว่าสมบัติความแข็งแรงดัดแสดงค่า 69.57% นั้นหมายความว่า รูปแบบจำลองที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้



69.57% นอกจากนี้พบว่า ค่า Coefficients of variation (C.V.) ของความแข็งแรงดัด คือ 11.44% ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ โดยปกติค่า C.V. ต่ำ หมายถึงการตรวจวัดสมบัติของวัสดุมีความแม่นยำที่ดี และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการสร้างรูปแบบจำลองได้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด

Run No.	PPF (wt%)	RWS (wt%)	CS (wt%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IBS (MPa)	WA (%)	TS (%)
1	0.0	90.0	10.0	6.72	1073	0.7	112.5	22.2
2	11.7	73.0	15.4	9.00	1265	0.9	94.2	22.5
3	5.1	74.9	20.0	9.66	1186	0.5	93.4	21.8
4	11.7	73.0	15.4	10.12	1429	0.9	93.7	21.8
5	24.2	65.0	10.9	9.06	1107	0.6	101.0	27.2
6	0.0	80.0	20.0	7.21	924	0.7	98.5	21.1
7	0.0	80.0	20.0	7.15	1001	0.7	93.0	18.0
8	15.7	64.3	20.0	9.64	1261	0.2	93.5	23.9
9	30.0	50.0	20.0	12.40	1363	0.7	111.1	36.1
10	30	58.0	12.0	9.72	1005	0.8	104.5	32.5
11	30.0	50.0	20.0	11.54	1397	0.6	103.5	28.7
12	7.6	82.4	10.0	7.14	1097	0.6	107.9	23.5
13	22.9	57.3	19.8	10.11	1287	0.6	99.7	23.7
14	18.2	71.8	10.0	6.07	925	0.6	105.7	26.0
15	0.0	90.0	10.0	5.23	944	0.6	109.1	18.4

หมายเหตุ: PPF คือ Palmyra fruit fiber, RWS คือ Rubberwood sawdust, CS คือ Cassava starch

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าค่ามอดูลัสการดัดมีความเหมาะสมกับรูปแบบจำลองเชิงเส้นโค้ง (Quadratic model) เพราะจากการเปรียบเทียบผลทางสถิติพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมมีค่า Adj-R<sup>2</sup> และค่า Pred-R<sup>2</sup> สูง เช่นเดียวกันจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมเหล่านี้มีค่า P-value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05) ซึ่งมีความหมายว่ารูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูล และค่า R<sup>2</sup>, Adj-R<sup>2</sup> และ Pred-R<sup>2</sup> ที่แสดงใน ตารางที่ 4.2 ถูกใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลค่า Adj-R<sup>2</sup> ของค่ามอดูลัสการดัดมีค่าใกล้เคียงกับค่า R<sup>2</sup> ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม ในส่วนของค่า Pred-

$R^2$  พบว่าสมบัติโมดูลัสการคัตแสดงค่า 61.90% นั้นหมายความว่ารูปแบบจำลองที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 61.90%

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสมบัติ

Response	Model	Sequential	Lack of fit	$R^2$	Adj- $R^2$	Pred- $R^2$	C.V.
		P-value	P-value				
MOR	Linear	<0.0001*	0.2162	79.69%	76.30%	69.57%	11.44%
MOE	Quadratic	0.0024	0.5372	87.12%	79.97%	61.90%	6.80%
IBS	Special cubic	0.0088	0.0289	92.10%	79.29%	60.87%	11.23%
WA	Quadratic	0.0005	0.9073	90.11%	84.62%	72.56%	2.67%
TS	Linear	<0.0001*	0.8204	77.25%	73.45%	62.15%	10.42%

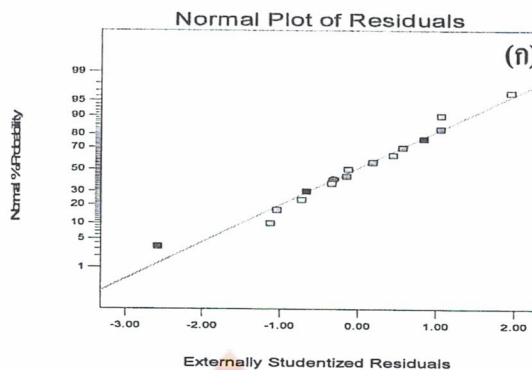
หมายเหตุ: \* ค่า P-value น้อยกว่า 0.05 หมายถึง ความมีนัยสำคัญ

#### 4.1.2 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับสมบัติการคัต

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อยืนยันความพอเพียงและความน่าเชื่อถือของรูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้รับจากการทดลอง รูปที่ 4.1(ก) แสดงกราฟ Normal probability ของสมบัติความแข็งแรงคัต และพบว่าไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ ตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ รูปที่ 4.1(ข) แสดงกราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง พบว่าค่าเศษเหลือไม่มีความสัมพันธ์กับลำดับการทดลองที่เป็นแนวโน้ม หรือมีความสัมพันธ์ที่สามารถคาดการณ์ได้ตลอดจนไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ รูปที่ 4.1(ค) แสดงกราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และพบว่าค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวที่ไม่มีแนวโน้มหรือรูปแบบที่แน่นอน เช่นเดียวกันค่าเศษเหลือมีการกระจายรอบๆ ค่าศูนย์ที่เท่าๆ กัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนและคุณสมบัติด้านความเป็นอิสระ และรูปที่ 4.1(ง) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง พบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งสมการการถดถอยเหล่านี้สามารถทำนายค่าจากการทดลองได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 4 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง

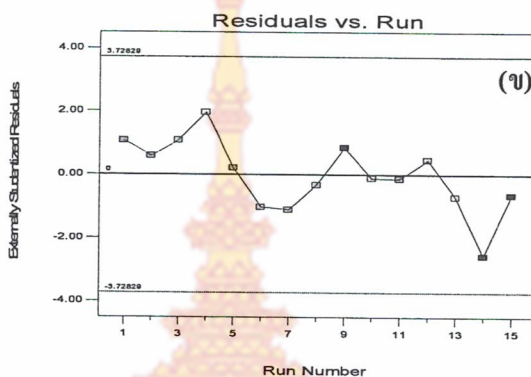
Design-Expert® Software  
MOR

Color points by value of  
MOR:  
12.40  
5.23



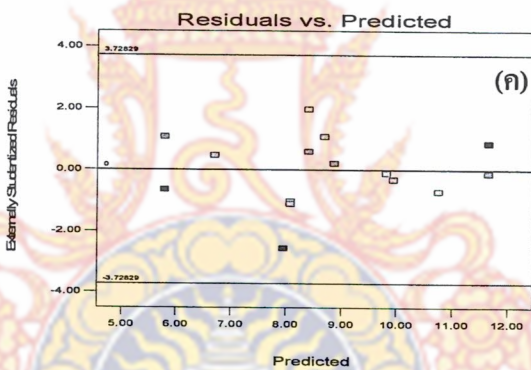
Design-Expert® Software  
MOR

Color points by value of  
MOR:  
12.40  
5.23



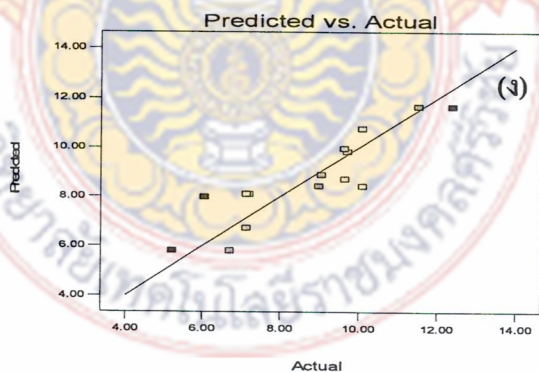
Design-Expert® Software  
MOR

Color points by value of  
MOR:  
12.40  
5.23



Design-Expert® Software  
MOR

Color points by value of  
MOR:  
12.40  
5.23

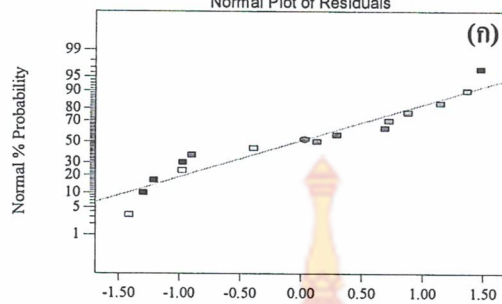


รูปที่ 4.1 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของสมบัติความแข็งแรงดัด (ก) กราฟ Normal probability (ข) กราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง (ค) กราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และ (ง) กราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง

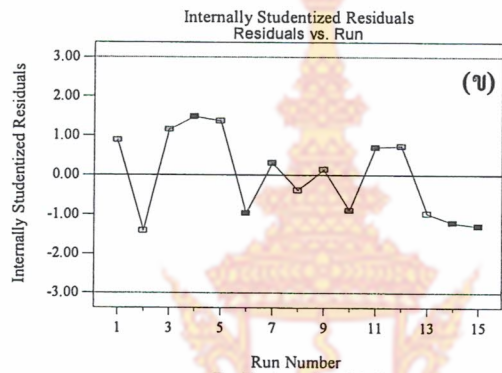


นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองในสมบัติโมดูลัสการคัตพบว่ากราฟทั้ง 4 มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับสมบัติความแข็งแรงคัต

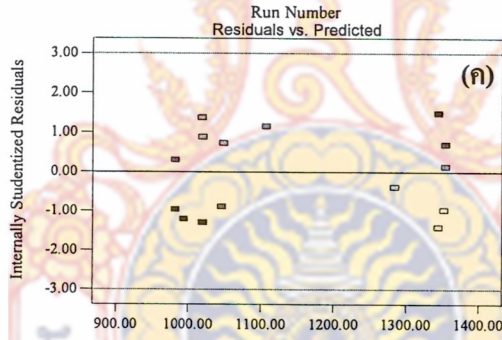
Design-Expert® Software  
MOE  
Color points by value of MOE:  
1429  
924



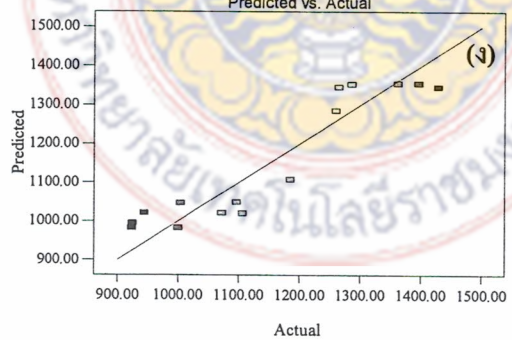
Design-Expert® Software  
MOE  
Color points by value of MOE:  
1429  
924



Design-Expert® Software  
MOE  
Color points by value of MOE:  
1429  
924



Design-Expert® Software  
MOE  
Color points by value of MOE:  
1429  
924



รูปที่ 4.2 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของสมบัติค่ามอดูลัสการคัต  
(ก) กราฟ Normal probability (ข) กราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง (ค) กราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และ (ง) กราฟค่าทำนายต่อค่าการทดลองจริง

#### 4.1.3 ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการคัด

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของรูปแบบจำลองถดถอย พบด้วยว่า ความแข็งแรงคัด (MOR) มีรูปแบบจำลองที่เหมาะสมคือ รูปแบบจำลองเชิงเส้นตรง ซึ่งรูปแบบนี้มีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เช่นเดียวกันพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงคัดกับตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้:

$$\text{MOR} = 0.035124\text{RWS} + 0.15406\text{PFF} + 0.26416\text{CS} \quad (4.1)$$

สมการถดถอยนี้แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นใยผลตาลโตนด จี๊เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง มีค่าเป็นบวกทั้งหมด ซึ่งหมายความว่า การเพิ่มขึ้นของเส้นใยผลตาลโตนด จี๊เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงคัดของแผ่นใยไม้อัดเพิ่มสูงขึ้น จากสมการถดถอยของความแข็งแรงคัดสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่าง (Contour plot) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) จากกราฟแสดงให้เห็นว่าที่ผลตาลโตนด 30% จี๊เลื่อยไม้ยางพารา 50% และแป้งมันสำปะหลัง 20% จะได้แผ่นใยไม้อัดที่ให้ค่าความแข็งแรงคัด 11.54 MPa จากผลนี้สามารถสรุปได้ว่าถ้าจี๊เลื่อยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงคัดลดลง และถ้าเส้นใยผลตาลโตนดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงคัดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันถ้าแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงคัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองถดถอยของค่ามอดูลัสการคัด (MOE) มีรูปแบบจำลองที่เหมาะสมคือ รูปแบบจำลองเชิงเส้น โค้ง ซึ่งรูปแบบนี้มีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เช่นเดียวกันพบด้วยว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสการคัดกับตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้:

$$\begin{aligned} \text{MOE} = & -5.71017\text{RWS} - 66.0002\text{PFF} - 580.16442\text{CS} + 0.48121\text{RWS}*\text{PFF} \\ & + 8.15177\text{RWS}*CS + 10.58365\text{PFF}*CS \end{aligned} \quad (4.2)$$

สมการถดถอยนี้แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นใยผลตาลโตนด จี๊เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง มีค่าเป็นลบทั้งหมด ซึ่งหมายความว่า การเพิ่มขึ้นของเส้นใยผลตาลโตนด จี๊เลื่อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้ค่ามอดูลัสการคัดของแผ่นใยไม้อัดลดลง จากสมการถดถอยของค่ามอดูลัสการคัดสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.3(ข) จากกราฟ

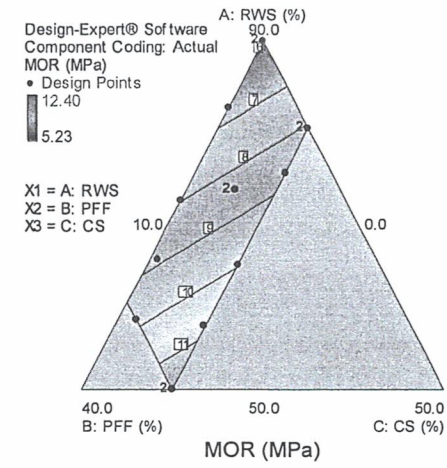
แสดงให้เห็นว่า ถ้าซีเลื่อยไม้บางพาราเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ามอดูลัสการคดลดลง และถ้าเส้นใยผลตาลโดนคเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ามอดูลัสการคดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันถ้าแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ามอดูลัสการคดเพิ่มขึ้น แต่สามารถเพิ่มได้ในระดับหนึ่ง เพราะถ้าเพิ่มเส้นใยผลตาลโดนคและแป้งมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้นไปเรื่อยๆ ก็จะส่งผลให้ค่ามอดูลัสการคดลดลงได้เช่นเดียวกัน

## 4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัด

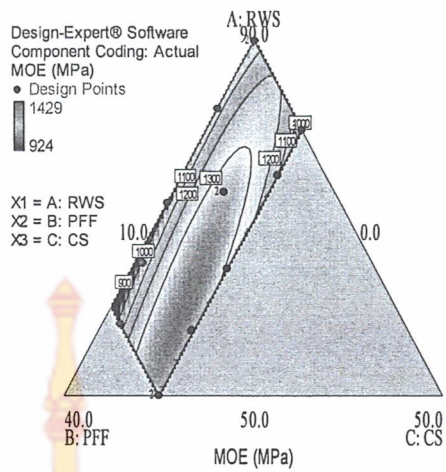
### 4.2.1 การวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมของสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามีความเหมาะสมกับรูปแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ (Special cubic model) เพราะจากการเปรียบเทียบผลทางสถิติพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมมีค่า Adj-R<sup>2</sup> และค่า Pred-R<sup>2</sup> สูง และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมเหล่านี้มีค่า P-value ของ Lack of fit ที่มีนัยสำคัญ (P<0.05) ซึ่งมีความหมายว่า รูปแบบจำลองการถดถอยไม่มีความสมรูปกับข้อมูล และค่า R<sup>2</sup>, Adj-R<sup>2</sup> และ Pred-R<sup>2</sup> ที่แสดงในตารางที่ 4.2 ถูกใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลค่า Adj-R<sup>2</sup> ของความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามีค่าใกล้เคียงกับค่า R<sup>2</sup> ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสมในส่วนของค่า Pred-R<sup>2</sup> พบว่าสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าแสดงค่า คือ 60.87% นั่นหมายความว่า รูปแบบจำลองที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 60.87%

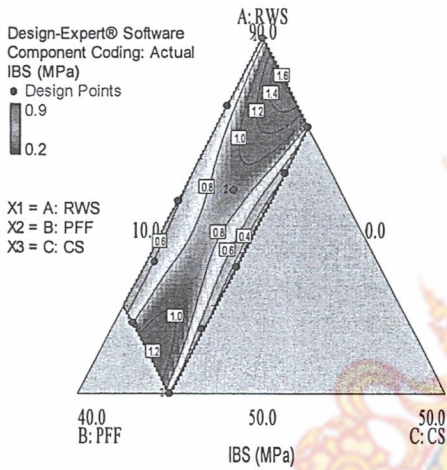




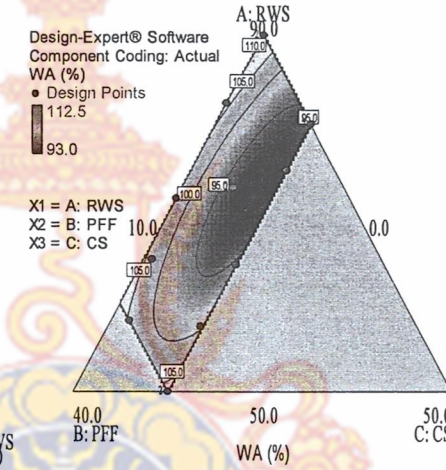
(ก)



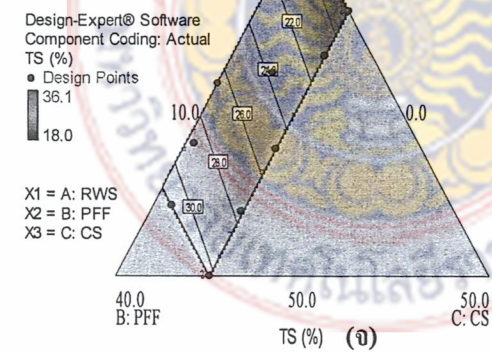
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.3 กราฟโครงร่างผลกระทบของเส้นใยผลตาลโตนด จี้อยไม้ยางพารา และแป้งมัน  
สำปะหลังต่อ (ก) ความแข็งแรงดัด (ข) มอดูลัสการดัด (ค) ความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า  
(ง) การดูดซับน้ำ และ (จ) การพองตัว

#### 4.2.2 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองจากการทดลอง รูปที่ 4.4(ก) แสดงกราฟ Normal probability ของสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และพบว่าไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ ตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ รูปที่ 4.4(ข) แสดงกราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง พบว่า ค่าเศษเหลือ ไม่มีความสัมพันธ์กับลำดับการทดลองที่เป็นแนวโน้ม หรือมีความสัมพันธ์ที่สามารถคาดการณ์ได้ตลอดจนไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ รูปที่ 4.4(ค) แสดงกราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และพบว่าค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวที่ไม่มีแนวโน้มหรือรูปแบบที่แน่นอน เช่นเดียวกันค่าเศษเหลือมีการกระจายรอบๆ ค่าศูนย์ที่เท่าๆ กัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนและคุณสมบัติด้านความเป็นอิสระ และรูปที่ 4.4(ง) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง พบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างกระจายตัวเป็นเส้นตรง ซึ่งสมการการถดถอยเหล่านี้สามารถทำนายค่าจากการทดลองได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 4 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง

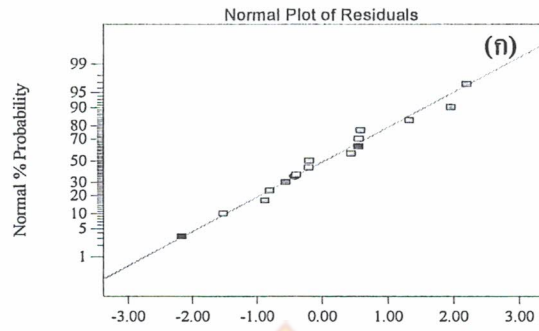
#### 4.2.3 ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองถดถอยพบว่า ความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (IBS) มีรูปแบบจำลองที่เหมาะสมคือ รูปแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรูปแบบนี้มีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เช่นเดียวกันพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ากับตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้:

$$\begin{aligned} IBS = & 0.65RWS + 0.28PFF - 44.73CS + 0.42RWS*PFF + 61.04RWS*CS + 61.86PFF*CS \\ & - 59.82RWS^2*PFF*CS - 43.62RWS*PFF^2*CS + 103.42RWS*PFF*CS^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

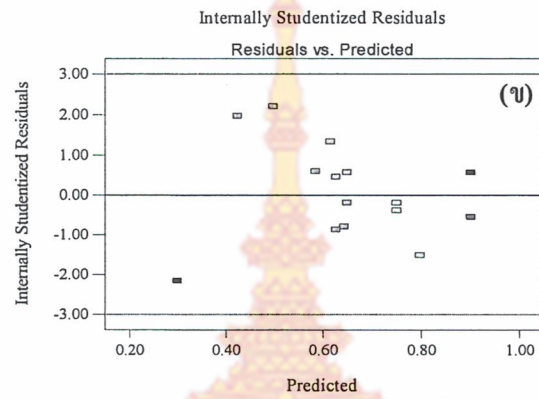
Design-Expert® Software  
IBS (MPa)

Color points by value of  
IBS (MPa):  
0.9  
0.2



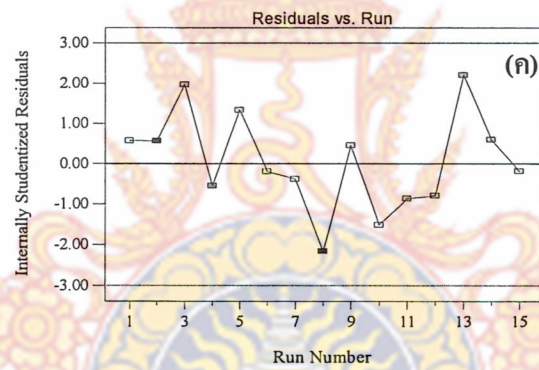
Design-Expert® Software  
IBS (MPa)

Color points by value of  
IBS (MPa):  
0.9  
0.2



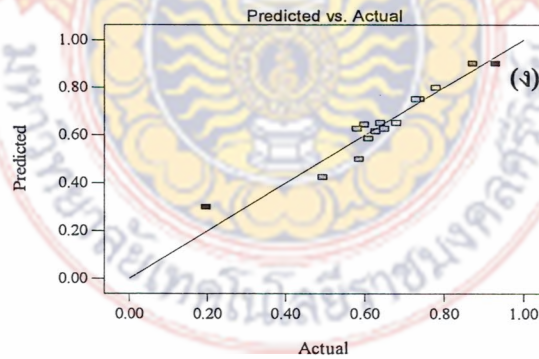
Design-Expert® Software  
IBS (MPa)

Color points by value of  
IBS (MPa):  
0.9  
0.2



Design-Expert® Software  
IBS (MPa)

Color points by value of  
IBS (MPa):  
0.9  
0.2



รูปที่ 4.4 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (ก) กราฟ Normal probability (ข) กราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง (ค) กราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และ (ง) กราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง



สมการถดถอยที่ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นใยผลตาล โตนด จี้อย่างพารา มีค่าเป็นบวก และแป้งมันสำปะหลังมีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายความว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยผลตาล โตนด จี้อย่างพารา ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดเพิ่มขึ้น และแป้งมันสำปะหลังส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดลดลง จากสมการถดถอยของความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่าง (Contour plot) ดังแสดงในรูปที่ 4.2(ค) จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ถ้าจี้อย่างพารา เส้นใยผลตาล โตนด และแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเพิ่มขึ้น แต่สามารถเพิ่มได้ในระดับหนึ่ง เพราะถ้าเพิ่มจี้อย่างพารา เส้นใยผลตาล โตนด และแป้งมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้น ไปเรื่อยๆ ก็จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าลดลงได้เช่นเดียวกัน

#### 4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นใยไม้อัด

##### 4.3.1 การวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมของสมบัติการดูดซับน้ำ

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าการดูดซับน้ำมีความเหมาะสมกับรูปแบบจำลองเชิงเส้น โคว้ (Quadratic model) เพราะจากการเปรียบเทียบผลทางสถิติพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมนี้มีค่า Adj-R<sup>2</sup> และค่า Pred-R<sup>2</sup> สูง เช่นเดียวกันจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมเหล่านี้มีค่า P-value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05) ซึ่งมีความหมายว่า รูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูล และค่า R<sup>2</sup>, Adj-R<sup>2</sup> และ Pred-R<sup>2</sup> ที่แสดงในตารางที่ 4.2 ถูกใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลค่า Adj-R<sup>2</sup> ของค่าการดูดซับน้ำมีค่าใกล้เคียงกับค่า R<sup>2</sup> ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม ในส่วนของค่า Pred-R<sup>2</sup> พบว่าสมบัติการดูดซับน้ำแสดงค่า คือ 72.56% นั่นหมายความว่า รูปแบบจำลองที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 72.56% นอกจากนี้พบด้วยว่า ค่า C.V. ของการดูดซับน้ำ คือ 2.67% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก

##### 4.3.2 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับสมบัติการดูดซับน้ำ

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองจากการทดลอง รูปที่ 4.5(ก) แสดงกราฟ Normal probability ของสมบัติการดูดซับน้ำ และพบว่าไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ ตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ รูปที่ 4.5(ข) แสดงกราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลองพบว่า ค่าเศษ

เกลือไม่มีความสัมพันธ์กับลำดับการทดลองที่เป็นแนวโน้มน้ำหรือมีความสัมพันธ์ที่สามารถคาดการณ์ได้ตลอดจนไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ รูปที่ 4.5(ค) แสดงกราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และพบว่าค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวที่ไม่มีแนวโน้มน้ำหรือรูปแบบที่แน่นอน เช่นเดียวกันค่าเศษเหลือมีการกระจายรอบๆ ค่าศูนย์ที่เท่าๆ กัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนและคุณสมบัติด้านความเป็นอิสระ และรูปที่ 4.5(ง) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง พบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันก่อนข้างกระจายตัวเป็นแนวกว้างกลายเป็นเส้นตรง ซึ่งสมการการถดถอยเหล่านี้สามารถทำนายค่าจากการทดลองก่อนข้างจะแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 4 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองนี้มีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง

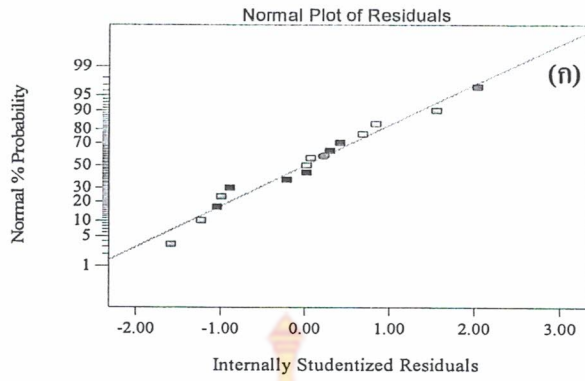
#### 4.3.3 ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองถดถอยพบว่า ค่าการดูดซับน้ำ (WA) มีรูปแบบจำลองที่เหมาะสมคือ รูปแบบจำลองเชิงเส้น โค้ง ซึ่งรูปแบบนี้มีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เช่นเดียวกันพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้:

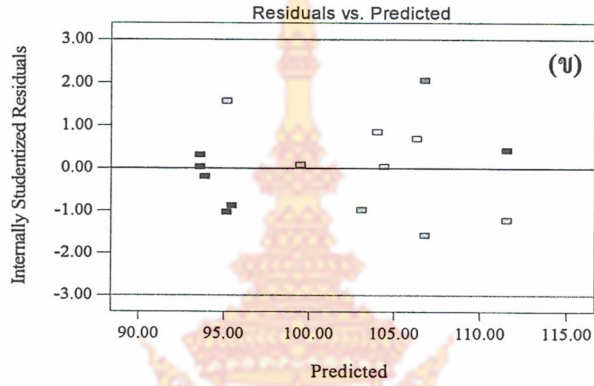
$$\begin{aligned} WA = & 1.72223RWS + 2.91103PFF + 15.56363CS - 0.025712RWS*PFF \\ & - 0.22116RWS*CS - 0.19692PFF*CS \end{aligned} \quad (4.4)$$

สมการถดถอยนี้แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นใยผลตาล โตนด จี้เกลือไม่ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง มีค่าเป็นบวกทั้งหมด ซึ่งหมายความว่า การเพิ่มขึ้นของเส้นใยผลตาล โตนด จี้เกลือไม่ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำของแผ่นใยไม่อัดเพิ่มขึ้น จากสมการถดถอยของค่าการดูดซับน้ำสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.3(ง) จากกราฟแสดงให้เห็นว่าถ้าจี้เกลือไม่ยางพาราเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเส้นใยผลตาล โตนดเพิ่มขึ้น และแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง

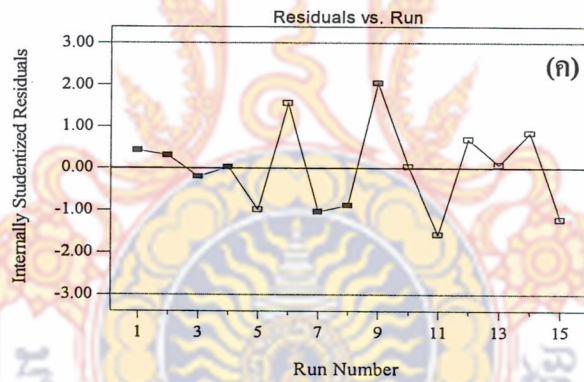
Design-Expert® Software  
WA  
Color points by value of  
WA:  
112.5  
93.0



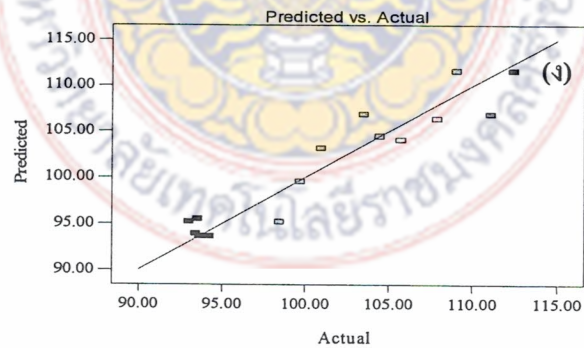
Design-Expert® Software  
WA  
Color points by value of  
WA:  
112.5  
93.0



Design-Expert® Software  
WA  
Color points by value of  
WA:  
112.5  
93.0



Design-Expert® Software  
WA  
Color points by value of  
WA:  
112.5  
93.0



รูปที่ 4.5 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของสมบัติการดูดซับน้ำ (ก) กราฟ Normal probability (ข) กราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง (ค) กราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และ (ง) กราฟค่าทำนายต่อค่าการทดลองจริง



#### 4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการพองตัวของแผ่นใยไม้อัด

##### 4.4.1 การวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมของสมบัติการพองตัว

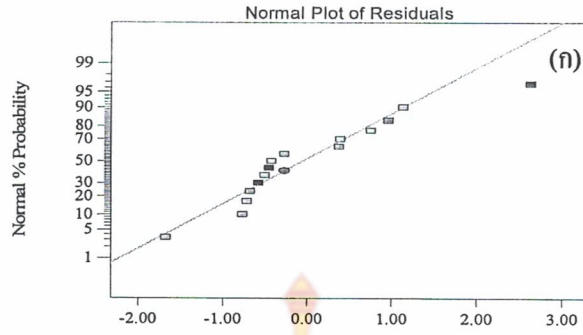
จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตาราง 4.2 พบว่าการพองตัวมีความเหมาะสมกับรูปแบบจำลองเชิงเส้นตรง (Linear model) เพราะจากการเปรียบเทียบผลทางสถิติพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมมีค่า Adj-R<sup>2</sup> และค่า Pred-R<sup>2</sup> สูง เช่นเดียวกันจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า รูปแบบจำลองที่เหมาะสมนี้มีค่า P-value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05) ซึ่งมีความหมายว่ารูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูล และค่า R<sup>2</sup>, Adj-R<sup>2</sup> และ Pred-R<sup>2</sup> ที่แสดงในตารางที่ 4.2 ถูกใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลค่า Adj-R<sup>2</sup> ของค่าการพองตัวมีค่าใกล้เคียงกับค่า R<sup>2</sup> ซึ่งเป็นการยืนยันให้เห็นว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม ในส่วนของค่า Pred-R<sup>2</sup> พบว่าสมบัติการพองตัวแสดงค่า คือ 62.15% นั้นหมายความว่า รูปแบบจำลองที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 62.15%

##### 4.4.2 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับสมบัติการพองตัว

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองจากการทดลอง รูปที่ 4.6(ก) แสดงกราฟ Normal probability ของสมบัติการพองตัวและพบว่าอาจจะมีค่าบ้างค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ แต่ข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ รูปที่ 4.6(ข) แสดงกราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง พบว่าค่าเศษเหลือไม่มีความสัมพันธ์กับลำดับการทดลองที่เป็นแนวโน้มหรือมีความสัมพันธ์ที่สามารถคาดการณ์ได้ตลอดจนไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ รูปที่ 4.6(ค) แสดงกราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และพบว่าค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวที่ไม่มีแนวโน้มหรือรูปแบบที่แน่นอน เช่นเดียวกันค่าเศษเหลือมีการกระจายรอบๆ ค่าศูนย์ที่เท่าๆ กัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนและคุณสมบัติด้านความเป็นอิสระ และรูปที่ 4.6(ง) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง พบว่าข้อมูลอาจจะมีค่าบ้างค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ และมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างกระจายตัวคล้ายจะเป็นเส้นตรง ซึ่งสมการการถดถอยเหล่านี้สามารถทำนายค่าจากการทดลองค่อนข้างจะแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 4 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง

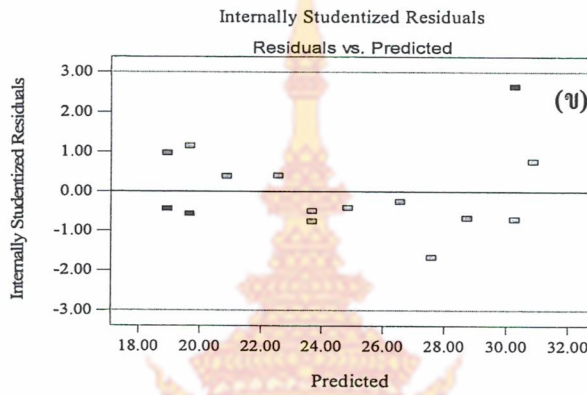
Design-Expert® Software  
TS (%)

Color points by value of  
TS (%):  
■ 36.1  
■ 18.0



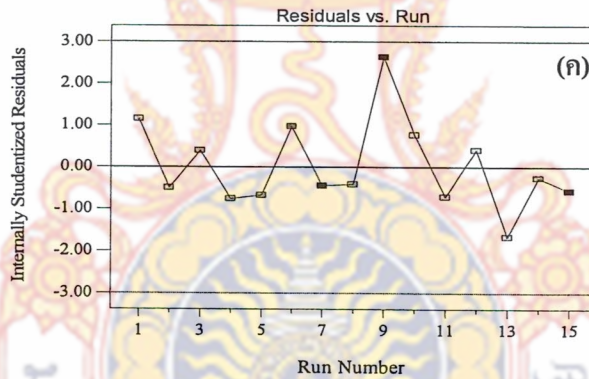
Design-Expert® Software  
TS (%)

Color points by value of  
TS (%):  
■ 36.1  
■ 18.0



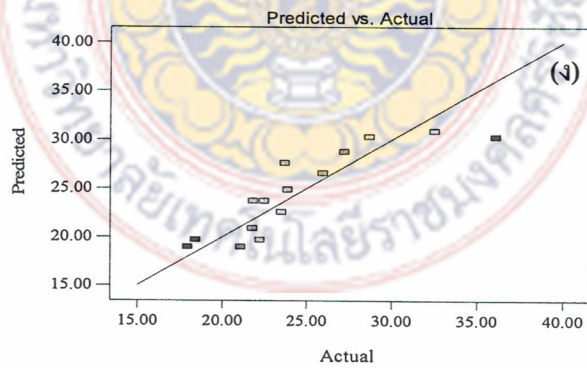
Design-Expert® Software  
TS (%)

Color points by value of  
TS (%):  
■ 36.1  
■ 18.0



Design-Expert® Software  
TS (%)

Color points by value of  
TS (%):  
■ 36.1  
■ 18.0



รูปที่ 4.6 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของสมบัติการพองตัว (ก) กราฟ Normal probability (ข) กราฟค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง (ค) กราฟค่าเศษเหลือต่อค่าที่ทำนาย และ (ง) กราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง

#### 4.4.3 ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการพองตัว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองถดถอยพบว่า ค่าการพองตัว (TS) มีรูปแบบจำลองที่เหมาะสมคือ รูปแบบจำลองเชิงเส้นตรง ซึ่งรูปแบบนี้มีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เช่นเดียวกันพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัวกับตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้:

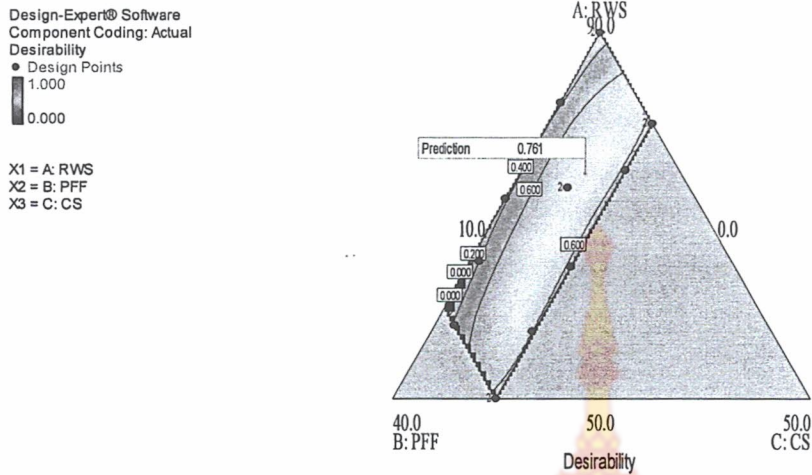
$$TS = 0.20431RWS + 0.58194PFF + 0.13049CS \quad (4.5)$$

สมการถดถอยนี้แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นใยผลตาล โตนด ขี้เลื่อย ไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง มีค่าเป็นบวกทั้งหมด ซึ่งหมายความว่า การเพิ่มขึ้นของเส้นใยผลตาล โตนด ขี้เลื่อย ไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้ค่าการพองตัวของแผ่นใยไม้อัดเพิ่มขึ้น จากสมการถดถอยของค่าการพองตัวสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.3(จ) จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ถ้าขี้เลื่อย ไม้ยางพารา เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการพองตัวลดลง และถ้าเส้นใยผลตาล โตนด เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการพองตัวเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันถ้าแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

#### 4.5 สูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตแผ่นใยไม้อัด

สูตรส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Design-Expert software พบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพคือ การขึ้นรูปโดยใช้เส้นใยผลตาล โตนด 9.1% ขี้เลื่อย ไม้ยางพารา 74.5% และแป้งมันสำปะหลัง 16.4% ซึ่งให้ค่าความพึงพอใจ 0.761 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และสูตรที่เหมาะสมนี้สามารถให้ค่าความแข็งแรงดัดเท่ากับ 8.3 MPa ค่ามอดูลัสการดัดเท่ากับ 1325 MPa ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเท่ากับ 0.9 MPa เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเท่ากับ 93% และเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำเท่ากับ 22.7%

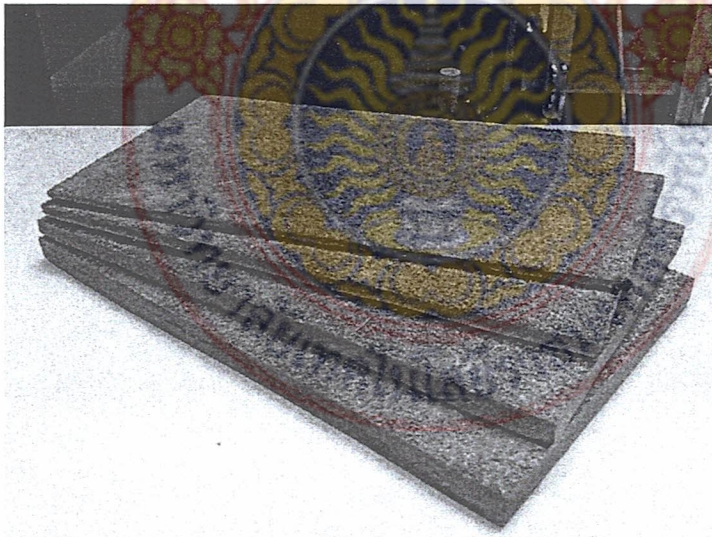




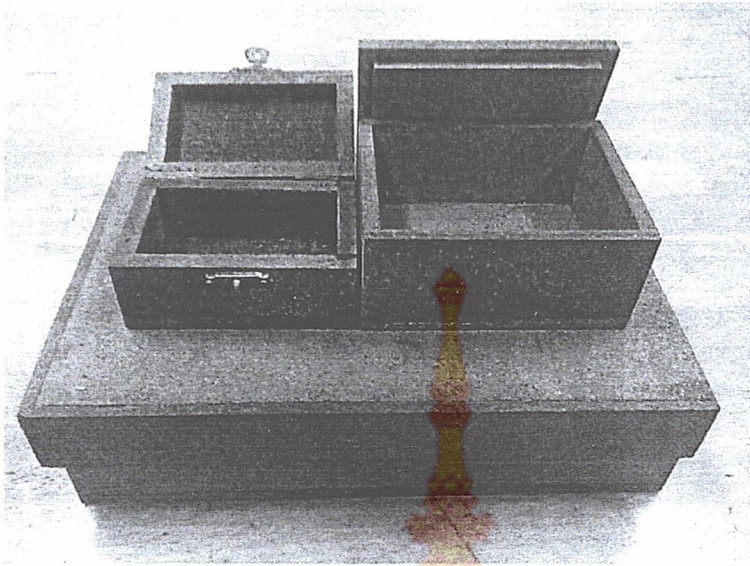
รูปที่ 4.7 กราฟโครงร่างค่าความพึงพอใจในสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตแผ่นใยไม้  
อัด

#### 4.6 การขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากสูตรที่เหมาะสมที่สุด

จากสูตรส่วนผสมระหว่างเส้นใยผลตาลโตนด จีเลื่อยไม้ยาพารา และแป้งมันสำปะหลังที่  
เหมาะสมที่สุด สามารถนำสูตรที่ได้นี้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 แผ่นใยไม้อัดจากสูตรที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.9 ผลิตภัณฑ์กล่องบรรจุภัณฑ์จากแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากเส้นใยผลตาลโดนด ซึ่ย่อยไม้  
ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบการทดลองมีตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบการทดลองประกอบด้วย เส้นใย ผลตาล โตนด จีเลื้อยไม้ยางพารา และแป้งมันสำปะหลัง เพื่อหาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงพัฒนาให้แผ่นปาร์ติเกิลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ผลทางสถิติ และวิธีพื้นผิวตอบสนองถูกประยุกต์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและหาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดถูกกระทำโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Design-Expert software (Version 8.0.6, Stat-Ease, Inc.) โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า จีเลื้อยไม้ยางพารา เส้นใยผลตาล โตนด และแป้งมันสำปะหลังมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติความแข็งแรงดัด มอดูลัสการดัด ความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า การดูดซับน้ำ และการพองตัว เช่นเดียวกันพบว่า การเพิ่มขึ้นของจีเลื้อยไม้ยางพารา เส้นใยผลตาล โตนด และแป้งมันสำปะหลังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติความแข็งแรงดัด มอดูลัสการดัด ความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า การดูดซับน้ำ และการพองตัวของแผ่นใยไม้อัด

ผลการทดสอบความแข็งแรงดัดพบว่า ถ้าจีเลื้อยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงดัดลดลง และถ้าเส้นใยผลตาล โตนดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันถ้าแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ผลการทดสอบค่ามอดูลัสการดัดพบว่า ถ้าจีเลื้อยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ามอดูลัสการดัดลดลง และถ้าเส้นใยผลตาล โตนดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันถ้าแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้น แต่สามารถเพิ่มได้ในระดับหนึ่ง เพราะถ้าเพิ่มเส้นใยผลตาล โตนดและแป้งมันสำปะหลังมากเกินไป จะส่งผลให้ค่ามอดูลัสการดัดลดลงได้ เช่นเดียวกัน

ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าพบว่า ถ้าจีเลื้อยไม้ยางพารา เส้นใยผลตาล โตนด และแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเพิ่มขึ้น แต่สามารถเพิ่มได้ในระดับหนึ่ง เพราะถ้าเพิ่มจีเลื้อยไม้ยางพารา เส้นใยผลตาล โตนด และแป้งมันสำปะหลังเพิ่มมากเกินไป จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าลดลงได้เช่นเดียวกัน



ผลการทดสอบการดูดซับน้ำพบว่า ถ้าซีลี้อยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเส้นใยผลตาล โตนดและแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง นอกจากนี้ผลการทดสอบการพองตัวพบว่า ถ้าซีลี้อยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการพองตัวลดลง และถ้าเส้นใยผลตาล โตนดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการพองตัวเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันถ้าแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการพองตัวเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Design-Expert software พบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพคือ การขึ้นรูปโดยใช้เส้นใยผลตาล โตนด 9.1% ซีลี้อยไม้ยางพารา 74.5% และแป้งมันสำปะหลัง 16.4% ซึ่งให้ค่าความพึงพอใจ 0.761 และสูตรที่เหมาะสมนี้สามารถให้ค่าความแข็งแรงตัดเท่ากับ 8.3 MPa มอดูลัสการตัดเท่ากับ 1325 MPa ค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับผิวหน้าเท่ากับ 0.9 MPa เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเท่ากับ 93% และเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำเท่ากับ 22.7% จากประสบการณ์ในการดำเนินงานวิจัยพบว่า การใช้เส้นใยผลตาล โตนดที่ 9.1% ให้ค่าสมบัติทางกลและทางกายภาพที่เหมาะสมแล้ว แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยผลตาล โตนดกับซีลี้อยไม้ยางพาราเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงลดลง ส่วนในเรื่องของซีลี้อยไม้ยางพารา ถ้าเพิ่มปริมาณซีลี้อยไม้ยางพารามากกว่า 74.5% จะส่งผลให้แผ่นใยไม้อัดมีความแข็งแรงแต่จะมีความเปราะ แต่ถ้ามีปริมาณที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างซีลี้อยไม้ยางพารากับเส้นใยผลตาล โตนดมากขึ้นจึงทำให้แผ่นใยไม้อัดมีความเหนียวแต่จะไม่มี ความแข็งแรง และในส่วนของแป้งมันสำปะหลัง ถ้ามีปริมาณสูงกว่า 16.4% ส่งผลให้แป้งมันสำปะหลังทำปฏิกิริยากับความร้อนได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ (แป้งไม่สุก) แต่ถ้ามีปริมาณที่น้อยเกินไป ประสิทธิภาพการยึดเกาะระหว่างเส้นใยผลตาล โตนดกับซีลี้อยไม้ยางพาราลดลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สูตรส่วนผสมที่เหมาะสมที่ได้จากการทำยานี้มีความเหมาะสมแล้ว

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังนี้

5.2.1 การนำวัตถุดิบมาใช้ในการผลิตนั้นต้องมีการจัดเก็บที่ดีเพราะวัตถุดิบมีความชื้นสูงจะส่งผลให้เกิดการระเหิดขึ้น เนื่องจากเกิดแรงดันแก๊สในระหว่างการอัดขึ้นรูปขึ้นงาน

5.2.2 ควรทำการทดสอบแผ่นตัวอย่างที่มีความหนาหลายๆ ขนาด

5.2.3 ควรมีการทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric analysis; TGA) เพื่อวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของวัสดุเมื่อสัมผัสกับความร้อน

## บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานโครงการสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. (2556). *คู่มือจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ตามพระราชดำริ*.
- [2] ลักษณะพร โรจน์พิทักษ์กุล. (2550). *การพัฒนารูปแบบการอนุรักษ์และส่งเสริมผลผลิตจากศาลโตหนด*. สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์.
- [3] นัตริชัย แถมเงิน. (2545). *การผลิตแผ่นเส้นใยอัดซีเมนต์โดยใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] สราวิน ปัญจะพลินกุล. (2548). *การศึกษาวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยธรรมชาติจากพืช*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] กิตติศักดิ์ บัวศรี. (2550). *การพัฒนาแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร*. วิทยาลัยสารพัดช่างกาญจนบุรี สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.
- [6] นุสรินทร์ อินทรกำแหง ณ ราชสีมา. (2550). *การพัฒนาแผ่นซีเมนต์เยื่อกระดาษผสมเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์*. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] กฤษดา คงเดิม. (2552). *การศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเศษเหลือของปาล์มน้ำมัน*. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [8] วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัดน์ และนิคม แผลมสัก. (2553). *แผ่นใยไม้อัดโดยไม่ใช้กาวจากขานอ้อย*. ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้ สถาบันวิจัยและพัฒนา ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [9] ปรัชญา ประกอบสุข. (2554). *นวัตกรรมเส้นใยคาร์บอน*. ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้ สถาบันวิจัยและพัฒนา ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- [10] ปราโมทย์ วีรานุกูล และคณะ. (2524). *การใช้กากมะพร้าว ต้นข้าวโพด และเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุประกอบชีวภาพทดแทนไม้ในแผ่นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง*. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [11] อมเรศ บกสุวรรณ. (2554). *การผลิตแผ่นใยไม้อัดเทียมจากโพลีเอทธิลีนผสมเส้นใยเปลือกทุเรียน*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [12] ปิติศักดิ์ ตรีวงศ์ และคณะ. (2554). *การประยุกต์ใช้แผ่นใยไม้อัดเป็นฝ้าเพดานกันความร้อน*. ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [13] วันทนา เพ็ชรรัตน์. (2533). *ไม้อัดซีเมนต์*. อุตสาหกรรมสาร ประจำเดือนพฤษภาคม ศูนย์บริการข้อมูลอุตสาหกรรมมูลนิธิ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [14] ชาญชัย สิริเกษมเลิศ. (2547). *การใช้ประโยชน์ไม้ชั้นพื้นฐาน*. สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.
- [15] ชัยภัทร์ รัชกุลปต์. (2542). *เศรษฐกิจการผลิตไม้ยางพาราของประเทศไทย*.
- [16] โสภิตา บุญเอนกทรัพย์ และคณะ. (2542). *สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ*.
- [17] ณรงค์ เฟ็งปรีชา. (2517). *กาวสำหรับงานไม้*. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.
- [18] Japanese Industrial Standard (JIS). (2003). *Fiberboard*. Translated and Published by Japanese Standards Association.
- [19] กัลยาณี เต็งพงศธร. (2550). *การทดลองแบบผสม (Mixture Design)*. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.