

วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร  
**Research and Development of Fiberboard from Agricultural Residues**

ศิริพร เต็งรัง\* สุปรียา สุขเกษม ประยูร เอ็นมาก กนกศักดิ์ ลอยเลิศ

Siriporn Tengrang\* Supreeya Sukhasem Prayoon Enmak Kanoksak Loylerd

.....

**Abstract**

This study aimed to produce the fiberboard from agricultural residues; husk of durian fruit (monthong and chanee) and banana pseudo-stem (namwa and khai). The agricultural residues were selected from best properties, which monthong husk and namwa pseudo-stem were selected because monthong husk had highest holocellulose and lignin was 53.7% of 12.3% and pseudo-stem of namwa had highest of fiber length was 4.01 mm. Afterthat monthong husk and namwa pseudo-stem were extracted for cellulose using sodium hydroxide and then lignin removed with hydrogen peroxide. The percent yield of cellulose from husk of durian fruit and banana pseudo-stem was 21.51% and 20.25% whereas the yield of cellulose after bleaching was 84.80% and 74.75%. The cellulose of durian husk was selected to produce the fiberboard by hot compression molding. The suitable of press temperature was 160 °C because the fiberboard was best forming without glue and best properties following Thai industrial standard: 966-2547, that not significantly different from 170 °C and 180 °C. Fiberboard was added sizing agent (AKD) at 1.25, 2.5, 3, 4 and 5% (w/w). The results of 3% of AKD shown greater thickness swelling (%) was 1.83%. Afterward, Monthong husk fiber was processed to 7 inch plate by hot compression molding at 160 °C, 150 psi and 5 min. The plate from unbleched fiber was best forming than bleached fiber but plate from bleached fiber was best physical properties; density was 573.44 kg/m<sup>3</sup>, moisture content was 0.39%, thickness swelling 89.68%, Water Absorption was 294.09% and time for absorption of 0.05 cm<sup>3</sup> water was morethan 2 hrs. Mechanical properties of Plate from unbleached fiber were compression strength at Top and bottom were 2.97 and 3.28 kF, Burst Strength was 419 kPa, Puncture resistance was 0.66 J, Tensile Strength was 9.63 kN/m and Elongation was 1.72 %, which cannot test in plate from bleched fiber. The results indicated that properties of fiberboard plate from agricultural residues lower than plate from baggase but plate from bleched fiber had could be a potential for development.

**Keywords:** durian husk, fiberboard, fiberboaed plate, packaging

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าโดยผลิตเป็นแผ่นใยอัดและประยุกต์เป็นบรรจุภัณฑ์งานใยอัด ทำการทดลองที่สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2554-2556 โดยศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้ที่สนใจ คือ เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองและชะนี และต้นกล้วยพันธุ์น้ำว้าและไข่ พบว่าเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณ โอลิโกเซลลูโลสและลิกนินสูงสุด 53.7 และ 12.3% ต้นกล้วยน้ำว้ามีความยาวเส้นใยสูงสุด 4.01 mm. จึงนำมาเตรียมเส้นใยโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M พบว่าเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยมีเซลลูโลส 21.51 และ 20.25% เมื่อฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% พบว่าเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยเหลือเซลลูโลสหลังฟอก 84.80 และ 74.75% จึงเลือกเปลือกทุเรียนไปผลิตแผ่นใยอัด โดยนำแผ่นเส้นใยเปลือกทุเรียนไปอัดขึ้นรูปแบบอัดร้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแรงดันสูงโดยไม่ใช้ตัวประสาน เป็นเวลา 5 นาที และทดสอบคุณสมบัติตาม มอก. 966-2547 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปคือ 160 °C เนื่องจากแผ่นเส้นใยขึ้นรูปได้ดีและมีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้อุณหภูมิ 170 และ 180 °C จากนั้นศึกษาปริมาณสารกันซึม AKD ที่เหมาะสม โดยเติม AKD ปริมาณ 1.25 2.5 3 4 and 5% โดยน้ำหนักเยื่อ พบว่า AKD ปริมาณ 3% เหมาะสมที่สุด เนื่องจากแผ่นใยมีการพองตัวทางความหนาแน่นที่สุด 1.83% มีการดูดซับน้ำและความชื้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการเติม AKD ปริมาณ 4 และ 5% จากนั้นผลิตแผ่นใยเป็นบรรจุภัณฑ์งานใยอัด โดยนำแผ่นเส้นใยเติม AKD ปริมาณ 3% อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 °C ความดัน 150 psi เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้แม่พิมพ์รูปจาน พบว่าเส้นใยไม่พองขึ้นรูปได้ดีกว่าเส้นใยฟอก ไม่มีรอยฉีกขาดและการหลุดร่วงของเส้นใย แต่งานใยอัดฟอกมีคุณสมบัติทางกายภาพดีกว่า คือ มีความหนาแน่น 573.44 kg/m<sup>3</sup> มีความชื้น 0.39% มีการพองตัวทางความหนาแน่น 89.68% มีการดูดซับน้ำ 294.09% และใช้เวลาในการดูดซับน้ำปริมาตร 0.05 cm<sup>3</sup> นานกว่า 2 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ ส่วนงานใยอัดไม่พอกมีความต้านแรงกดด้านบนและด้านล่าง 2.97 และ 3.28 kF ความต้านแรงดันทะลุ 419 kPa ความต้านแรงที่มทะลุ 0.66 J ความต้านแรงดึงขาด 9.63 kN/m และการยืดตัว 1.72 % ซึ่งคุณสมบัติโดยรวมของงานใยอัดจากเปลือกทุเรียนยังดีกว่างานชานอ้อย แต่งานใยอัดจากเส้นใยฟอกมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพสามารถแข่งขันกับงานชานอ้อยได้

**คำหลัก:** เปลือกทุเรียน แผ่นใยอัด งานใยอัด บรรจุภัณฑ์

## คำนำ

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศไทยมีจำนวนมาก เช่น ชานอ้อย ใบสับปะรด ฟางข้าว และใบมะพร้าว ซึ่งได้มีการนำมาเพิ่มมูลค่าในระดับอุตสาหกรรมแล้ว และมีอีกหลายชนิดที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก เช่น เปลือกทุเรียน โดยจากการศึกษาของลือพงษ์และจรรยาพงศ์ (2552) พบว่าการทำทุเรียนทอดจากทุเรียนสด 1 ตัน มีเปลือกทิ้งสูงถึง 585.60 กิโลกรัม หรือ 58.60% และจากข้อมูลของศูนย์เศรษฐกิจการเกษตร (2555) พบว่าในปี 2555 มีการส่งออกทุเรียนแปรรูป 14,790 ตัน จึงทำให้มีเปลือกทุเรียนมากกว่า 8,667 ตัน ถูกทิ้งเป็นขยะส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเปลือกทุเรียนมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นองค์ประกอบหลักเหมือนชานอ้อย และไม่น่าจะนำมาเพิ่มมูลค่าได้ โดยในปัจจุบันวัสดุทดแทนไม้กำลังได้รับความนิยมเนื่องจากหาได้ง่าย ต้นทุนถูกและช่วยลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า สามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัดขึ้นรูป (Fiberboard) เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เฟอร์นิเจอร์ หรือฉนวน ซึ่งมีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมได้

แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard) คือ กลุ่มของวัสดุที่ทำจากเส้นใยหรือเยื่อไม้หรือทำจากเส้นใยของวัสดุที่มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก โดยการอัดร้อนหรือให้ความร้อนเพื่อให้ใยไม้ติดกันเป็นแผ่น ซึ่งอาจมีการใช้กาวหรือไมใช้กาวเป็นส่วนประกอบ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) โดยแรงยึดเหนี่ยวภายในส่วนใหญ่เกิดจากการสานตัวของเส้นใยรวมกับการยึดเหนี่ยวกันระหว่างเส้นใยเอง แต่อย่างไรก็ตามอาจต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อทำให้แผ่นใยไม้อัดมีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น สารต้านการซึมน้ำ (sizing agent) เป็นสารที่ช่วยทำให้แผ่นใยไม้อัดต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น ได้แก่ ไขผึ้ง (wax) สารส้มและชันสน (alum/rosin) และอัลคิลดีทินไดเมอร์ (Alkyl Ketene Dimer; AKD) สารเพิ่มความเหนียว ได้แก่ แป้งปรุงแต่ง (modified starch) และแป้งธรรมชาติ

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษานำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรหลายชนิดมาผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัด เช่น อัญชลีและคณะ (2550) ได้ศึกษาการเตรียมแผ่นใยไม้อัดโดยนำเส้นใยกากกล้วยน้ำว้ามาผสมโพลีพอลิไธรีนที่ใช้แล้ว อมเรศและคณะ (2551) ได้นำเส้นใยเปลือกทุเรียนมาผสมกับโพลีเอทธิลีนและอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น ใยไม้อัดเทียม พบว่าปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานการรับแรงดัดและความแข็งที่ผิวสูงขึ้น นพพันธ์ (2545) ได้นำเปลือกทุเรียนและใบมะพร้าวมาผลิตแผ่นขึ้น ใยไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำและทำเป็นฉนวนของกำแพงและฝ้าในอาคาร พบว่าช่วยทำให้การใช้พลังงานในอาคารลดลง สุภาพรและคณะ (2553) และ Wiyaratn *et al.* (2012) ได้ศึกษาโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบเส้นใยเปลือกทุเรียน ยางพาราและสารเติมแต่งอัลคิลดีทินไดเมอร์ (AKD) เพื่อพัฒนาแผ่นใยไม้อัดหนาแน่นปานกลาง พบว่าการเติม AKD ที่ร้อยละ 4 ต่อน้ำยงทำให้ยางพาราและเส้นใยเปลือกทุเรียนเชื่อมติดกัน และช่วยให้แผ่นใยไม้อัดดูดซึมน้ำลดลง เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งกลุ่มประเทศธุรกิจหลักๆ ได้ออกมาตรการทางด้านกฎหมายและภาษีอย่างชัดเจน เริ่มจากประเทศญี่ปุ่นได้ออกกฎหมายการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียว (Green Procurement) ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศ

เยอรมนีได้ออกนโยบายให้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับยกเว้นภาษี (แนวหน้า, 2552) เป็นต้น โดยวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรสามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์กลุ่มนี้ได้ เนื่องจากเป็นวัสดุจากธรรมชาติ เช่น ชานอ้อย มีการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์แล้ว ได้แก่ ภาชนะและกล่อง ซึ่งในกระบวนการผลิตไม่ใช้คลอรีนในการฟอกสีจึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นไม่แตกหักง่าย สามารถบรรจุของร้อนและเย็นได้ ใช้ได้กับตู้อบและเตาไมโครเวฟ ย่อยสลายได้ภายใน 45 วัน และผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสง UV (บริษัทบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551)

ดังนั้นการนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรมาอัดขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ นอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรแล้ว ยังตอบสนองต่อความต้องการใช้วัสดุหรือบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและป้องกันการกีดกันทางการค้าที่มีโทษภัยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

งานวิจัยนี้จึงได้นำเปลือกทุเรียนมาเพิ่มมูลค่า โดยสกัดเอาเส้นใยมาอัดขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮโดรลิกโดยไม่ใช้กาว เดิมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยทางการค้า

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์และสารเคมี

1. วัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมการเกษตร ได้แก่ เปลือกทุเรียนจากตลาดไท และต้นกล้วยจากศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัยและสำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
2. งานชานอ้อยทางการค้า
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide pellet, RPE-ACS)
4. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide 30%, Fisher)
5. โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate, Riedel-de Haen)
6. แมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium Sulfate, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
7. อัลคิลทีน ไคเมอร์; AKD (Eka DR D10, Eka Chemicals (Thailand) Ltd.)
8. โกลดูดความชื้น
9. ตะแกรงสแตนเลสสำหรับแยกเซลล์ูโลส
10. ตะแกรงสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว ขนาดช่องตะแกรง 300 เมช สำหรับเตรียมตัวอย่างก่อนอัดขึ้นรูป
11. แม่พิมพ์ขนาด 6×6 ตารางนิ้ว
12. แม่พิมพ์รูปจานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว
13. เครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮโดรลิก WABASH, บริษัท Intro Enterprise Co., Ltd.
14. เครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮโดรลิก En Mach Tablet Press

15. เครื่องหั่นย่อย robot coupe, CL60 บริษัท C.L. FoodS
16. เครื่องปั่นเอนกประสงค์ MOULINEX รุ่น DP705G
17. ตู้อบลมร้อน KOTTERMANN 2736
18. ตู้อบแห้งระบบหมุนเวียนอากาศ Cabinet Tray drier บริษัท ยูซิคอร์ป จำกัด
19. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler AE200
20. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง Mettler RM480 DeltaRange
21. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Magnetic Multistirrer, SBS A-08 Series B
22. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง พีเอช Meter UB-10, Denver Instrument
23. เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400
24. เครื่องวัดขนาด เวอร์เนียร์: SOMET
25. เครื่องวัดความหนา Dial Thickness Gauge, MOORE & WEIRHT

## วิธีการทดลอง

### 1. คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

นำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่สนใจมาศึกษาคุณสมบัติ และคัดเลือกเพื่อนำไปศึกษาต่อ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่อไปนี้

1.1) คุณสมบัติและองค์ประกอบของวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร ทดสอบโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดังต่อไปนี้

- a) ขนาดเส้นใย ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T233: 2006
- b) โสโลเซลลูโลส ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI Section
- c) อัลฟ่าเซลลูโลส ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 203 cm-99
- d) เบต้าเซลลูโลส ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 203 cm-99
- e) แกมมาเซลลูโลส ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 203 cm-99
- f) ลิกนิน ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 222 cm-02
- g) เพนโตซาน ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 223 cm-01
- h) ปริมาณเถ้า ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 211 cm-02
- i) การละลายในน้ำร้อน ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 207 cm-99
- j) การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซีน ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T211cm-02
- k) การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 221 cm-02

คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ที่มีเส้นใยยาว มีปริมาณเซลลูโลสสูง และมีสารแทรกน้อย

1.2) ศึกษาปริมาณเส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร เมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามวิธีของศิริพรและคณะ, 2555

นำวัสดุเหลือใช้ที่คัดเลือกจากข้อ 1.1) มาทำล้างด้วยน้ำสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยเครื่องหั่นย่อย อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C จากนั้นนำมาเตรียมเส้นใย ดังนี้

a) เตรียมเส้นใยไม่ฟอก: นำวัสดุเหลือใช้ที่แห้งแล้วมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง ปั่นด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์จนเส้นใยแยกออกจากกัน บีบน้ำออก อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C

b) เตรียมเส้นใยฟอก: นำเส้นใยไม่ฟอกมาต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 20 นาที ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 30% เดิมโซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟต ปริมาตร 2 และ 0.05% โดยน้ำหนักเส้นใย ปรับพีเอชให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์ ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C

คำนวณปริมาณเส้นใยที่เตรียมได้ แล้วคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ที่ให้ปริมาณเส้นใยสูงและเตรียมตัวอย่างได้ง่ายไปศึกษาต่อ

## 2. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูป

นำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 1. มาศึกษาต่อ โดย

2.1) เตรียมเส้นใยตามวิธีตามวิธีของศิริพรและคณะ, 2555 ดังข้อ 1.2)

2.2) เตรียมแผ่นเส้นใยก่อนขึ้นรูป (Preform) ทั้งเส้นใยฟอกและไม่ฟอก โดยนำเส้นใยจากข้อ 2.1) ปริมาณ 10 กรัม เติมน้ำ 1000 มิลลิลิตร ปั่นให้เส้นใยกระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ จากนั้นนำไปเทบนตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว (300 เมช) กระจายเส้นใยให้สม่ำเสมอ ทิ้งไว้ให้หมาดแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 °C ดัง Figure 1

2.3) ขึ้นรูปแผ่น preform โดยนำแผ่น preform ที่แห้งแล้ว (Figure 2) มาวางบนแม่พิมพ์ขนาด 6×6 in<sup>2</sup>หนา 4 mm. อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก WABASH ที่ความดัน 22.5 N/mm<sup>2</sup> เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปตามกรรมวิธีดังแผนการทดลองต่อไปนี้

วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 3 ซ้ำ 8 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 เส้นใยฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C

กรรมวิธีที่ 2 เส้นใยฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 °C

กรรมวิธีที่ 3 เส้นใยฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180 °C

กรรมวิธีที่ 4 เส้นใยฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 °C

กรรมวิธีที่ 5 เส้นใยไม่ฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C

กรรมวิธีที่ 6 เส้นใยไม่ฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 °C

กรรมวิธีที่ 7 เส้นใยไม่ฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180 °C

กรรมวิธีที่ 8 เส้นใยไม่ฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 °C

นำแผ่นใยอัดไปทดสอบคุณสมบัติ เพื่อคัดเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสม ดังนี้

a) ความหนา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547: วัดด้วยเครื่องวัดความหนาที่บริเวณกึ่งกลางของขอบตัวอย่างทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 mm.

b) ความหนาแน่น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547: ตัดตัวอย่างขนาด 40×40 mm<sup>2</sup> ตัวอย่างละ 5 ชิ้น นำไปชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม วัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความหนา วัดความกว้างและความยาวด้วยเวอร์เนียร์ นำไปคำนวณค่าดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น (kg/m}^3\text{)} = \frac{m}{V} \times 10^6$$

เมื่อ  $m$  = น้ำหนักตัวอย่าง (g) และ  $V$  = ปริมาตรตัวอย่าง (mm<sup>3</sup>)

c) ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547: ตัดตัวอย่างขนาด 40×40 mm<sup>2</sup> ตัวอย่างละ 5 ชิ้น นำไปชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ ( $m_1$ ) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 103±2 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ เก็บให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังอบ ( $m_2$ ) นำไปคำนวณค่าดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

d) การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน JIS A 5906-1994: ตัดตัวอย่างขนาด 40×40 mm<sup>2</sup> ตัวอย่างละ 5 ชิ้น นำไปชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ ( $W_1$ ) จากนั้นแช่ตัวอย่างในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชม. โดยตั้งตัวอย่างให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 mm. แต่ละชิ้นต้องห่างกันและห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 mm. จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นมาชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำ ( $W_2$ ) โดยไม่ต้องซับน้ำ จากนั้นนำไปคำนวณค่า ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

e) การพองตัวทางความหนาดตาม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547: ตัดตัวอย่างขนาด 40×40 mm<sup>2</sup> ตัวอย่างละ 5 ชิ้น ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาที่บริเวณกึ่งกลางของขอบตัวอย่างทั้ง 4 ด้าน วัดความหนาก่อนแช่น้ำ ( $t_1$ ) จากนั้นแช่ตัวอย่างในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชม. โดยตั้งตัวอย่างให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 25 mm. แต่ละชิ้นต้องห่างกันและห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 mm. จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด วัดความหนาที่ตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำ ( $t_2$ ) นำไปคำนวณค่า ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การพองตัวทางความหนา} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

### 3. การศึกษาปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสม

เตรียมแผ่นเส้นใยก่อนขึ้นรูป (Preform) โดยนำเส้นใย 10 กรัม เติมน้ำ 1000 มิลลิลิตร ปั่นให้เส้นใยกระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ เติมสารกันซึมชนิดอัลคิลทีนไคเมอร์ (AKD) โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB แปรปริมาณ AKD ใน 5 ระดับ คือ 1.25 2.50 3.00 4.00 และ 5.00% โดยน้ำหนักเส้นใย จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นกวนให้สารกันซึมกระจายตัว นำไปเทบนตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว (300 เมช) กระจายเส้นใยให้สม่ำเสมอ ทิ้งไว้ให้หมาดดัง Figure 1 แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 °C นำแผ่น preform มาทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน JIS A 5906-1994 ทดสอบการดูดซึมน้ำแบบ Drop test ตามมาตรฐาน มอก.321-2530 และทดสอบการพองตัวทางความหนาตามมาตรฐาน มอก. 966-2547 เพื่อคัดเลือกปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสม

### 4. ผลิตแผ่นใยอัดเป็นบรรจุภัณฑ์ (กรณีศึกษางาน)

เตรียมแผ่นเส้นใยก่อนขึ้นรูป (Preform) โดยเติมสารกันซึมตามปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 3. จากนั้นนำ Preform มาวางในแม่พิมพ์รูปงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว (Figure 3) อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบอัดโนมัติ En Mach Tablet Press ที่ความดัน 150 psi เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 2. จากนั้นนำงานใยอัดไปทดสอบคุณสมบัติ

### 5. ทดสอบคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์จากใยอัด (กรณีศึกษางาน)

ทดสอบคุณสมบัติของงานใยอัดจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรเปรียบเทียบกับงานชานอ้อยทางการค้า ดังนี้

- a) ความหนา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547
- b) ความหนาแน่น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547
- c) ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547
- d) การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน JIS A 5906-1994
- e) การพองตัวทางความหนาตาม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547
- f) ความต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D 828-97 ( Reapproved 2002) Tensile Properties of Paper Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron model 1123
- g) ความต้านแรงกด: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน ASTM D 642-00 ( Reapproved 2010) Determining Compressive Resistance of Shipping Containers Components, and Unit Loads ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron model 1123
- h) ความต้านแรงทิ่มทะลุ: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน TAPPI T 803 om-06 Puncture Test of Container board



- i) ความต้านแรงคันทะลุ: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน ISO 2759-2001(E) Board-Determination of bursting strength ด้วยเครื่อง Mullen Tester
- j) การดูดซึมน้ำแบบ Drop test: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน มอก. 321-2530 การทำกระดาษลูกฟูก

## 6. ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตงานใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตร เปรียบเทียบกับงานชานอ้อยตามท้องตลาด

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่สนใจ คือ เปลือกทุเรียนและต้นกล้วย เนื่องจากเปลือกทุเรียนถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากจากการบริโภคและแปรรูป ส่วนต้นกล้วยถูกตัดทิ้งหลังจากให้ผลผลิต ซึ่งทั้งเปลือกทุเรียนและต้นกล้วย มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสามารถนำมาศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ โดยจากการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบพบว่าเปลือกทุเรียนมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและลิกนินสูงกว่าต้นกล้วย แต่มีสารแทนนินน้อยกว่า โดยเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและลิกนินสูงที่สุด = 53.7 และ 12.3% รองลงมา คือ เปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนี = 51.6 และ 10.6% ต้นกล้วยไข่ = 49.5 และ 5.01% และต้นกล้วยน้ำว้า = 31.7 และ 2.72% ตามลำดับ แต่ต้นกล้วยมีความยาวเส้นใยมากกว่าเปลือกทุเรียน โดยต้นกล้วยน้ำว้ามีความยาวมากที่สุด = 4.01 mm. รองลงมาคือ ต้นกล้วยไข่ เปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนี และเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง = 3.17 1.86 และ 1.84 mm. ตามลำดับ (Table1) ซึ่งเส้นใยจากต้นกล้วยจัดเป็นเส้นใยยาวเนื่องจากมีความยาวในช่วง 3-5 mm. ส่วนเส้นใยจากเปลือกทุเรียนจัดเป็นเส้นใยสั้น (ดรรรชนี, 2556) และเมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลส ลิกนิน และความยาวเส้นใยจึงเลือกเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองและต้นกล้วยน้ำว้าไปศึกษาต่อ เพราะปริมาณเซลลูโลสสูงจะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง ปริมาณลิกนินสูงจะช่วยให้แผ่นใยอัดยึดติดกันได้ดี และเส้นใยที่ยาวจะทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรง

เมื่อนำเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองและต้นกล้วยน้ำว้ามาเตรียมตัวอย่างเพื่อสกัดเส้นใยพบว่าเปลือกทุเรียนเตรียมตัวอย่างได้ง่ายกว่า เนื่องจากหั่นได้ง่ายและไม่มียาง (Figure 4 และ Figure 5) และเมื่อนำมาสกัดเส้นใยโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M พบว่าเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยมีเซลลูโลสประมาณ 21.51 และ 20.25% ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง มีลักษณะเป็นเส้นใยสีน้ำตาล (Figure 6 (a) และ Figure 7 (a)) มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) = 45.13 และ 36.58 เนื่องจากการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลสซึ่งละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก เหลือส่วนของเอลฟาเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งลิกนินจะถูกกำจัดออกโดยการฟอก

ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยหลังการฟอกพบว่าเส้นใยขาวขึ้น (Figure 6 (b) และ Figure 7 (b)) คงเหลือน้ำหนัก 84.80 และ 74.65% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีค่า  $L^*$  = 91.54 และ 90.01

ดังนั้นจึงคัดเลือกเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองไปศึกษาต่อ เนื่องจากเตรียมตัวอย่างได้ง่าย และได้ปริมาณเส้นใยมากกว่า

## 2. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูป

เมื่อนำแผ่น preform จากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมาอัดขึ้นรูปที่ความดัน  $22.5 \text{ T/cm}^2$  เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 150 160 170 และ  $180^\circ\text{C}$  พบว่าทุกตัวอย่างขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดีโดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน เช่นเดียวกับการทดลองของวิวัฒน์และนิคม (2549) ที่ขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดจากชานอ้อย ได้โดยไม่ต้องใช้กาวด้วยการอัดร้อน ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลอง คือ  $160^\circ\text{C}$  เนื่องจากให้แผ่นใยอัดมีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า ดัง Table 2 โดยการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 170 และ  $180^\circ\text{C}$  ให้แผ่นใยอัดเส้นใยไม่ฟอกที่มีความชื้น = 3.50 1.11 และ 2.43% ตามลำดับ มีความหนาแน่น = 566.83 613.57 และ  $583.05 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ มีการพองตัวทางความหนา = 107.07 101.54 และ 90.24% ตามลำดับ ส่วนแผ่นใยอัดเส้นใยฟอก มีความชื้น = 4.18 4.32 และ 4.12% ตามลำดับ มีความหนาแน่น = 548.77 565.40 และ  $620.62 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ มีการพองตัวทางความหนา = 85.32 80.55 และ 71.80% ตามลำดับ

ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปสูงขึ้นมีผลทำให้เส้นใยเกิดแรงกระทำกันได้มากขึ้น ความชื้นลดลง ความหนาแน่นสูงขึ้น และการพองตัวทางความหนาลดลง โดยแผ่นใยอัดที่ได้มีลักษณะเรียบแข็ง ความหนาเฉลี่ย 3.60 mm. (Figure 8) จัดเป็นแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547) ซึ่งมีความหนาแน่นในช่วง  $400\text{-}800 \text{ kg/m}^3$  โดยแผ่นใยอัดเส้นใยฟอกมีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่าแผ่นใยอัดเส้นใยไม่ฟอก เนื่องจากเส้นใยไม่ฟอกยังมีสารแทรกเป็นองค์ประกอบทำให้เส้นใยเกิดแรงกระทำระหว่างกันได้ไม่ดี

## 3. การศึกษาปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสม

การเติมสารกันซึม (sizing agent) เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นใยอัด ซึ่งจากการทดสอบจับเวลาในการดูดซึมน้ำ 1 หยด (ทดสอบการดูดซึมน้ำโดยวิธี drop test) ของแผ่น preform ที่ไม่เติมสารกันซึม พบว่าน้ำซึมลงในแผ่น preform อย่างรวดเร็ว (Figure 9 (a)) เนื่องจากเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นส่วนประกอบจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ทำให้ดูดซึมน้ำได้ดี (มาลินี, 2553) และเมื่อหยดน้ำลงบนแผ่น preform ที่เติมสารกันซึมชนิด AKD พบว่าหยดน้ำไม่ซึมลงในแผ่น preform ในทันที (Figure 9 (b)) เนื่องจาก AKD สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของทั้งเส้นใยและน้ำ เกิดเป็นสารกลุ่มคีโตน (Garnier *et al*, 1998) โดยเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยเซลลูโลส (Zule and Dolenc, 2005) จึงทำให้เส้นใยดูดซึมน้ำได้น้อยลง (สุภาพร, 2553) ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณ AKD ที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ 3% ของน้ำหนักเส้นใย เนื่องจากแผ่น preform มีคุณสมบัติการพองตัวทางความหนาน้อยที่สุด 1.83% การดูดซึมน้ำ 257.59%

และเวลาในการดูดซึมน้ำ 1 หยด 129.67 นาที ซึ่งดีกว่าแผ่น perform ที่เดิม AKD ปริมาณ 1.25 และ 2.5% และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับแผ่น preform ที่เดิม AKD ปริมาณ 4 และ 5% ซึ่งมีการพองตัวทางความหนา 6.44 และ 13.47% การดูดซึมน้ำ 257.34 และ 196.90% และเวลาในการดูดซึมน้ำ 1 หยด 135.67 และ 118.33 นาที ดัง Table 3

#### 4. ผลิตแผ่นใยอัดเป็นบรรจุภัณฑ์ (กรณีศึกษางาน)

เมื่อนำแผ่น preform เส้นใยเดิม AKD ปริมาณ 3% ของน้ำหนักเส้นใย มาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิกที่อุณหภูมิ 160 °C ความดัน 150 psi เป็นเวลา 5 min โดยใช้แม่พิมพ์รูปจาน พบว่าเส้นใยไม่พอกสามารถขึ้นรูปได้ดีกว่าเส้นใยพอก (Figure 10) เนื่องจากเส้นใยไม่พอกยังมีลักษณะเป็น ส่วนประกอบ ซึ่งลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่เมื่อได้รับความร้อนสูงจะอ่อนตัวและเหนียวจึงช่วยให้เกิดการยึดกันของเส้นใย (กิตติพงศ์, 2543) โดยงานใยอัดจากเส้นใยพอกมีรอยฉีกขาดและมีการหลุดร่วงของเส้นใย เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของงานใยอัดกับงานชานอ้อยตามท้องตลาดพบว่างานใยอัดมีคุณสมบัติโดยรวมต่ำกว่ายกเว้นปริมาณความชื้นของงานใยอัด และเวลาในการดูดซึมน้ำแบบ drop test ของงานใยอัดพอก โดยคุณสมบัติของงานใยอัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดัง Table 4

เมื่อเปรียบเทียบงานใยอัดพอกกับงานใยอัดไม่พอก พบว่างานใยอัดพอกมีคุณภาพดีกว่า คือ มีความหนาแน่น 573.44 kg/m<sup>3</sup> มีความชื้น 0.39% มีการพองตัวทางความหนา 89.68% มีการดูดซึมน้ำ 294.09% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm<sup>3</sup> มากกว่า 2 ชั่วโมง ส่วนงานใยอัดไม่พอก มีความหนาแน่น 567.23 kg/m<sup>3</sup> มีความชื้น 1.07% มีการพองตัวทางความหนา 150.18% มีการดูดซึมน้ำ 500.65% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm<sup>3</sup> 192 วินาที เนื่องจากเส้นใยพอกมีสารแทรกน้อยจึงเกิดแรงกระทำระหว่างเส้นใยกับเส้นใยและเส้นใยกับ AKD ได้ดี คุณสมบัติจึงดี

เมื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่างานใยอัดพอกไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจากตัวอย่างมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถเตรียมเป็นชิ้นทดสอบได้ ส่วนงานใยอัดไม่พอกและงานชานอ้อยมีความต้านแรงกดด้านบน 2.97 และ 12.50 kF ความต้านแรงกดด้านล่าง 3.28 และ 11.80 kF ความต้านแรงดันทะลุ 419 และ 887 kPa ความต้านแรงทิ่มทะลุ 0.66 และ 1.12 J ความต้านแรงดึงขาด 3.10 และ 9.63 kN/m และการยืดตัว 1.72 และ 2.92% ซึ่งแสดงให้เห็นว่างานใยอัดจากเปลือกทุเรียนมีความแข็งแรงน้อยกว่างานชานอ้อยมาก อาจเนื่องจากชานอ้อยมีความยาวเส้นใยมากกว่าเปลือกทุเรียน อีกทั้งในกระบวนการผลิตอาจมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านของผลิตภัณฑ์

#### 5. ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตงานใยอัดไม่พอกจากเปลือกทุเรียน = 11.90 บาท/ใบ ซึ่งเป็นเพียงต้นทุนจากการสกัดเซลลูโลส (1.19 บาท/กรัม) เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานชานอ้อยในท้องตลาดพบว่าราคายังสูงกว่ามาก

## สรุปผลการทดลอง

### 1. คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่สนใจ คือ เปลือกทุเรียนและต้นกล้วย เนื่องจากถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากและมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจึงสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้ โดยเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณ โสโลเซลลูโลสและลิกนินสูงที่สุด 53.7 และ 12.3% ต้นกล้วยน้ำว้ามีความยาวเส้นใยสูงที่สุด 4.01 mm. จึงนำมาเตรียมเส้นใยโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M พบว่าเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยมีเซลลูโลส 21.51 และ 20.25% ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง เส้นใยมีสีน้ำตาล มีค่า  $L^*$  45.13 และ 36.58 หลังการฟอกพบว่าเส้นใยขาวขึ้น คงเหลือน้ำหนัก 84.80 และ 74.65% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีค่า  $L^*$  91.54 และ 90.01 ดังนั้นจึงเลือกเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองไปศึกษาต่อ เนื่องจากเตรียมตัวอย่างได้ง่าย มีปริมาณเส้นใยสูงกว่า และยังไม่ค่อยมีการนำไปใช้ประโยชน์

### 2. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูป

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปเส้นใยที่ความดัน  $22.5 \text{ T/cm}^2$  เป็นเวลา 5 นาที คือ  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  เนื่องจากขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดีโดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน แผ่นใยอัดมีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า โดยให้แผ่นใยอัดเส้นใยไม่ฟอกที่มีความชื้น 3.50 % มีความหนาแน่น  $566.83 \text{ kg/m}^3$  มีการฟองตัวทางความหนา 107.07 % ส่วนแผ่นใยอัดเส้นใยฟอก มีความชื้น 4.18% มีความหนาแน่น  $548.77 \text{ kg/m}^3$  มีการฟองตัวทางความหนา 85.32 %

### 3. การศึกษาปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสม

การเติมสารกันซึม (Sizing agent) เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นใยอัด ซึ่งสารกันซึมที่ใช้ คือ AKD โดยปริมาณ AKD ที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ 3% ของน้ำหนักเส้นใย เนื่องจาก preform มีคุณสมบัติการฟองตัวทางความหนาน้อยที่สุด 1.83% ดูดซึมน้ำ 257.59% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำ 1 หยด 129.67 นาที

### 4. ผลิตแผ่นใยอัดเป็นบรรจุภัณฑ์ (กรณีศึกษาจาน)

เมื่อนำ preform เส้นใยเติม AKD ปริมาณ 3% ของน้ำหนักเส้นใย มาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  ความดัน 150 psi เป็นเวลา 5 min โดยใช้แม่พิมพ์รูปจาน พบว่าเส้นใยไม่ฟอกขึ้นรูปได้ดีกว่าเส้นใยฟอก ไม่มีรอยฉีกขาดและการหลุดร่วงของเส้นใย แต่งานใยอัดฟอกมีคุณสมบัติทางกายภาพดีกว่า คือ มีความหนาแน่น  $573.44 \text{ kg/m}^3$  มีความชื้น 0.39% มีการฟองตัวทางความหนา 89.68% มีการดูดซึมน้ำ 294.09% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร  $0.05 \text{ cm}^3$  มากกว่า 2 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ ส่วนงานใยอัดไม่ฟอกมีความต้านแรงกดด้านบน 2.97 kF ความต้านแรงกดด้านล่าง 3.28 kF ความต้านแรงดันทะลุ 419 kPa ความต้านแรงทิ่มทะลุ 0.66 J ความต้านแรงดึงขาด 9.63 kN/m และการยืดตัว 1.72 % ซึ่งน้อยกว่างานจานอ้อย

เส้นใยพอลิเมอริกซ์ภาพในการนำไปศึกษาต่อเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพสามารถแข่งขันกับงานชานอ้อยได้ แต่อาจต้องปรับกระบวนการอัดขึ้นรูป เพิ่มปริมาณเส้นใยในการอัดขึ้นรูปแต่ละครั้ง เติมสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ เช่น สารเพิ่มความแข็งแรง สารช่วยยึดติด หรือผสมกับวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่นที่เป็นเส้นใยยาวเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น

## 5. ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตงานใยอัดไม่พอกจากเปลือกทุเรียน = 11.90 บาท/ใบ เมื่อเปรียบเทียบกับงานชานอ้อยในท้องตลาดพบว่าราคายังสูงกว่ามาก

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย สถาบันวิจัยพืชสวน ที่สนับสนุนต้นกล้วยน้ำว้า

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยยาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องอัดขึ้นรูป

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องอัดขึ้นรูป

ขอขอบคุณบริษัท Akzo Nobel Paints (Thailand Limited) สาขา Eka Bangkok ที่สนับสนุน Alkylketene dimer (AKD)

## เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ ตั้งกิจ. 2543. ความเหมาะสมของการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากทางใบ, ลำต้นและทะลายผลเปล้าของปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวิชาวนผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 230 หน้า

ดร.ชนัน พัทธวรกร. 2556. กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ. Industrial Process Chemistry. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 111 หน้า.

นพรัตน์ นานคงแนบ. 2545. การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำโดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. ผลงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

แนวหน้า. 2552. ใยโพลีพลาสติก โอกาสลดโลกร้อนโอกาสของคนไทย. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

<http://www.naewna.com/news.as?ID=153378>. สืบค้น 12 ตุลาคม 2552.

บริษัทบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม. 2551. บรรจุภัณฑ์เพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaitecno.net/dip/homephp?uid=39536>. สืบค้น 15 มกราคม 2556.

- มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์, ทิพย์รัตน์ พิฑูรทัศน์, พนิดา พุทธชาดสมบัติ และรัชมาลินี สุเริงฤทธิ์. 2010. สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโพลีเอทิลีนไตรีนผสมสารหน่วงไฟ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 15(2): 57-66.
- ลือพงษ์ ลือนาม และจรูญ เทียมประทีป. 2552. การศึกษาวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเตรียมเนื้อทุเรียนสำหรับการทอดกรอบ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. วารสารวิจัย 2(1): 36-40.
- วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัดน์ และนิคม แผลมศักดิ์. 2449. แผ่นใยไม้อัดโดยไม่ใช้กาวจากชานอ้อย. ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้ สถาบันวิจัยและพัฒนา ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:  
[http://www.rdi.ku.ac.th/kasetfair49/Technology/t\\_49/t\\_49.html](http://www.rdi.ku.ac.th/kasetfair49/Technology/t_49/t_49.html). สืบค้น 1 กรกฎาคม 2553.
- ศิริพร เต็งรัง, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และวิมลวรรณ วัฒนวิจิตร. 2555. การผลิตพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน. หน้า 363-383. ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม 2555. สำนักวิจัยแลพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- ศูนย์เศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 136 หน้า. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.oae.go.th/download/journal/trad56.pdf>. สืบค้น 12 มกราคม 2556.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง มอก. 966-2547. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 16 หน้า
- สุภาพร ศรีนางแย้ม, อัญญารัตน์ ประสันใจ, วิศิษฐ์ศรี วิยะรัตน์ และอนุชา วัฒนากา. 2553. โครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบเส้นใยเปลือกทุเรียน ยางพารา และสารเติมแต่ง. หน้า 803-807. ใน: การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8. 22-23 เมษายน 2553.
- อัญชลี แทนนิล, อัญชิสาว วงศ์ศิลารัตน์ และโสภณา อภิจิตสกุลชัย. 2550. การเตรียมแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยจากกล้วยน้ำว้าผสมโพลีเอทิลีนไตรีนที่ใช่แล้วโดยใช้กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อมเรศ บกสุวรรณ, ประชุม คำพุ่ม และกิตติพงษ์ สุวีโร. 2551. แผ่นไม้อัดเทียมจากโพลีเอทิลีนผสมเส้นใยเปลือกทุเรียน. หน้า 221-226. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13. 14-16 พฤษภาคม 2551. โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช พัทยา.
- Garnier, G., Wright, J. and Yu, G. L. 1998. Wetting mechanism of alkyl ketene dimers on cellulose films. Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects. 145. p.153-165.

Wiyaratn, W., Watanapa, A. and Phothitontimonfkol, T. 2012. Properties of Fiberboard from Durian Composite with Latex and Alkyl Ketene Dimer. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 7(1): 67-71.

Zule, J. and Dolenc, J. 2005. The Influence of The Chemical Composition of Synthetic Reactive Sizes on The Sizing Efficiency of Paper. *Material in Technology*. 39. 4 pp.

**Table 1** Physical and chemical properties of Agriculture residues

Properties	Unit	Durian Husk		Banana pseudo-stem	
		Monthong	Chanee	Namwa	Khai
Avg. fiber length	mm	1.84	1.86	4.01	3.17
Holocellulose	%	53.7	51.6	31.7	49.5
- Alpha-cellulose	%	36.9	35.7	20.7	34.8
- Beta-cellulose	%	9.00	7.12	2.75	3.86
- Gamma-cellulose	%	7.85	8.83	8.28	10.9
Lignin	%	12.3	10.6	2.72	5.01
Pentosan	%	17.9	14.8	7.58	8.76
Ash	%	5.30	5.02	7.68	16.0
hot water solubility	%	30.4	34.2	66.9	47.1
alcohol and benzene solubility	%	11.6	15.7	24.7	12.3
1%sodium hydroxide solubility	%	54.8	53.1	81.6	68.9

**Table 2** Effect of press temperature on properties of fiberboard from durian husk fiber.

Fiber Types	Press Temperature(°C)	Properties			
		Thickness (mm.)	Moisture Content (%)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	%Thickness swelling
Unbleached	150	3.60 <sup>a</sup>	3.32 <sup>c</sup>	566.25 <sup>ab</sup>	110.21 <sup>a</sup>
	160	3.67 <sup>a</sup>	3.50 <sup>c</sup>	566.83 <sup>ab</sup>	107.07 <sup>a</sup>
	170	3.70 <sup>a</sup>	3.11 <sup>c</sup>	613.57 <sup>ab</sup>	101.54 <sup>ab</sup>
	180	3.70 <sup>a</sup>	2.43 <sup>d</sup>	583.03 <sup>ab</sup>	90.24 <sup>cd</sup>
Bleached	150	3.60 <sup>a</sup>	4.92 <sup>a</sup>	583.49 <sup>ab</sup>	95.67 <sup>bc</sup>
	160	3.60 <sup>a</sup>	4.18 <sup>b</sup>	548.77 <sup>b</sup>	85.32 <sup>d</sup>
	170	3.60 <sup>a</sup>	4.32 <sup>b</sup>	565.40 <sup>ab</sup>	80.55 <sup>de</sup>
	180	3.60 <sup>a</sup>	4.12 <sup>b</sup>	620.62 <sup>a</sup>	71.80 <sup>e</sup>

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)



**Table 3** Effect of sizing agent (AKD) on properties of fiberboard preform from unbleached durian husk fiber.

Treatment	AKD (%)	Thickness (mm.)	Moisture Content (%)	Thickness swelling (%)	Water absorption (%)	Drop test (sec/H <sub>2</sub> O 0.05 cm <sup>3</sup> )
1	1.25	0.83 <sup>a</sup>	7.22 <sup>a</sup>	4.02 <sup>b</sup>	332.63 <sup>a</sup>	82.67 <sup>a</sup>
2	2.5	1.01 <sup>a</sup>	6.50 <sup>a</sup>	16.33 <sup>a</sup>	244.57 <sup>b</sup>	129.33 <sup>a</sup>
3	3.0	0.81 <sup>a</sup>	3.99 <sup>b</sup>	1.83 <sup>b</sup>	257.59 <sup>b</sup>	129.67 <sup>a</sup>
4	4.0	0.93 <sup>a</sup>	3.87 <sup>b</sup>	6.44 <sup>b</sup>	257.34 <sup>b</sup>	135.67 <sup>a</sup>
5	5.0	0.81 <sup>a</sup>	4.40 <sup>b</sup>	13.47 <sup>a</sup>	196.90 <sup>c</sup>	118.33 <sup>a</sup>

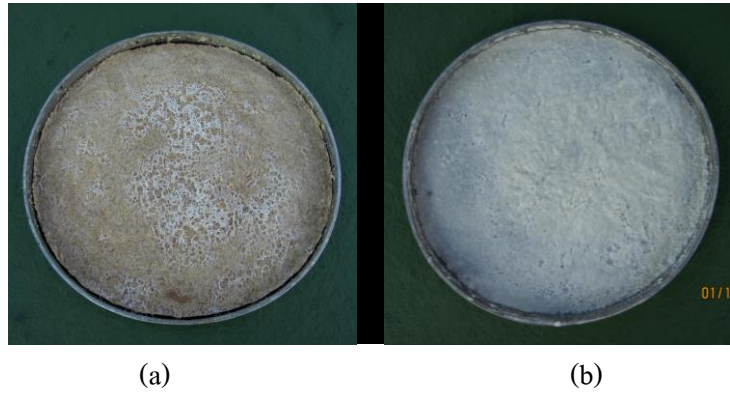
Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

**Table 4** Fiber board (plate) properties from durian husk fiber.

Properties	Commercial	Fiber board plate	
	Plate	unbleached fiber	bleached fiber
Weight (g)	10.36 <sup>a</sup>	8.80 <sup>b</sup>	8.40 <sup>b</sup>
Thickness (mm.)	0.52 <sup>b</sup>	0.66 <sup>a</sup>	0.65 <sup>a</sup>
Density (kg/m <sup>3</sup> )	657.43 <sup>a</sup>	567.23 <sup>b</sup>	573.44 <sup>ab</sup>
Moisture Content (%)	1.17 <sup>a</sup>	1.07 <sup>a</sup>	0.39 <sup>b</sup>
Thickness Swelling (%) at 24 hrs.	40.23 <sup>c</sup>	150.18 <sup>a</sup>	89.68 <sup>b</sup>
Water Absorption (%)	119.56 <sup>c</sup>	500.65 <sup>a</sup>	294.09 <sup>b</sup>
Drop test (sec/H <sub>2</sub> O 0.05 cm <sup>3</sup> )	> 2 hr	192	> 2 hr
Compression strength (Top) (kF)	12.50	2.97	N/A
Compression strength (Bottom) (kF)	11.80	3.28	N/A
Burst Strength (kPa)	887	419	N/A
Puncture resistance (J)	1.12	0.66	N/A
Tensile Strength (kN/m)	9.63	3.10	N/A
Elongation (%)	2.92	1.72	N/A

Means within the same row followed by different letter are significantly different (P<0.05)

N/A mean cannot test sample



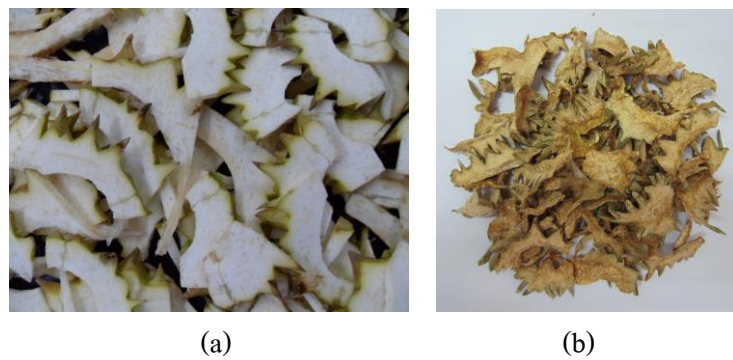
**Figure 1** Preparation of preform: a) unbleached fiber and b) bleached fiber



**Figure 2** Illustrates the preform after dried at 55 °C



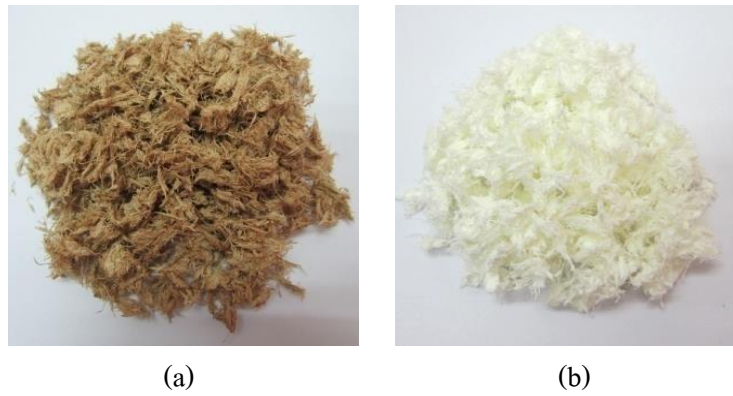
**Figure 3** Illustrates the compression mold



**Figure 4** Illustrates the durian husk (a) and after dried at 55 °C (b)



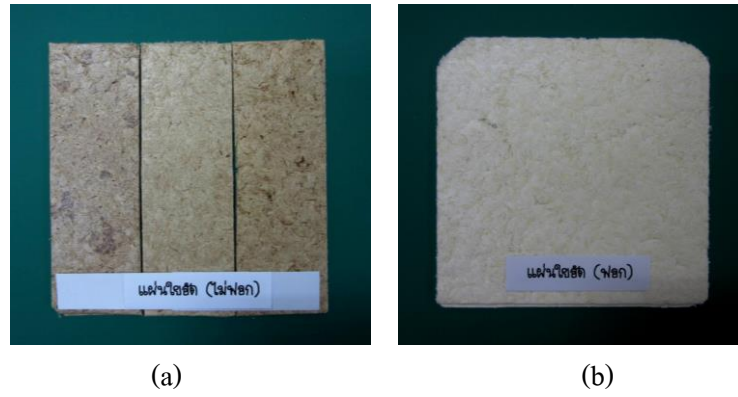
**Figure 5** Illustrates the banana pseudo-stem (a) and after dried at 55 °C (b)



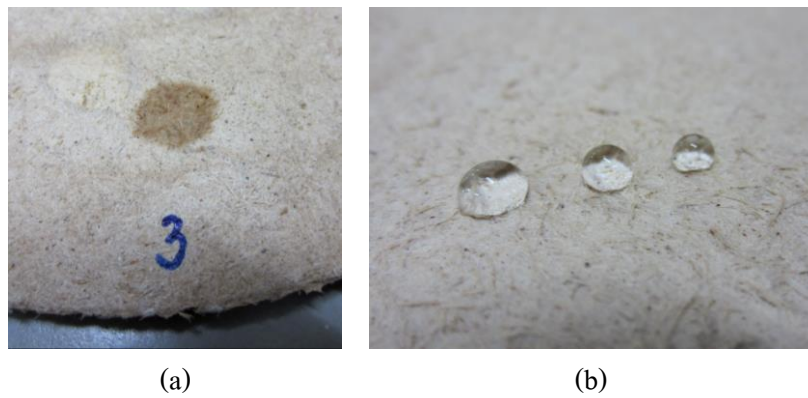
**Figure 6** Illustrates the cellulose from durian husk. (a) Cellulose was extracted with 1 molar NaOH at 80-90 °C for 1 hour. (b) Cellulose after bleaching with 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at 80-90 °C for 20 min.



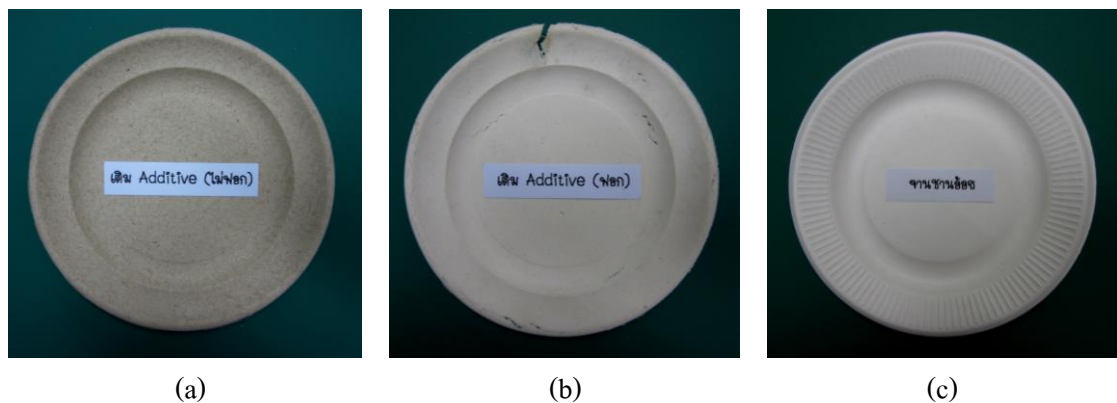
**Figure 7** Illustrates the cellulose from banana pseudo-stem. (a) Cellulose was extracted with 1 molar NaOH at 80-90 °C for 1 hour and (b) cellulose after bleaching with 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at 80-90 °C for 20 min.



**Figure 8** Illustrates the fiberboard from durian husk after compressed at  $22.5 \text{ T/cm}^2$ , 5 min; (a) fiberboard from unbleached fiber and (b) Fiberboard from bleached fiber.



**Figure 9** Effect of sizing agent on fiberboard preform after drop test; (a) No sizing agent added and (b) sizing agent added.



**Figure 10** Illustrates the fiberboard plates were compressed at  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ , P 150 psi, 5 min: (a) plate from unbleached fiber and AKD added (b) plate from bleached fiber and AKD added and (c) commercial plate from bagasse.