

การศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกลของบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากเส้นใยปาล์ม

โดยใช้น้ำยาง

**Study the Improvement of Mechanical Properties for Molded Pulp Packaging**

**from Palm Pressed Fiber with Latex**

สิทธิพงศ์ สารวงค์

Sidthipong Sathawong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

**Master of Science in Packaging Technology**

**Prince of Songkla University**

2552

๑ ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

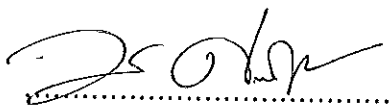
TS198.6.C8 ล63 2562 น.2
307652
127 ม.ค. 2552

(1)

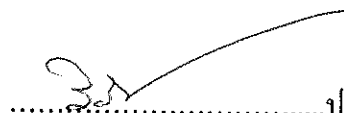
ชื่อวิทยานิพนธ์      การศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกลของบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากเส้นใย  
   ปาล์มโดยใช้น้ำยาง  
ผู้เขียน                      นายสิทธิพงศ์ สาธะวงศ์  
สาขาวิชา                    เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

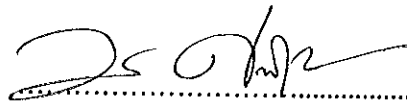
---

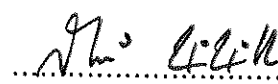
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

  
.....  
(ดร.วรัญญู ศรีเดช)


คณะกรรมการสอบ

  
.....ประธานกรรมการ  
(ดร.วิรัช ทวีปรีดา)

  
.....กรรมการ  
(ดร.วรัญญู ศรีเดช)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี พิสุทธิพิเชษฐ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์      การศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกลของบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากเส้นใย  
   ปาล์ม โดยใช้น้ำยาง  
ผู้เขียน                      นายสิทธิพงษ์ สาธะวงศ์  
สาขาวิชา                    เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์  
ปีการศึกษา                2551

### บทคัดย่อ

สมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของแผ่นเยื่อกราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์ม  
น้ำมันที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วสามารถปรับปรุงได้ด้วยน้ำยาง ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อดัดเยื่อ  
ด้วยกระบวนการกราฟท์ที่สภาวะ effective alkali เท่ากับร้อยละ 25 ของน้ำหนักไม้แห้ง อุณหภูมิใน  
การดัดเยื่อ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 นาทีจะทำให้ผลผลิตเยื่อและสมบัติความต้านทานแรงดึงดี  
ที่สุด คือ มีปริมาณผลผลิตเท่ากับร้อยละ 21.10 โดยน้ำหนักแห้ง และมีค่าความต้านทานแรงดึง  
เท่ากับ 1.086 kN/m โดยแผ่นเยื่อน้ำหนักมาตรฐาน 400 gsm ที่ไม่เคลือบน้ำยาง และแผ่นเยื่อที่  
เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์และน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอิน  
สูตรที่ 1 จะมีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 3.411 kN/m, 1.284-1.293 kN/m และ 1.504-1.508  
kN/m ตามลำดับ ระยะยืดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 20.06, 3313.08-3336.12 และ 2234.01-2248.51  
ตามลำดับ และค่าการดูดซับน้ำจะมีค่าเท่ากับ 105 g/m<sup>2</sup>, 9.00 g/m<sup>2</sup> และ 7.33 g/m<sup>2</sup> ตามลำดับ และ  
เมื่อนำเยื่อกราฟท์มาผสมกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 แล้วนำมา  
ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป พบว่า ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ไม่เคลือบน้ำยางและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป  
ที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์และน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาได  
อินสูตรที่ 1 จะมีค่าความต้านทานแรงกดเท่ากับ 221.47 N, 427.63 N และ 524.20 N ตามลำดับ ค่า  
ความแข็งแรงต่อการตกกระแทกจะมีค่าเท่ากับ 33.88, 30.87 และ 37.89 ตามลำดับ ค่าการดูดซับ  
พลังงานซึ่งวัดจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงจะมีค่าเท่ากับ 4.231 J, 6.472 J และ 4.978 J ตามลำดับ ทั้งนี้  
แผ่นเยื่อและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์สามารถ  
ปรับปรุงสมบัติทางกลและสมบัติการป้องกันการดูดซับน้ำได้โดยการเคลือบผิวด้วยน้ำยางคอม  
พาวด์และน้ำยางคอมโพสิต

<b>Thesis Title</b>	Study the improvement of mechanical properties for molded pulp packaging from palm pressed fiber with latex.
<b>Author</b>	Mr.Sidthipong Sathawong
<b>Major Program</b>	Packaging Technology
<b>Academic Year</b>	2008

### **ABSTRACT**

The mechanical and physical properties of kraft pulp sheets made from palm pressed fibre were improved by the latex. The experimental results suggested that the kraft cooking process with the effective alkali of 25% on dried wood basis, cooking temperature of 160 °C and cooking time of 90 minutes provided the best yield (21% d.b.) and tensile strength (1.086 kN/m). Tensile strength of the kraft pulp sheets (400 gsm) without latex coating and coating with the NR compound and the composite SBR latex were 3.411 kN/m, 1.284-1.293 kN/m and 1.504-1.508 kN/m, respectively. Elongation at break of the kraft pulp sheets (400 gsm) without latex coating and coating with the NR compound and the composite SBR latex were 20.06%, 3313.08-3336.12% and 2234.01-2248.51%, respectively. The water absorption of the kraft pulp sheets (400 gsm) without latex coating and coating with the NR compound and the composite SBR latex were 105 g/m<sup>2</sup>, 9.00 g/m<sup>2</sup> and 7.33 g/m<sup>2</sup>, respectively. The mixing of virgin kraft pulp and OCC recycled pulp at the ratio of 1:1 contributed the good properties of molded pulp making. The compression strength of the molded pulp without latex coating and coating with the NR compound and the composite SBR latex were 221.47 N, 427.63 N and 524.20 N, respectively. G values of the molded pulp without latex coating and coating with the NR compound and the composite SBR latex were 33.87, 30.87 and 37.89, respectively. The energy absorption of the molded pulp without latex coating and coating with the NR compound and the composite SBR latex were 4.231 J, 6.472 J and 4.978 J, respectively. It can be concluded that the mechanical properties and water resistance of pulp sheets and molded pulp of package cushion can be improved with the coating of NR compound and the composite SBR latex.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ  
ดร.วรัญญู ศรีเดช อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ในระหว่างการ  
ค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนอุดหนุนใน  
การค้นคว้าวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและความ  
สะดวกในระหว่างการทำการวิจัย

และท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณพ่อ ด้วยความเคารพยิ่ง ที่ปลุกฝังให้  
ข้าพเจ้าหมั่นศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเรื่อยมา และคอยให้กำลังใจ รวมถึงคำแนะนำที่เป็นประโยชน์  
ต่อข้าพเจ้า และขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ในคณะทุกท่านที่ช่วยเหลือแนะนำ และให้กำลังใจข้าพเจ้าใน  
ระหว่างที่ศึกษาในระดับปริญญาโทนี้ด้วยดีเสมอมา

สิทธิพงศ์ สารวงค์

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(6)
LIST OF TABLES.....	(7)
LIST OF FIGURES.....	(9)
บทที่	
1      บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	19
2      วิธีการวิจัย.....	20
วิธีดำเนินการ.....	20
วัสดุและอุปกรณ์.....	29
3      ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	38
4      บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	69
เอกสารอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	99

## LIST OF TABLES

Table	Page
1. Appearance of oil palm.....	5
2. The formulation of the composite SBR latex.....	22
3. The formulation of the NR compound.....	23
4. Some chemical properties of palm pressed fibre compared with the other fibres...	38
5. Some properties of Kraft pulp of palm pressed fibre.....	42
6. Some properties of pulp sheets coated with the composite SBR latex.....	46
7. Some properties of pulp sheets coated with the NR compound.....	50
8. G value of molded pulp with and without the latex coating.....	56
9. Gravitational potential energy of molded pulp with and without the latex coating.....	58
10. Weight of molded pulp.....	61
11. Apparent density of molded pulp.....	64
12. Percent yield of palm pressed fibre extracted with Kraft process.....	82
13. Tensile strength of palm pressed fibre extracted with Kraft process.....	83
14. Some physical and mechanical properties of pulp sheet coated with the composite SBR latex.....	84
15. Some physical and mechanical properties of pulp sheet coated with the NR compound.....	84
16. Percent elongation at break of pulp sheet coated with the composite SBR latex.....	85
17. Percent elongation at break of pulp sheet coated with the NR compound.....	85
18. Burst strength of pulp sheet coated with the composite SBR latex.....	86
19. Burst strength of pulp sheet coated with the NR compound.....	86
20. Compression strength of molded pulp.....	87
21. Compression strength of molded pulp coated with the latex.....	87
22. G value of molded pulp coated with the latex.....	87

### LIST OF TABLES (Cont.)

<b>Table</b>	<b>Page</b>
23. Gravitational potential energy of molded pulp coated with the latex.....	88
24. Resulting from analyzed variation of percent yield of palm pressed fibre extracted with Kraft process.....	88
25. Resulting from analyzed variation of tensile strength of palm pressed fibre extracted with Kraft process.....	89
26. Resulting from analyzed variation of tensile strength of pulp sheet coating with the composite SBR latex.....	90
27. Resulting from analyzed variation of tensile strength of pulp sheet coating with the NR compound.....	91
28. Resulting from analyzed variation of percent elongation at break of pulp sheet coating with the composite SBR latex.....	92
29. Resulting from analyzed variation of percent elongation at break of pulp sheet coating with the NR compound.....	93
30. Resulting from analyzed variation of burst strength of pulp sheet coating with the composite SBR latex.....	94
31. Resulting from analyzed variation of burst strength of pulp sheet coating with the NR compound.....	95
32. Resulting from analyzed variation of compression strength of molded pulp.....	96
33. Resulting from analyzed variation of compression strength of molded pulp coating with the latex.....	97
34. Resulting from analyzed variation of G value of molded pulp coating with the latex.....	98



## LIST OF FIGURES

Figure		Page
1.	Appearance of Dura palm.....	3
2.	Appearance of Pisifera palm.....	4
3.	Appearance of Tenera palm.....	4
4.	Cross section of oil palm fruit.....	5
5.	Chemical structure of natural rubber.....	7
6.	Chemical structure of styrene-butadiene rubber.....	8
7.	Products of molded pulp.....	10
8.	Accelerometer.....	16
9.	Setup of Accelerometer.....	17
10.	Shock pulse.....	17
11.	Kraft cooking process of palm pressed fibre.....	21
12.	Preparation of the composite SBR latex.....	23
13.	Preparation of the NR compound.....	24
14.	Palm pressed fibre after cleaning.....	29
15.	Cooking digester.....	29
16.	Disintegrator.....	29
17.	Pulp sheet machine.....	30
18.	Digital scale.....	30
19.	Pulp mold.....	31
20.	Hot air oven at 70 °C.....	31
21.	Oven at 105 °C.....	31
22.	Moisture analyzer.....	32
23.	Color analyzer.....	32
24.	Universal material testing machine.....	32
25.	Drop test machine.....	33
26.	Thickness scale.....	33

## LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure	Page
27. Accelerometer and software program.....	33
28. Chemicals dispensor.....	34
29. Ball mill.....	34
30. Homogenizers.....	34
31. Free falling dart impact test machine.....	35
32. Can seem projector.....	35
33. Percent yield of palm pressed fibre cooked with Kraft process.....	40
34. Tensile strength of palm pressed fibre cooked with Kraft process.....	41
35. Appearance of the composite latex coating made from SBR rubber of each formula.....	43
36. Tensile strength of pulp sheets coated with the composite SBR latex.....	43
37. Percent elongation at break of pulp sheets coated with the composite SBR latex.....	44
38. Burst strength of pulp sheets coated with the composite SBR latex.....	45
39. Appearance of the NR compound.....	47
40. Tensile strength of pulp sheet coated with the NR compound.....	48
41. Percent elongation at break of pulp sheet coated with the NR compound.....	49
42. Burst strength of pulp sheet coated with the NR compound.....	50
43. Appearances of molded pulp products made of recycle pulp, recycle and palm pulp mix and commercial pulp.....	52
44. Compression strength of molded pulp products.....	53
45. Appearance of molded pulp product with and without the latex coating.....	54
46. Compression strength of molded pulp product with and without the latex coating.....	55
47. G value of molded pulp with and without the latex coating.....	57

## LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure		Page
48.	The relation of acceleration and shock duration of molded pulp coated with the NR compound.....	57
49.	Gravitational potential energy of molded pulp coating with the latex.....	61
50.	SEM of no coating molded pulp made of palm pulp. (Mag. 150X).....	63
51.	SEM of no coating molded pulp made of palm pulp. (Mag. 200X).....	63
52.	SEM of no coating molded pulp made of OCC recycle pulp. (Mag. 150X).....	64
53.	SEM of no coating molded pulp made of OCC recycle pulp. (Mag. 200X).....	65
54.	SEM of molded pulp coating with the composite SBR latex. (Mag. 50X).....	66
55.	SEM of molded pulp coating with the composite SBR latex. (Mag. 150X).....	66
56.	SEM of molded pulp coating with the composite SBR latex. (Mag. 500X).....	67
57.	SEM of molded pulp coating with the NR compound. (Mag. 35X).....	68

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มน้ำมันเป็นไม้ยืนต้นใบเลี้ยงเดี่ยวที่จัดอยู่ในวงศ์ปาล์ม (*Palmae* หรือ *Arecaceae*) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดในทวีปแอฟริกา ปัจจุบันปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลกเนื่องจากมีปริมาณการผลิตและการบริโภคน้ำมันปาล์มเป็นอันดับสองรองจากน้ำมันถั่วเหลือง ประเทศไทยเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้าครั้งแรกในปี พ.ศ. 2511 จวบจนปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตปาล์มน้ำมันเป็นอันดับสี่ของโลก (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2546) โดยพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย จึงอาจกล่าวได้ว่า ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งน้ำมันปาล์มสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ทั้งที่เป็นอาหารและไม่เป็นอาหาร ผลผลิตทะลายสดปาล์มน้ำมันจะถูกส่งเข้าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งกระจายอยู่ตามจังหวัดต่างๆทั่วภาคใต้ของประเทศไทย โดยโรงงานเหล่านี้จะมีกำลังผลิตรวมที่สามารถรองรับทะลายปาล์มสดได้ประมาณ 395,017 ตันต่อเดือน (มนัส ชัยสวัสดิ์ และคณะ, 2532)

วัสดุเศษเหลือจากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เช่น เส้นใยปาล์ม ทะลายปาล์มจะถูกนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานความร้อนให้กับโรงงานหรือนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์เป็นส่วนใหญ่ซึ่งพบว่าวัสดุเศษเหลือดังกล่าวจะมีปริมาณมากเกินความต้องการ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดและเกิดปัญหามลภาวะกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการพัฒนาทางเลือกในการนำวัสดุเศษเหลือจากโรงงานปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์ทางด้านวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตภัณฑ์จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจและมีศักยภาพสูงในเชิงพาณิชย์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเศษเหลือจากโรงงานปาล์มน้ำมัน เนื่องจากปริมาณการใช้วัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตภัณฑ์อยู่ในอัตราที่สูงมาก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ที่มีอัตราการขยายตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ซึ่งโดยปกติแล้ววัสดุกันกระแทกในอุตสาหกรรมดังกล่าวจะใช้วัสดุสังเคราะห์ เช่น กระดาษ (Gominho *et al.*, 2000; Wanrosli *et al.*, 2006) โฟเบอร์บอร์ด (Khalil *et al.*, 2007) และ โฟมต่างๆ ซึ่งเป็นวัสดุที่จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศและวัสดุสังเคราะห์บางชนิดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเส้นใยปาล์มน้ำมันนี้เป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุเศษเหลือและน้ำยางซึ่งเป็นวัสดุ

ชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป็นวัตถุดิบภายในประเทศ โดยจะช่วยรักษาคุณภาพการค้าและลดการนำเข้าวัตถุดิบประเภทสำหรับผลิตภัณฑ์ได้ในระยะยาว (ประการ วีรกุล, 2532)

## การตรวจเอกสาร

### 1. ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชในตระกูลปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว อินทผาลัม ตาล โตนด มีชื่อสามัญที่เรียกแตกต่างกัน เช่น Oil palm, African oil palm, Macaw fat สำหรับประเทศไทยจะมีการเรียกชื่อปาล์มน้ำมันแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น เช่น มะพร้าวลิง มะพร้าวหัวลิง หมากมัน ลักษณะของปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวยืนต้น ลำต้นตั้งตรง อายุประมาณ 50-60 ปี ลำต้นสูง 40-50 ฟุต ลักษณะใบเป็นใบประกอบคล้ายมะพร้าว ออกผลเป็นทะลาย ผลมีลักษณะคล้ายหมากแต่เล็กกว่า ให้ผลผลิตปีละประมาณ 12-15 ทะลาย ออกผลปีละ 2 ครั้งประมาณ 6 เดือนต่อครั้ง ปาล์มน้ำมันชอบที่ราบต่ำของภูมิภาคแถบศูนย์สูตร ใกล้เคียงทะเลน้ำไม่ขัง เจริญเติบโตบนดินเหนียวปนทราย อากาศถ่ายเทสะดวก อุณหภูมิเฉลี่ย 23-29 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 70-80 ต้องการแสงแดดอย่างน้อย 1500-1900 ชั่วโมงต่อปี ฝนสม่ำเสมอประมาณ 80 นิ้วต่อปี (พรชัย เหลืองอากาศพงษ์, 2532)

ถิ่นกำเนิดเดิมของปาล์มน้ำมันอยู่ในทวีปแอฟริกา มีผู้นำมาปลูกในเอเชียครั้งแรกที่สวนพฤกษศาสตร์โบเกอร์ในอินโดนีเซีย ในปี พ.ศ. 2391 ต่อมาผู้นำไปปลูกในตอนเหนือของเกาะสุมาตรา ปรากฏว่าให้ผลผลิตสูง จึงมีการปลูกในเชิงการค้า และประเทศมาเลเซียได้กลายเป็นประเทศส่งออกน้ำมันปาล์มมากที่สุดในโลก (พรชัย เหลืองอากาศพงษ์, 2532)

สำหรับประเทศไทย พระยาประคิพัทธ์ภูบาล ได้นำปาล์มน้ำมันมาปลูกครั้งแรกเป็นไม้ประดับเมื่อ 70 ปีมาแล้วที่สถานีการยางคองหงส์ จังหวัดสงขลา ต่อมาได้มีการทำสวนปาล์มกันอย่างจริงจัง ที่อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา โดยหม่อมเจ้าอมรสมานลักษณ์กิติยากร แต่ต้องหยุดกิจการไปเพราะปัญหาการเมืองกับกลุ่มโจรจีน จนกระทั่งปี พ.ศ. 2512 นายเจียร วาณิชเริ่มทำสวนปาล์มน้ำมันอย่างจริงจังอีกครั้งที่จังหวัดกระบี่ ภายหลังได้ขยายไปสู่จังหวัดที่ใกล้เคียง ปัจจุบันประเทศไทยมีสวนปาล์มน้ำมัน จำนวนหลายแสนไร่ (ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี, 2532)

#### ลักษณะทั่วไป

ลำต้น (Trunk) : ลำต้นเดี่ยว โดยมีขนาดลำต้นประมาณ 30-50 เซนติเมตร

ใบ (Foliage) : ใบประกอบแบบขนนก เรียงสลับ ทางใบยาว 4-5 เมตร จำนวนมากเป็นพุ่มแน่น ใบย่อยรูปขอบขนาน กว้าง 2-5 เซนติเมตร ยาว 75-90 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลม โคนใบรูปปลีมน แผ่นใบสีเขียวเป็นมัน กาบใบติดแน่นขณะที่ต้นยังสูงไม่เกิน 6 เมตร

ดอก (Flower) : สีขาว ดอกเป็นช่อแบบช่อแยกแขนงระหว่างกาบใบ ดอกแยกเพศอยู่ร่วมต้น ช่อดอกสั้นและแน่น ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร

ผล (Fruit) : ผลสดแบบมีเนื้อเมล็ดเดียว ทรงกลมรี ขนาด 3-4 เซนติเมตร ผลแก่สีม่วงแดง หรือส้มแดง

### พันธุ์ปาล์ม

พันธุ์ปาล์มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่

1. พันธุ์ดูรา (Dura) เป็นพันธุ์ที่มีกะลาหนาประมาณ 2-8 มิลลิเมตร มีชั้นเปลือกนอกที่ให้น้ำมัน (mesocarp) ประมาณร้อยละ 35-60 ของน้ำหนักผลปาล์ม พันธุ์ดูราที่มีกะลาหนาเรียกว่า มาโครคาร์ยา (macrocarya) โดยมีกะลาหนาประมาณ 6-8 มิลลิเมตร ลักษณะผลปาล์ม น้ำมันพันธุ์ดูรา แสดงดัง Figure 1 ปาล์มน้ำมันพันธุ์ดูรานี้พบมากแถบตะวันออกไกล เช่น พันธุ์เดลีดูรา (Deli dura) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ปัจจุบันพันธุ์ดูรา มักใช้เป็นต้นแม่สำหรับปรับปรุงพันธุ์เพื่อผลิตลูกผสมเป็นการค้า

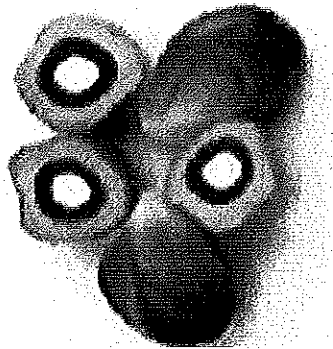


Figure 1. Appearance of Dura palm.

ที่มา : ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี (2532)

2. พันธุ์พิสิเฟอร่า (Pisifera) เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบางมากหรือบางครั้งไม่มีกะลาเมล็ดในเล็ก ขนาดผลเล็ก เปลือกนอกหนาประมาณ 7 มม. ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน ผลผลิตทะลายน้อย ต้นต่ำ ไม่เหมาะที่จะปลูกเป็นการค้า นิยมใช้พันธุ์พิสิเฟอร่าเป็นต้นพ่อสำหรับผลิตพันธุ์ลูกผสม ซึ่งลักษณะของผลปาล์มน้ำมันพันธุ์พิสิเฟอร่าแสดงดัง Figure 2



Figure 2. Appearance of Pisifera palm.

ที่มา : ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี (2532)

3. พันธุ์เทนอรา (Tenera) เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์แม่ดูราและพันธุ์พ่อฟิลิเฟอรา ลักษณะของผลปาล์มน้ำมันพันธุ์เทนอราแสดงดัง Figure 3 ซึ่งปาล์มน้ำมันพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบางประมาณ 0.5-4 มม. มีปริมาณของ mesocarp ประมาณร้อยละ 60-90 ของน้ำหนักผล ผลผลิตต่อทะลายสูงให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าสองชนิดแรก จึงนิยมปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน (ธีระ เอกสมทรา เมษฐ์ และคณะ, 2546)

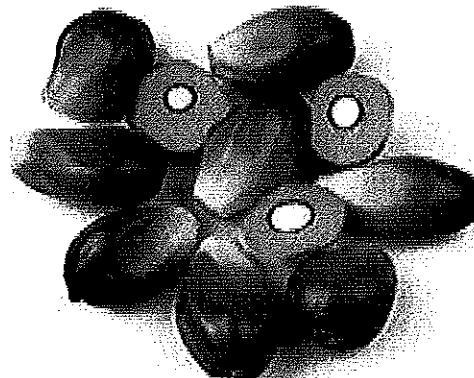


Figure 3. Appearance of Tenera palm.

ที่มา : ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี (2532)

#### การใช้ประโยชน์ปาล์มน้ำมัน

ผลปาล์ม สามารถนำไปสกัดเป็นน้ำมันเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

1. น้ำมันปรุงอาหาร
2. มاکารีนหรือเนยเทียม
3. น้ำมันปาล์มเติมไฮโดรเจน (Hydrogenated Palm Oil)

ทางปาล์มหรือกากปาล์มสามารถนำมาผลิตเป็นกระดาษหรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงลำต้นของปาล์มสามารถนำไปทำเป็นเฟอร์นิเจอร์หรือวัสดุก่อสร้าง

โดยทั่วไปผลของปาล์มน้ำมันจะประกอบด้วยเส้นใย (palm fibre) กะลา (nut) และเนื้อเมล็ดในปาล์ม (palm kernel) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพันธุ์ปาล์ม ซึ่งองค์ประกอบของผลปาล์มน้ำมันพันธุ์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดัง Table 1 และFigure 4 ตามลำดับ

Table 1. Appearance of oil palm.

Category	Dura	Tenera	Pisifera
1. Thickness of shell (mm.)	2-8	0.5-4	very slim
2. Palm fibre	absent	present	present
3. Oil palm fruit / bunch (%)	60	60	unfruitful
4. Mesocarp / oil palm fruit (%)	60-65	60-90	92-97
5. Shell / oil palm fruit (%)	25-30	8-15	very slim
6. Palm kernel / oil palm fruit (%)	4-20	3-28	3-8
7. Palm oil / mesocarp (%)	50	50	30
8. Palm oil / bunch	18-19.5	22.5-25.5	25-30

ที่มา : ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี (2532)

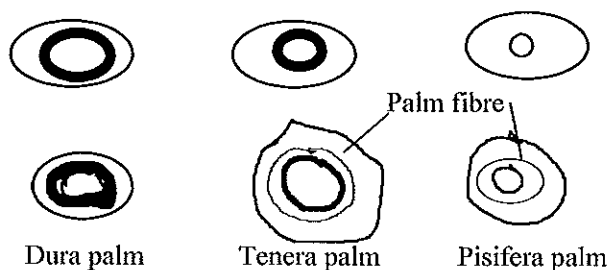


Figure 4. Cross section of oil palm fruit.

ที่มา : ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี (2532)



## 2. ยาง

ยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทที่สำคัญ ได้แก่ ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

### 2.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)

ยางธรรมชาติเป็นที่รู้จักและมีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นเวลานานแล้ว โดยปริมาณการใช้ประโยชน์จากน้ำยางจะเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ยางธรรมชาติได้มาจากการกรีดยางพารา ผลผลิตน้ำยางจะมีลักษณะเป็นของเหลว สีขาวคล้ายน้ำนม เรียกกันว่า “น้ำยางสด” ซึ่งมีเนื้อยางประมาณร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 45 ตามชนิดพันธุ์ยาง อายุต้นยางพารา และฤดูกาล ยางธรรมชาติที่ใช้กันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำยาง

น้ำยาง คือ สารแขวนลอยที่มีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่มีความเข้มข้น 25-45% (เสาวนีย์ ก่อวุฒิคุณรังษี, 2540) ไม่เหมาะกับการทำผลิตภัณฑ์และเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จะต้องมีการเอาน้ำออกจากน้ำยางสดก่อน จนมีเนื้อยางในปริมาณเข้มข้นร้อยละ 60 น้ำยางประเภทนี้เรียกว่า “น้ำยางข้น” ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับน้ำนม คือ สามารถบูดและเน่าได้ ดังนั้น จึงต้องมีการเก็บรักษา น้ำยางไม่ให้บูดเน่าโดยการใส่สารเคมี เช่น แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียปนกับสารเคมีอื่น โดยน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของน้ำยางและต้องใส่แอมโมเนียสูงถึง 0.7% น้ำยางข้นชนิดนี้เรียกว่า “HA Latex” (High Ammonia Latex) ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียน้อยนั้น จะมีแอมโมเนียอยู่ 0.2% และมีสารอื่น เช่น ZnO/TMTD 0.02% หรือ Boric acid 0.2% หรือ Santobrite 0.2% อยู่ด้วยเป็นต้น เรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า “LA Latex” (Low Ammonia Latex) (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530)

#### สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า cis-1,4-polyisoprene โดยมีองค์ประกอบหลักคือ isoprene ( $C_5H_8$ ) (แสดงดัง Figure 5) ซึ่ง n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะ โมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำ หรือเมื่อถูกยืดจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีก

ขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530)

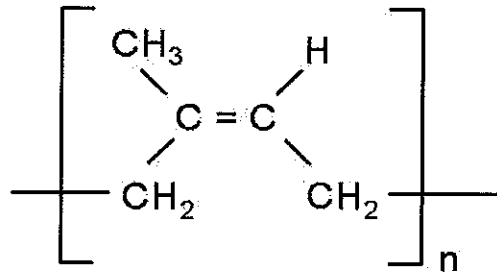


Figure 5. Chemical structure of natural rubber.

ที่มา : บุญธรรม นิธิอุทัย (2530)

ลักษณะเด่นอีกประการของยางธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติเชื่อมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจาก

- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชื่อมในด้านการทนต่อแรงดึง (tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขึ้นต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้า ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530)

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไว

ต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยังธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ผึ้ง น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่างๆ ดังกล่าว (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530)

## 2.2 ยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber : SBR)

ยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนเป็นยางสังเคราะห์ที่ใช้กันมากและสำคัญที่สุด เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 เมื่อมีการรู้จักวิธีพอลิเมอร์ไรซ์แบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization) โดยมีอนุภาคลิเธเรเป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา ซึ่งสามารถผลิตพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ในเวลาอันรวดเร็ว หลังจากนั้น 10 ปีในช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 รัฐบาลเยอรมันได้เร่งวิจัยและผลิตยางสังเคราะห์เพื่อทดแทนการนำเข้ายางธรรมชาติ ได้ทำการเตรียมโคพอลิเมอร์ระหว่างสไตรีนและบิวตาไดอีน โดยวิธีพอลิเมอร์ไรซ์แบบอิมัลชัน ได้ยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า "Buna S" และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีแสดงดัง Figure 6 หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1950 สามารถเตรียมยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนขึ้น โดยการพอลิเมอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 5 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ cold rubber (ยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนที่ผลิตที่อุณหภูมิสูง มีสมบัติดีกว่ายางธรรมชาติ) ต่อมาหลังจากสงครามเกาหลีสิ้นสุดลง ประเทศอุตสาหกรรมต่างๆ ได้สังเกตเห็นว่า การที่จะพึ่งพายางธรรมชาติเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน ฉะนั้นการพัฒนาของยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนจึงเพิ่มขึ้นอย่างไม่หยุดยั้ง และพัฒนาจนสามารถใช้แทนยางธรรมชาติได้เกือบหมด ทำให้ปัจจุบันนี้ยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนเป็นยางเอนกประสงค์ที่ใช้กันแพร่หลายทั่วโลก (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530)

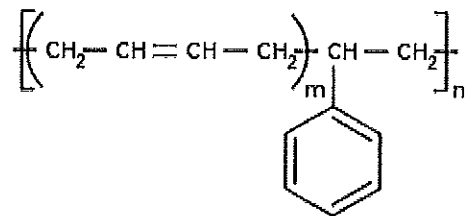


Figure 6. Chemical structure of styrene-butadiene rubber.

ที่มา : บุญธรรม นิธิอุทัย (2530)

### สมบัติทั่วไปของยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน

ยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนเป็นยางที่ใช้ในงานทั่วไป ราคาไม่แพง มีหลายเกรดขึ้นกับกระบวนการสังเคราะห์ ยางเอสปีอาร์เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติจะมีคุณภาพสม่ำเสมอกว่า มีสิ่งเจือปนน้อยกว่า และที่สำคัญคือ ไม่ต้องบดยางให้นิ่มก่อนทำการผสมเคมียาง เนื่องจากยางชนิดนี้ถูกสังเคราะห์มาให้มีน้ำหนักโมเลกุลที่ไม่สูงมากนัก จึงมีความหนืดที่เหมาะสม ทำให้สารเคมีกระจายตัวได้ดี ไหลได้ง่ายในระหว่างการขึ้นรูป มีแนวโน้มที่จะเกิดยางตายในระหว่างกระบวนการผลิตน้อยกว่า มีอัตราเร็วในการคงรูปช้ากว่าและถูกออกซิไดซ์ได้ช้ากว่ายางธรรมชาติ ทำให้สามารถผสมยางในเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิสูงกว่าได้ แม้ว่ายางเอสปีอาร์จะมีค่าความทนต่อแรงดึงและความทนต่อการฉีกขาดต่ำกว่ายางธรรมชาติ เนื่องจากไม่สามารถเกิดการตกผลึกได้เมื่อถูกยืด แต่ถ้ามีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็สามารถทำให้ค่าดังกล่าวสูงใกล้เคียงหรือต่ำกว่ายางธรรมชาติเพียงเล็กน้อย สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น การผลิตสายพาน พื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มสายไฟ และส่วนมากจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยางล้อยานพาหนะขนาดเล็กโดยใช้ผสมกับยางชนิดอื่นๆ เช่น ยางธรรมชาติ ยางบิวตาไดอีน(บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530)

### 3. คอมโพสิต

คอมโพสิต เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (matrix) และวัสดุเสริมแรง (reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลักจะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลัก ให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (base materials) อย่าง โลหะ เซรามิกส์ หรือ โพลีเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับ ความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภท โดยลำพัง ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. โพลีเมอร์คอมโพสิต (polymer matrix composites- PMC's) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นได้ง่ายของคอมโพสิตกลุ่มนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก “ไฟเบอร์กลาส” ต่าง ๆ โพลีเมอร์คอมโพสิตมีโพลีเมอร์ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติก หรือยางเป็นเนื้อหลัก และใช้วัสดุเสริมแรงได้หลายชนิด เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นลวดโลหะ เป็นต้น

2. เซรามิก คอมโพสิต (ceramic matrix composites- CMC's) เรารู้จักและคุ้นเคยกับคอมโพสิตกลุ่มนี้ดี คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ทราย เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไปของวัสดุกลุ่มนี้ ขณะที่วัสดุเซรามิกคอมโพสิตรุ่นใหม่ (advanced composite) มีเนื้อหลักเป็นเซรามิก และใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย คอมโพสิตกลุ่มนี้มักนำมาใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

3. เมทัลคอมโพสิต (metal matrix composites- MMC's) คอมโพสิตกลุ่มนี้พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ เมทัลคอมโพสิตมีโลหะเป็นเนื้อหลัก เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น สำหรับวัสดุเสริมแรงของคอมโพสิตกลุ่มนี้เป็นวัสดุเซรามิกส์ เช่น กลุ่มคาร์ไบด์ กลุ่มไนไตรด์ เป็นต้น

#### 4. ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

ประวัติของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปในอดีตไม่มีความชัดเจนมากนักแต่น่าจะถูกคิดค้นขึ้นเมื่อ 150 ปีที่ผ่านมาโดยในปี ค.ศ.1700 นาย Papier Zeitung ชาวเยอรมันคิดค้นขึ้นเพื่อใช้สอยในครัวเรือนโดยนำกระดาษต่อกันด้วยกาว และเริ่มมีการผลิตในระดับโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อปี ค.ศ. 1839 โดยทำในลักษณะของภาชนะ เช่น ถาดแบบต่างๆ แสดงดัง Figure 7 และต่อมาก็ผลิตขึ้นในรูปแบบของ ถัง ขามและท่อซึ่งมีลักษณะที่ปราศจากรอยต่อและใช้กระบวนการปั๊มดูดน้ำเยื่อผ่านตะแกรงแม่พิมพ์โดยที่เส้นใยจะเกาะติดอยู่ที่ผิวด้านนอกเกิดขึ้นของเส้นใยที่มีความหนาและได้รูปทรงตามแบบของแม่พิมพ์แล้วนำเส้นใยที่ได้ไปทำให้แห้งในเตาอบจากนั้นทำการเคลือบน้ำมันขัดเงาจึงเสร็จสิ้นกระบวนการ (Mosher and Davis., 1997)

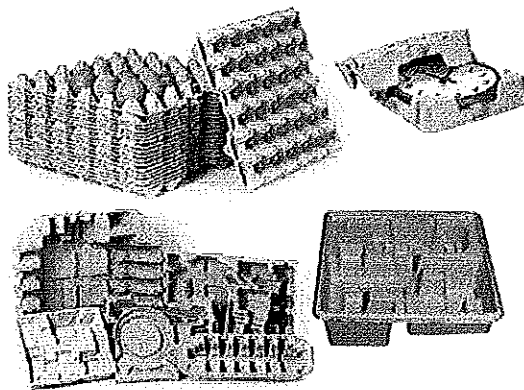


Figure 7. Products of molded pulp.

ที่มา : <http://www.wkrecyclepack.com>

ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปส่วนใหญ่ผลิตจากผลิตภัณฑ์กระดาษใช้แล้ว เศษกระดาษจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ โรงพิมพ์ และ สำนักงานต่างๆ ซึ่งกระดาษเหล่านี้สามารถนำมาทำให้มีคุณค่าขึ้นได้ โดยใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปหรือ molded pulp products ผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปนิยมใช้เพื่อการบรรจุเป็นส่วนใหญ่ เช่น ถาดหรือกล่องสำหรับบรรจุไข่ ถาดและกล่องสำหรับบรรจุผลไม้ ซึ่งมีรูปร่างและขนาดต่างๆ กัน แผ่นรองขวดเพื่อกันแตก ถาดซึ่งใช้แทนถาดพลาสติกในผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยใช้ฟิล์มยึดห่ออีกครั้งหนึ่ง วัสดุกันกระแทกสำหรับเฟอร์นิเจอร์และเครื่องมือต่างๆ และแผ่นกัน รวมถึงยังใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น กระดาษคั่นไม้เพื่อเพาะชำ หรือรองค้ำในกระดาษคั่นไม้สำหรับแขวน ถาดรูปไตใช้ในโรงพยาบาล ภาชนะที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง ฝาขวด เป็นต้น จึงอาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์กระดาษขึ้นรูปสามารถนำมาใช้ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากสลายตัวได้เองในธรรมชาติจึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษหรือสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม (อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิพย์ และคณะ, 2549)

วัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปส่วนใหญ่เป็นเศษกระดาษต่างๆ และอาจมีเยื่อบริสุทธิ์ผสมบ้าง การเลือกใช้วัตถุดิบชนิดใดนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และการใช้ประโยชน์ เศษกระดาษ สามารถแบ่งออกได้หลายชั้นคุณภาพ ชั้นคุณภาพดีส่วนใหญ่จะเป็นเศษที่เหลือจากการตัดริมของกระดาษชนิดดีจากโรงงานผลิตกระดาษโดยตรง เนื่องจากเศษกระดาษเหล่านี้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับเยื่อบริสุทธิ์และไม่มีการปนเปื้อนของหมึกพิมพ์และสิ่งสกปรกอื่นๆ จึงเหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหาร เศษกระดาษชั้นคุณภาพรองลงมาได้แก่ เศษกล่องกระดาษลูกฟูก ส่วนเศษกระดาษที่รวบรวมมาจากกล่องกระดาษแข็งใช้แล้วและกระดาษหนังสือพิมพ์นั้นจัดอยู่ใน ระดับชั้นคุณภาพต่ำ ซึ่งเหมาะกับการใช้ทำกระดาษเพาะชำ โดยทั่วไป ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะผลิตเศษกระดาษเนื่องจากเศษกระดาษมีราคาถูกและมีปริมาณมากจึงสามารถลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป (อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิพย์, 2549)

การทำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะไม่ใส่สารเคมีใดๆ เลยก็ได้ หรืออาจจะผสมแป้งและจีเอ็มลงไปด้วยเพื่อช่วยในการทนนํ้า หรือผสมสีที่ละลายนํ้าเพื่อเพิ่มความสวยงามก็ได้ ขั้นตอนการผลิตจะเริ่มตั้งแต่การเตรียมเยื่อ โดยการตีวัตถุดิบให้กระจายตัวในนํ้าอย่างสม่ำเสมอ ใส่ส่วนผสมต่างๆ ลงไปในการขึ้นรูปนั้น ชุดตะแกรงแม่แบบที่ทำเป็นรูปผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ซึ่งติดอยู่บนครัมจะหมุนด้วยความเร็วสม่ำเสมอและดักเยื่อในถังด้านล่างติดบน ตะแกรงแม่แบบแล้วถูกถ่ายเทไปสู่แม่แบบที่เป็นตัวประกอบเพื่อนำเข้ากระบวนการทำแห้งต่อไป การทำแห้งอาจใช้การตากแห้งด้วยแสงแดด หรือใช้ลมร้อนเป่าหากต้องการทำให้แห้งด้วยกระบวนการต่อเนื่องจะมีสายพานนำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วผ่านเข้าสู่ตู้อบ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแล้วอยู่ในระดับประมาณ 10% อาจเพิ่มขั้นตอนการพิมพ์เพื่อความสวยงามหรือบอกรายละเอียดเพิ่มเติมบนเยื่อ

กระดาษขึ้นรูปที่เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จแล้ว โดยติดตั้งแท่นพิมพ์ต่อจากขั้นตอนการทำให้แห้งก็ได้ หากต้องการ (อมรรัตน์ สวัสดิ์ทัต, 2549)

#### 4.1 ประเภทของเยื่อขึ้นรูป

เยื่อขึ้นรูปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามความหนาแน่น (อมรรัตน์ สวัสดิ์ทัต, 2549) คือ

1. แบบ Soft มีความหนาแน่น 0.2-0.5 ก/มล. เช่น ถาดวางไข่ ถาดผลไม้ ถาดหุ้มขวดแก้ว เป็นต้น
2. แบบ Hard มีความหนาแน่น 0.5-1.2 ก/มล. เช่น หมวกกันน็อค กระเป๋าเดินทาง ชั้นวางทีวี เป็นต้น
3. แบบ Full molded มีความหนาแน่น 1.2-1.35 ก/มล. เช่น จาน ชาม ถ้วย เป็นต้น

#### 4.2 การเตรียมเยื่อสำหรับผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะเตรียมจากเยื่อรีไซเคิล ซึ่งคุณภาพของเยื่อกระดาษรีไซเคิลที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะแตกต่างกันในการผลิตแต่ละครั้งเนื่องจากแหล่งที่มาของวัตถุดิบและคุณสมบัติของเยื่อแตกต่างกันทำให้ยากต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตขึ้น ดังนั้น การทำวิจัยครั้งนี้จะใช้เยื่อบริสุทธิ์ผสมกับเยื่อรีไซเคิลในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อควบคุมคุณภาพของเยื่อให้คงที่ ซึ่งกระบวนการผลิตเยื่อหรือแยกเส้นใยให้เป็นอิสระโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการทางกล (Mechanical Process) กระบวนการกึ่งเคมี (Semi-Chemical Process) และกระบวนการทางเคมี (Chemical Pulping Process)

##### 4.2.1 กระบวนการทางกล (Mechanical Pulping)

กระบวนการนี้จะใช้การบดขี้ดสี (Grinding) เพื่อแยกเส้นใย (Fiber) ในเนื้อไม้ออกจากกัน เยื่อไม้บดที่ได้จะมีองค์ประกอบของเส้นใยเหมือนกับไม้ คุณสมบัติด้านความเหนียวของเยื่อที่ผลิตได้ไม่ดึ้นัก เพราะไม่ใช่เยื่อเซลลูโลสบริสุทธิ์ ยังมีสิ่งเจือปนเช่น ลิกนิน เกลือแร่ และยางไม้ เป็นต้น เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้มีปริมาณผลผลิตสูงสุด คือ ร้อยละ 85 ขึ้นไป ปัจจุบันมีการนำสารเคมีมาปรับปรุงคุณภาพของเยื่อไม้ที่ผลิตด้วยวิธีทางกล เช่น กระบวนการเคมีแมคคานิคัล (Chemi-Machanical, CMP) หรือกระบวนการเทอร์โมแมคคานิคัล (Themo-Machanical Pulp, TMP) หรือทั้งสองอย่างรวมกันเรียกว่า กระบวนการเคมี เทอร์โมแมคคานิคัล (Cheme-Thermo Machanical Pulp, CTM) เยื่อที่ผลิตโดยกระบวนการกลส่วนใหญ่จะใช้ในการทำกระดาษหนังสือพิมพ์และทำกระดาษพิมพ์เขียน เพราะมีความทึบแสงสูง กระดาษกั้นกระดาษ (partition) สำหรับป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกล่อง สำหรับในประเทศไทยมีการผลิตเยื่อด้วยกระบวนการเคมีแมคคานิคัล เพื่อใช้สำหรับผลิตกระดาษไหว้เจ้าเท่านั้น โดยใช้ไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบ

เริ่มจากการนำไม้ไผ่มาแช่ด้วยโซดาไฟ เพื่อให้ไม้เปื่อย ต่อจากนั้นจึงนำเข้าสู่เครื่องบดและนำไปเข้าสู่เครื่องเดินแผ่นกระดาษ (ธิตี เชี่ยวชาญวิทย์, 2548)

#### 4.2.2 กระบวนการเคมี (Chemical Pulping)

กระบวนการทางเคมีเป็นกรรมวิธีการผลิตเยื่อที่ใช้สารเคมีละลายสารในเนื้อไม้ที่เป็นตัวยึดให้เส้นใยจับตัวกันไว้ออกมาเพื่อแยกเส้นใยให้เป็นอิสระจากกัน โดยจะนำชิ้นไม้มาต้มกับสารเคมีความเข้มข้นสูงในหม้อต้มเยื่อ (Digester) เยื่อจากกระบวนการนี้จะมีองค์ประกอบของเซลลูโลสสูง ลิกนินและสารอินทรีย์อื่นๆ ปนอยู่น้อยมาก เยื่อมีความแข็งแรงและความเหนียวสูงแต่เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีปริมาณผลผลิต (yield) ต่ำ (ประมาณร้อยละ 45 – 65) (ธิตี เชี่ยวชาญวิทย์, 2548)

กระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีทางเคมีสามารถแบ่งตามประเภทของสารเคมีที่ใช้ได้ดังนี้

##### 4.2.2.1 กระบวนการโซดา (Soda Process)

กระบวนการนี้จะใช้โซดาไฟ (NaOH) เป็นสารเคมีในการต้มย่อยเยื่อ กระบวนการนี้นิยมใช้กับไม้เบญจพรรณต่างๆ เยื่อกระดาษที่ได้เมื่อนำไปฟอกขาวแล้วจะเหมาะสำหรับทำกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษจดหมาย และกระดาษที่ต้องการความนุ่มฟู นอกจากนี้วิธีการนี้ยังใช้ในการผลิตกระดาษชนิดพิเศษ เช่น กระดาษสาซึ่งต้องการให้กระดาษมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างจากกระดาษประเภทอื่น

##### 4.2.2.2 กระบวนการซัลเฟต หรือคราฟท์ (Sulphate or Kraft Process)

กระบวนการนี้เป็นการผลิตเยื่อเคมีโดยใช้โซดาไฟ และโซเดียมซัลไฟด์ แต่เรียกชื่อกระบวนการในการผลิตว่า กระบวนการซัลเฟต เพราะใช้สารเคมีโซเดียมซัลเฟตเป็นสารเคมีที่ทำปฏิกิริยาเพื่อเวียนน้ำยาเคมีกลับคืนมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตซึ่งกระบวนการนี้ใช้ร่วมกับพรรณไม้ทุกชนิด เยื่อซัลเฟตที่ไม่ผ่านการฟอกสีส่วนใหญ่ใช้ทำกระดาษห่อของ กระดาษเหนียว (Kraft Paper) กระดาษทำผิวกล่อง (Kraft linearboard) และ เยื่อซัลเฟตที่ผ่านการฟอกขาวจะใช้ทำกระดาษได้หลายชนิดตั้งแต่กระดาษพิมพ์เขียนจนถึงกระดาษอนามัย

##### 4.2.2.3 กระบวนการซัลไฟต์ (Sulphite Process)

กระบวนการนี้จะคล้ายกับกระบวนการโซดา เพียงแต่ใช้สารเคมีในการต้มที่ต่างกัน สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ สารละลายเกลือไบซัลไฟต์ เช่น แคลเซียมไบซัลไฟต์ แมกนีเซียมซัลไฟต์หรือแอมโมเนียมซัลไฟต์ กระบวนการนี้เหมาะสำหรับทำเยื่อจากพรรณไม้เนื้อแข็งและพืชพวกหญ้า



### 4.3 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

เยื่อขึ้นรูปจัดเป็นรูปแบบหนึ่งของผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาโดยเยื่อขึ้นรูปภาคขนาด  $100 \times 100 \times 150$  มล<sup>3</sup>. จะมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 25 ก. และ 100 ก. ขึ้นอยู่กับความหนาและความหนาแน่น รูปแบบของผลิตภัณฑ์ลักษณะเช่นนี้สามารถดูดซับแรงกระแทกโดยปราศจากการถ่ายเทแรงกระแทกไปสู่วัตถุที่บรรจุอยู่

รูปแบบภาชนะบรรจุสามารถทำได้จากเยื่อหลากหลายชนิดโดยทั่วไปจะได้จากกระดาษที่ใช้แล้วหรือจากเยื่อที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการทางเคมี ประเภทและลักษณะของเยื่อที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้บรรจุว่าเป็นสิ่งของประเภทใด ถ้าเป็นการบรรจุอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ต่างๆ ควรจะใช้เยื่อใหม่ที่มีคุณภาพดีซึ่งผ่านการสกัดด้วยกระบวนการทางเคมี สำหรับเยื่อที่ใช้แล้วสามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ

ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยสามารถทำให้เยื่อขึ้นรูปมีโครงสร้างยืดหยุ่นหรือทำให้มีโครงสร้างแข็งขาดความยืดหยุ่น ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะมีความหนา 0.75-6.4 มม. และความหนาแน่น 0.2-1.0 กรัม/ลบ.ซม. (Paine, 1990) กระบวนการขึ้นรูปที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมี 2 วิธีที่แตกต่างกัน คือ

#### 4.3.1 Pressure injection process

กระบวนการขึ้นรูปเยื่อแบบ pressure injection เป็นกระบวนการขึ้นรูปแบบกึ่งอัตโนมัติ เยื่อและน้ำจะถูกผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และจะถูกส่งผ่านไปยังแม่พิมพ์เพื่อเป่าขึ้นรูปด้วยแรงดันประมาณ 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้วที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะถูกนำออกจากแม่พิมพ์โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 45-50 หลังจากนั้นเยื่อขึ้นรูปจะถูกทำให้แห้งและทำให้ปราศจากเชื้อ ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการนี้จะมีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูง โดยมีความหนาอยู่ที่ประมาณ 2.5 มิลลิเมตรแต่ยังสามารถเพิ่มหรือลดความหนาได้ นอกจากนี้เยื่อขึ้นรูปที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการนี้ยังสามารถออกแบบและผลิตในรูปแบบต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น ผลิตเป็นของเล่น หรือหมวก เป็นต้น (Paine, 1990)

#### 4.3.2 Suction moulding process

กระบวนการขึ้นรูปเยื่อแบบ suction moulding เป็นกระบวนการขึ้นรูปเยื่อแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบสุญญากาศดูดน้ำเยื่อให้ติดกับแม่พิมพ์เยื่อจะซ้อนทับกันเป็นชั้นตามลักษณะรูปทรงของแม่พิมพ์ด้วยระบบสุญญากาศซึ่งติดตั้งอยู่อีกด้านหนึ่งของแม่พิมพ์ เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธี suction moulding กับวิธี pressure injection พบว่าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตด้วยวิธี suction moulding จะมีปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ภายหลังจากนำออกมา

จากแม่พิมพ์สูง โดยทั่วไปจะมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 85 ความชื้นนี้จะถูกกำจัดไปโดยการทำแห้งด้วย heated dies ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วจะมีความแข็งแรงและเรียบมากยิ่งขึ้นทำให้สามารถพิมพ์ข้อความต่างๆ ได้ (Paine, 1990)

เครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูปเยื่อด้วยวิธี suction moulding จะประกอบด้วยแม่พิมพ์จำนวน 2 ตัว (ตัวผู้และตัวเมีย) ซึ่งจะช่วยในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แต่ละครั้งและแม่พิมพ์อีก 1 ตัวในการส่งผ่านเยื่อที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วไปยังส่วนทำแห้ง โดยปกติแล้วจะมีการใช้แม่พิมพ์จำนวน 24 ตัวต่อเครื่องจักร 1 เครื่องขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักร ดังนั้น ในการผลิตแต่ละครั้งจะได้ชิ้นงานจำนวนมาก โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยกระบวนการนี้จะเป็นผลิตภัณฑ์ประเภท open-top-tray (Paine, 1990)

#### 4.4 สมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

##### 4.4.1 ความต้านทานแรงกด (Compression strength)

ความต้านทานแรงกด หมายถึง ความสามารถของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปในการต้านทานแรงสูงสุดที่กดผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจนผลิตภัณฑ์เกิดการเสียรูปและไม่สามารถที่จะใช้งานได้ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N) หรือกิโลกรัมแรง (kgf) ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมีค่าความต้านทานแรงกดมากแสดงว่าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปนั้นมีความแข็งแรงมาก

Sorensen และ Hoffmann (2003) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงกดกับปริมาณการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป โดยทำการทดลองในสภาวะความชื้นต่างๆ พบว่าค่าความต้านทานแรงกดของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณการดูดซับความชื้นเพิ่มมากขึ้น

Hoffmann (2004) ทำการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงกดกับรูปทรงของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป โดยทำการทดลองกับผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นและความหนาจะหยาบกว่าจะให้ค่าความต้านทานแรงกดมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นและความหนาน้อยกว่า

Sorensen และ Risbo (2005) ศึกษาผลของการดูดซับและคายความชื้นต่อความต้านทานแรงกดของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป โดยทำการทดลองบรรจุสิ่งของที่มีความชื้นและเก็บในสภาวะที่มีความชื้นแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า การดูดและคายความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายในผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมีผลทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกดมีค่าเปลี่ยนแปลง คือ เมื่อผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายในผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมีการคายความชื้นจะทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทำให้ค่าความต้านทานแรงกดลดลง

#### 4.4.2 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact strength)

ความต้านทานแรงกระแทก หมายถึง ความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกที่มีความรุนแรงสูงภายในระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ G (Burgess, 2002) ถ้าผลิตภัณฑ์เชื่อมขึ้นรูปมีค่าความต้านทานแรงกระแทกน้อยแสดงว่าผลิตภัณฑ์เชื่อมขึ้นรูปนั้นมีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกได้ดี ซึ่งค่าความต้านทานแรงกระแทกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2

$$G = \frac{\text{Deceleration}}{g} \quad (1)$$

G คือ หน่วยวัดของแรงกระแทกโดยเปรียบเทียบเป็นจำนวนเท่าของความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก และจะเป็นตัวบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อเวลา

$$\text{Deceleration} = \frac{\text{Velocity change}}{\text{Time}} \quad (2)$$

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ  $386.4 \text{ in/sec}^2$  หรือ  $32.2 \text{ ft/sec}^2$  หรือ  $9.81 \text{ m/sec}^2$  (Burgess, 2002)

##### 4.4.2.1 เครื่องมือวัดค่าแรงกระแทก (Accelerometer)

เครื่องมือวัดแรงกระแทกเป็นเครื่องมือวัด (Sensor) ที่ใช้วัดค่าแรงกระแทกในหน่วย G หลักการโดยทั่วไปคือ เซรามิกซึ่งมีสมบัติ piezoelectric เมื่อถูกแรงกระแทกจากแท่งเหล็กจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร เมื่อนำไปต่อกับเครื่องวัดและขยายสัญญาณก็จะสามารถอ่านค่าแรงกระแทกได้ ซึ่งลักษณะของเครื่องมือวัดแรงกระแทกและการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าแรงกระแทกแสดงดัง Figure 8 และ Figure 9 ตามลำดับ

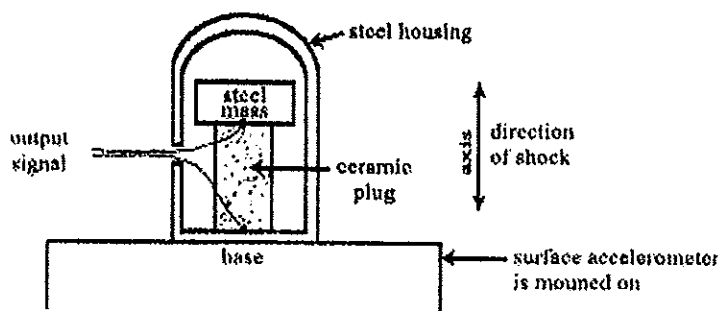


Figure 8. Accelerometer

ที่มา : Burgess (2002)

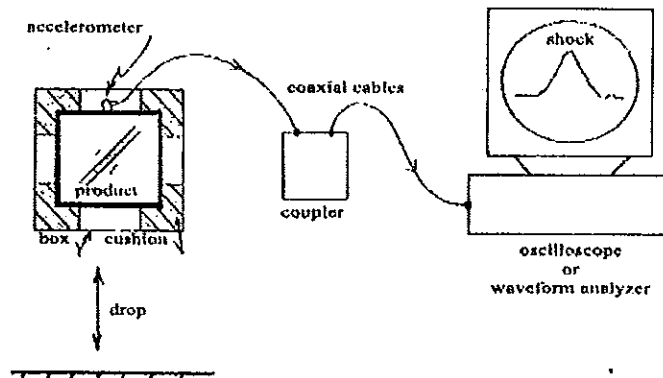


Figure 9. Setup of Accelerometer

ที่มา : Burgess (2002)

#### 4.4.2.2 สัญญาณแรงกระแทก (Shock pulse)

สัญญาณแรงกระแทกเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งหรือความหน่วง (Acceleration or Deceleration) กับเวลาที่เกิดการตกกระแทกอย่างฉับพลัน โดยจะแสดงค่าแรงกระแทกสูงสุด (Peak G), เวลาที่ใช้ในการตกกระแทก (Shock duration) อัตราเร็วที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดจากการตกกระแทกจนถึงสิ้นสุดการกระดอนขึ้น (Velocity change) ดัง Figure 10 (Burgess, 2002)

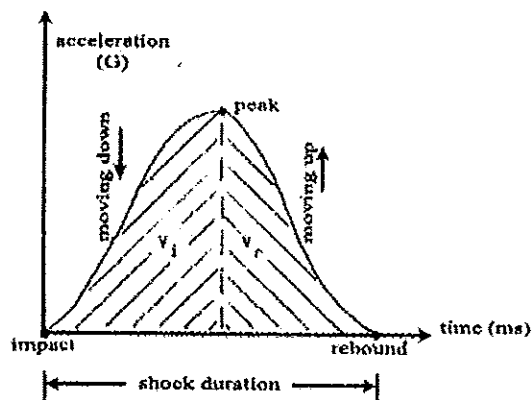


Figure 10. Shock pulse

ที่มา : Burgess (2002)

จาก Figure 10 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แรงกระแทกสูงสุด (Peak G) คือจุดที่มีค่า G สูงสุดจากกราฟสัญญาณแรงกระแทก (Shock pulse)
2. เวลาที่ใช้ในการตกกระแทก (Shock duration) คือช่วงฐานของกราฟตั้งแต่เริ่มต้นตกกระแทก (Impact) จนกระทั่งสิ้นสุดการกระดอน (Rebound) มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที
3. อัตราเร็วที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดตั้งแต่การตกกระแทกจนถึงสิ้นสุดการกระดอน คือพื้นที่ใต้กราฟ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\Delta v = v_i + v_r \quad (3)$$

โดย  $\Delta v = \text{Shape factor} \times \text{base} \times \text{height}$  หรือพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณแรงกระแทก สำหรับกราฟรูปสามเหลี่ยม Shape factor มีค่าเท่ากับ 0.5, สี่เหลี่ยมเท่ากับ 1.0 และ Half sine เท่ากับ 0.636

$v_i$  คือ ความเร็วในขณะกระแทก (The impact velocity)

$v_r$  คือ ความเร็วหลังการกระแทก (The rebound velocity)

4. ความสูงของการกระแทก (Drop height) มีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วในการตกกระแทก (Impact velocity) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$v_i = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

โดย  $h$  คือ ความสูงที่ใช้ในการปล่อยวัตถุ (นิ้ว)

5. สัมประสิทธิ์การคืนตัว (Coefficient of restitution) ใช้สัญลักษณ์ "e" มีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$e = \frac{v_i}{v_r} \quad (5)$$

เมื่อ  $e = 0$  หมายถึง ไม่มีการคืนตัว คือความเร็วของการกระดอนมีค่าเป็นศูนย์ หรือไม่เกิดการกระดอนขึ้น

$e = 1$  หมายถึง เกิดการคืนตัวอย่างสมบูรณ์ หรืออัตราเร็วของการกระดอนมีค่าเท่ากับอัตราเร็วการตกกระแทก

#### 4.4.3 การดูดซับพลังงาน (Energy absorption)

การดูดซับพลังงาน หมายถึง ค่าของพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่กระทำต่อผลิตภัณฑ์จนผลิตภัณฑ์เกิดการเสียรูปและและผลิตภัณฑ์เสียหายไม่สามารถที่จะใช้งานได้ มีหน่วยเป็น จูล (J) คำนวณได้จากสมการที่ 6

$$E_p = mgh \quad (6)$$

$E_p$  คือ พลังงานศักย์โน้มถ่วง (J)

$m$  คือ มวลของวัตถุ (Kg)

$h$  คือ ความสูงที่ใช้ในการปล่อยวัตถุ (m)

$g$  คือ แรงโน้มถ่วงของโลก 9.8 m/s

#### 4.4.4 การดูดซับน้ำ (Moisture absorption)

การดูดซับน้ำ หมายถึง ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษในพื้นที่ 1 ตารางเมตรภายในระยะเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของกระดาษและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป ถ้ามีค่าการดูดซึมน้ำมากจะมีผลให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปลดลง วิธีทดสอบเรียกว่า "คอบบ์ เทส" (Cobbs Test) เครื่องมือที่ให้ทดสอบคือ Cobbs sizing tester โดยมีมาตรฐานที่ใช้ทดสอบได้แก่ ISO 535, ASTM D 2045, TAPPI T 411 สำหรับการดูดซับน้ำของกระดาษทำลูกฟูก หมายถึง เวลาที่กระดาษดูดซับน้ำปริมาณ 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้หมดมีหน่วย เป็น วินาทีต่อน้ำ 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่านี้จะบอกถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษ อุปกรณ์ที่ใช้คือ บิวเรต และนาฬิกาจับเวลา จากมาตรฐาน มอก. 321 จะกำหนดให้กระดาษลูกฟูกมีค่าการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 30 - 200 วินาทีต่อน้ำ 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการผลิตเยื่อจากเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการกราฟท์เพื่อคัดเลือกสถานะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อสำหรับใช้เป็นผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป
2. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากเส้นใยปาล์มน้ำมันที่สกัดน้ำมันแล้วและน้ำยางคอมโพสิตซึ่งเป็นวัสดุชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างและสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มและน้ำยางคอมโพสิต

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเยื่อขึ้นรูปและการปรับปรุงสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป ประกอบด้วย วิธีดำเนินการวิจัย อุปกรณ์ สารเคมีสำหรับการสกัดเยื่อจากใยปาล์ม สารเคมีสำหรับยางคอมโพสิต เทคนิคการสกัดและผลิตเยื่อจากเส้นใยปาล์มในการวิจัย เทคนิคการเตรียมยางคอมโพสิตในการวิจัยและการทดสอบ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

#### วิธีดำเนินการ

##### 1. การผลิตเยื่อจากเส้นใยปาล์มน้ำมัน

1.1 นำเส้นใยจากผลปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ เช่น ปริมาณเซลลูโลส (ดัดแปลงจาก Van Soest and Wine, 1967 แสดงดังภาคผนวก ก), ปริมาณความชื้น (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1999 แสดงดังภาคผนวก ก), ปริมาณลิกนิน (ดัดแปลงจาก Van Soest and Wine, 1967 แสดงดังภาคผนวก ก), ปริมาณเถ้า (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1999 แสดงดังภาคผนวก ก), ปริมาณเพนโทแซน (TAPPI T 223 om-84), ความสามารถในการละลายในสารละลายโซลเวนท์ (TAPPI T 204 om-88), ความสามารถในการละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็น (TAPPI T 207 om-88), ความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 (TAPPI T 212 om-88) เป็นต้น

1.2 นำเส้นใยปาล์มมาต้มย่อยให้เป็นเยื่อด้วยกระบวนการคราฟท์ (Kraft process) พร้อมทั้งหาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดเยื่อ โดยมีวิธีการแสดงดัง Figure 11 ดังนี้

1.2.1 นำเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วมาล้างเพื่อคัดแยกกะลาปาล์มออก หลังจากนั้นนำเส้นใยดังกล่าวไปอบให้แห้งแล้วนำไปแช่ในสารละลายเฮกเซนความเข้มข้นร้อยละ 98 เพื่อกำจัดน้ำมันที่หลงเหลืออยู่ในเส้นใยเป็นเวลา 24 ชม. แล้วอบระเหยสารละลายเฮกเซนออกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

1.2.2 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 120 กรัมต่อลิตร และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ความเข้มข้น 200 กรัมต่อลิตร

1.2.3 คำนวณหาปริมาณสารที่ใช้ ณ สถานะการสกัดเส้นใยที่มีค่า sulfidity ร้อยละ 40 และมีค่า effective alkali ร้อยละ 20 และ 25 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และอัตราส่วนของเยื่อต่อสารละลายทั้งหมด เท่ากับ 1:6 (น้ำหนัก/ปริมาตร)

1.2.4 ทำการสกัดเส้นใยที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 และ 90 นาที

1.2.5 เมื่อครบกำหนดเวลา ล้างเยื่อที่ผลิตได้บนตะแกรงด้วยน้ำสะอาดจนหมดความเป็นด่างเพื่อกำจัดลิกนินและสารเคมีออก (แสดงดัง Figure 11)

1.2.6 คำนวณหาปริมาณผลผลิต (yield)

1.2.7 ทำการขึ้นรูปแผ่นเยื่อทดสอบ 100 กรัมต่อตารางเมตรและทดสอบวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพและทางกล

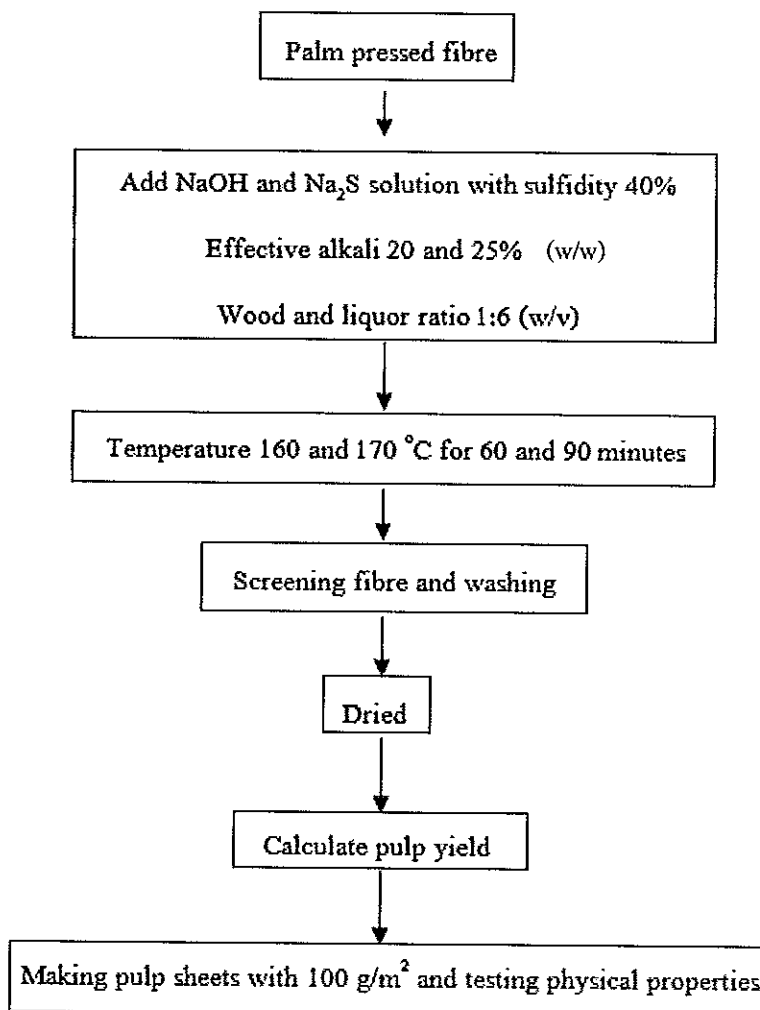


Figure 11. Kraft cooking process of palm pressed fibre.

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีปัจจัยที่

ศึกษา ดังนี้

1. ค่า effective alkali 2 ระดับ คือ ร้อยละ 20 และ 25
2. อุณหภูมิในการสกัด 2 ระดับ คือ 160 และ 170 องศาเซลเซียส
3. ระยะเวลาในการสกัดเส้นใย 2 ระดับ คือ 60 และ 90 นาที



แต่ละชุดการทดลองทำซ้ำจำนวน 3 ชุด แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล เช่น ค่าสี (ASTM D 2244) ความต้านทานแรงดึง (TAPPI T 494 om 88) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่ดีที่สุดในแต่ละปัจจัย รวมจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 24 การทดลอง ทำการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยโดยพิจารณาจากคุณภาพของเส้นใยและปริมาณผลผลิตแล้วทำการสกัดเส้นใยเพื่อใช้ศึกษาในลำดับต่อไป

## 2. การเตรียมน้ำยาง

### 2.1 การเตรียมน้ำยางคอมโพสิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอิน

สำหรับงานวิจัยนี้ได้พัฒนาการปรับปรุงสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยาง โดยมีสูตรการผลิตน้ำยางคอมโพสิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอิน (ปริญญาจินดาเพชร, 2549) แสดงดัง Table 2

Table 2. The formulation of the composite SBR latex.

Materials	Dry weight (phr)		
	1 <sup>st</sup> Formula (R1)	2 <sup>nd</sup> Formula (R2)	3 <sup>rd</sup> Formula (R3)
SBR (Buna 20) 40% DRC	100	100	100
China clay dispersion 50%	50	50	50
Wood rosin dispersion 50%	25	50	75
Sulphur dispersion 50%	75	75	75

ที่มา : ปริญญา จินดาเพชร (2549)

### วิธีการเตรียมน้ำยางคอมโพสิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอิน

- 2.1.1 เตรียมน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินผสมสารเคมีตามสูตรดัง Table 2
- 2.1.2 ปั่นน้ำยาง และเติมสารเคมีต่างๆ ลงในเครื่องปั่นผสมตามลำดับ แสดงดัง Figure 12

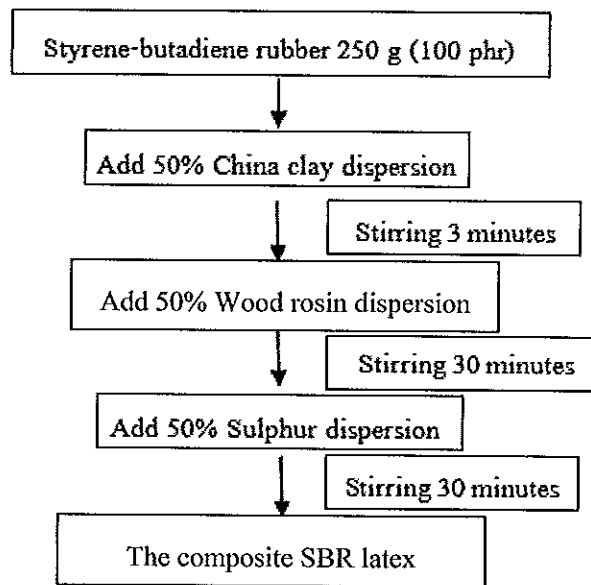


Figure 12. Preparation of the composite SBR latex.

ที่มา : ปริญา จินดาเพชร (2549)

## 2.2 การเตรียมน้ำยางคอมพาวด์

สำหรับงานวิจัยนี้ได้พัฒนาการปรับปรุงสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปด้วยน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งอ้างอิงสูตรการผลิตน้ำยางคอมพาวด์ที่ใช้ในการเคลือบดอกไม้ของศูนย์วิจัยยางสงขลา โดยมีสูตรการผลิตดัง Table 3

Table 3. The formulation of the NR compound.

Materials	Dry weight (g)
Natural rubber HA 60% DRC	167.0
Potassium hydroxide 10%	3.0
Potassium laurate 20%	1.0
Sulphur dispersion 50%	1.0
Wing stay L dispersion 50%	1.0
Zinc oxide dispersion 50%	0.8
ZDEC dispersion 50%	1.5

ที่มา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา (2546)

### วิธีการเตรียมน้ำยางคอมพาวด์

2.2.1 เตรียมน้ำยางข้นผสมสารเคมีตามสูตรดัง Table 3

2.2.2 ปั่นน้ำยาง และเติมสารเคมีต่างๆ ลงในเครื่องปั่นผสมตามลำดับ แสดงดัง Figure 13

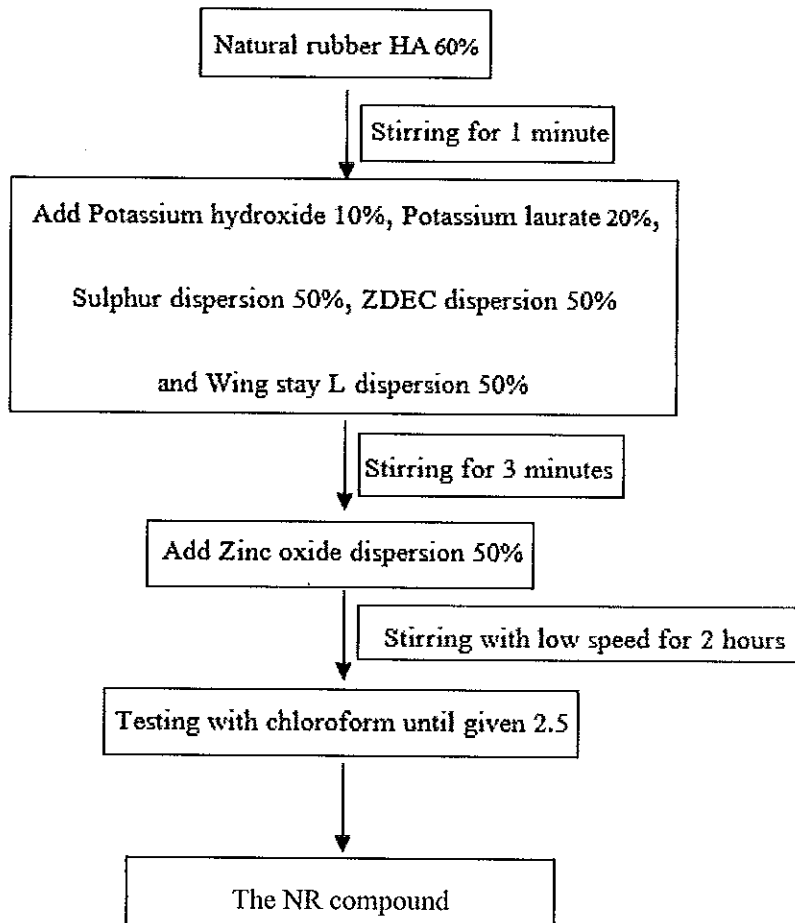


Figure 13. Preparation of the NR compound.

ที่มา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา (2546)

### 3. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อขึ้นรูป

3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อขึ้นรูปด้วยวิธีการเคลือบด้วยน้ำยางคอมพอสิตโดยใช้น้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน

3.1.1 นำเยื่อที่เหมาะสมที่สกัดได้จากตอนที่ 1 มาขึ้นรูปแผ่นเยื่อทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน 400 กรัมต่อตารางเมตร

3.1.2 นำแผ่นเยื่อไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นร้อยละ 10-15

3.1.3 นำแผ่นเยื่อมาจุ่มลงในน้ำยางคอมพอสิตทั้ง 3 สูตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 (M1) 2 (M2) และ 3 (M3) นาที

3.1.4 นำแผ่นเยื่อไปเป่าด้วยความร้อนให้แห้งแล้วอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที

3.1.5 นำแผ่นเยื่อมาเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.6 หาน้ำหนักของชั้นเคลือบและความหนาของตัวอย่างชิ้นงาน (แสดงดังภาคผนวก ก)

3.1.7 ทดสอบสมบัติทางกล เช่น ความต้านทานแรงดึง (TAPPI T 494 om 88), ความต้านทานแรงคั้นทะลุ (ASTM D 774-67) และสมบัติการดูดซึมน้ำ (TAPPI T 441 om-90)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา ดังนี้

1. น้ำยาง 3 สูตร

2. ระยะเวลาในการจุ่ม 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 นาที

การทดลองทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 27 ชิ้น แล้วคัดเลือกสถานะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาในลำดับต่อไป

### 3.2 การหาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อขึ้นรูปด้วยวิธีการเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์

3.2.1 นำเยื่อที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากตอนที่ 1 มาขึ้นรูปแผ่นเยื่อน้ำหนัก 400 กรัมต่อตารางเมตร

3.2.2 นำแผ่นเยื่อไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นร้อยละ 10-15

3.2.3 นำแผ่นเยื่อมาจุ่มลงในน้ำยางคอมพาวด์ ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 (M1) 2 (M2) และ 3 (M3) นาที

3.2.4 นำแผ่นเยื่อไปเป่าด้วยความร้อนให้แห้งแล้วอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชม.

3.2.5 นำแผ่นเยื่อมาเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.6 หาน้ำหนักของชั้นเคลือบและความหนาของตัวอย่างชิ้นงาน (แสดงดังภาคผนวก ก)

3.2.7 ทดสอบสมบัติทางกล เช่น ความต้านทานแรงดึง (TAPPI T 494 om 88), ความต้านทานแรงคั้นทะลุ (ASTM D 774-67) และสมบัติการดูดซึมน้ำ (TAPPI T 441 os-77)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา ดังนี้

ระยะเวลาในการจุ่ม 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 นาที

การทดลองทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 9 ซีน แล้ว  
คัดเลือกสถานะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาในลำดับต่อไป

#### 4. การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ (mold) สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

4.1 คัดเลือกผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา

4.2 ออกแบบแม่พิมพ์สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

#### 5. การผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

##### 5.1 การผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

5.1.1 คัดเลือกเยื่อที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากตอนที่ 1 มาผสมกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่อง  
กระดาษถูกฟูกแล้วนำมาปั่นผสมรวมกันในอัตราส่วนของเยื่อปาล์มกับเยื่อรีไซเคิลเป็น 100:0,  
90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100

5.1.2 ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยการเทน้ำเยื่อที่ผสมกันในแม่พิมพ์ตัวเมียแล้วทิ้ง  
ไว้สักครู่

5.1.3 นำแม่พิมพ์ตัวผู้มาประกบเพื่อบีบน้ำออกจนไม่เหลือน้ำที่ไหลออกจากตัวแม่พิมพ์

5.1.4 นำไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

5.1.5 นำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมาเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  
50 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.1.6 นำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปไปชั่งหาน้ำหนักและวัดความหนา (แสดงดังภาคผนวก ก)

5.1.7 นำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปไปหาค่า apparent density

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีปัจจัยที่  
ศึกษา ดังนี้

อัตราส่วนเยื่อปาล์มและเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษถูกฟูก 7 อัตราส่วน คือ  
100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100

การทดลองทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 15 ซีน แล้ว  
คัดเลือกสถานะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาในลำดับต่อไป โดยคัดเลือกอัตราส่วนที่  
เหมาะสมของน้ำเยื่อที่สามารถทำการขึ้นรูปได้โดยพิจารณาจากค่าความต้านทานแรงกดและปริมาณ  
การใช้เยื่อรีไซเคิลที่น้อย

## 5.2 การเคลือบผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยาง

5.2.1 ผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 5.1

5.2.2 ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยการเทน้ำเยื่อที่ผสมกันในแม่พิมพ์ตัวเมียแล้วทิ้งไว้สักครู่

5.2.3 นำแม่พิมพ์ตัวผู้มาประกบเพื่อบีบน้ำออกจนไม่เหลือน้ำที่ไหลออกจากตัวแม่พิมพ์

5.2.4 นำไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

5.2.5 นำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมาเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.2.6 เคลือบผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำยางคอมโพสิตที่เตรียมจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน และน้ำยางคอมพาวด์

5.2.7 นำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบไปอบ โดยเยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตที่เตรียมจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5.2.8 นำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมาเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5.2.9 นำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปไปชั่งหาน้ำหนัก (แสดงดังภาคผนวก ก)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา ดังนี้

น้ำยาง 2 ชนิด คือ น้ำยางคอมโพสิตที่เตรียมจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน และน้ำยางคอมพาวด์

การทดลองทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 6 ชิ้น แล้วคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาในลำดับต่อไป

## 6. การศึกษาสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

6.1 นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากตอนที่ 5.1 และ 5.2 ในแต่ละชุดการทดลองมาทดสอบสมบัติความต้านทานแรงกดตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 642

6.2 นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากตอนที่ 5.1 และ 5.2 ในแต่ละชุดการทดลองมาทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่อการดกกระแทกโดยดัดแปลงจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3332

6.3 เปรียบเทียบสมบัติทางกลระหว่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบและไม่เคลือบน้ำยาง

6.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลระหว่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่พัฒนาขึ้นกับผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ใช้ในทางการค้าชนิดต่างๆ

## 7. การหาความยาวเส้นใย

7.1 นำตัวอย่างเยื่อที่ต้องการความยาวเส้นใยมาผสมน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.1

7.2 ดูดตัวอย่างน้ำเยื่อปริมาณ 1 มิลลิลิตรด้วยปิเปตแล้วเทลงบนแผ่นสไลด์

7.3 นำไปส่องหาความยาวเส้นใยด้วยเครื่องส่องและวัดรอยตะเข็บกำลังขยาย 7 เท่า

## 8. โปรแกรมทางสถิติ

โปรแกรมทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ โปรแกรม SPSS version 15.0 ทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) และค่าความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's new multiple range test.

## 9. ศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยาง

9.1 นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่มีความแข็งแรงมากที่สุดและน้อยที่สุดจากตอนที่ 6 มาตัดด้วยไมโครโทมให้ได้ขนาดความยาวประมาณ 20 มิลลิเมตร

9.2 นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปส่องด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

9.3 ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ เช่น ลักษณะรูพรุนและฟองอากาศ รวมถึงลักษณะการเคลือบผิวหน้าของน้ำยางคอม โพลีทเพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลที่ศึกษาไว้ในตอนที่ 6

## วัสดุและอุปกรณ์

1. เส้นใยปาล์มน้ำมันจากผลปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันและล้างแยกกะลาแล้วมีลักษณะแสดงดัง Figure 14



Figure 14. Palm pressed fibre after cleaning.

2. เครื่องต้มเยื่อควบคุมอุณหภูมิ มีลักษณะเป็นทรงกระบอก สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความดัน มีลักษณะแสดงดัง Figure 15



Figure 15. Cooking digester.

3. เครื่องกระจายเยื่อ สามารถปรับจำนวนรอบการหมุนได้ มีลักษณะแสดงดัง Figure 16

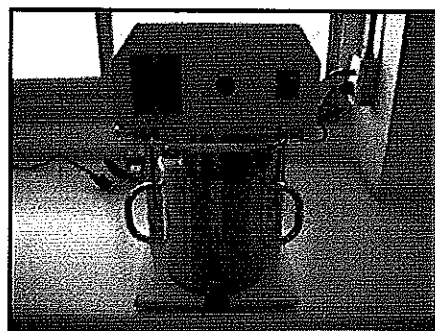


Figure 16. Disintegrator.



4. เครื่องขึ้นรูปแผ่นเยื่อ มีลักษณะทรงกระบอกฐานรูปวงกลม มีสายต่อท่อลมเพื่อผสมน้ำเยื่อให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันสามารถขึ้นรูปแผ่นเยื่อเป็นวงกลมได้หลายน้ำหนักมาตรฐานมีลักษณะแสดงดัง

Figure 17

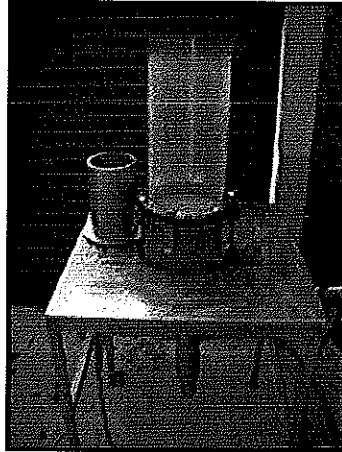


Figure 17. Pulp sheet machine.

5. เครื่องชั่งแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP-2100S แสดงดัง Figure 18



Figure 18. Digital scale.

6. แม่พิมพ์ขึ้นรูปถาดไข่ ประกอบด้วยแม่พิมพ์ตัวผู้ ตัวเมียและตะแกรงกรองเยื่อ สามารถขึ้นรูปถาดไข่ได้จำนวน 4 หลุมมีลักษณะแสดงดัง Figure 19

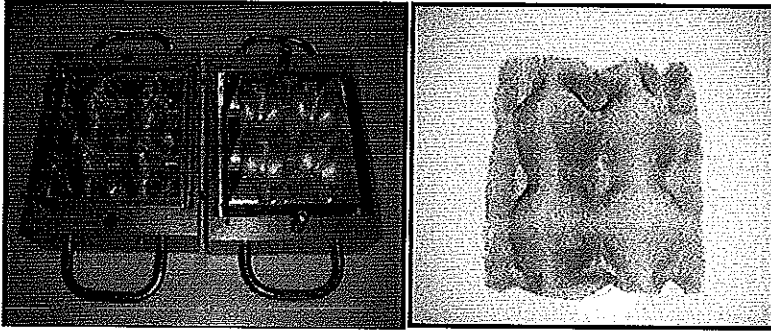


Figure 19. Pulp mold.

7. ตู้อบลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Memmert มีขนาดภายนอก 70 x 54 x 70 เซนติเมตร และขนาดช่องอบภายใน 58 x 40 x 50 เซนติเมตร ผลิตโดยบริษัท Memmert GmbH ประเทศเยอรมัน เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ยางเพื่อให้อย่างเกิดการวัลคาไนซ์และอบแผ่นเยื่อให้แห้งแสดงดัง Figure 20

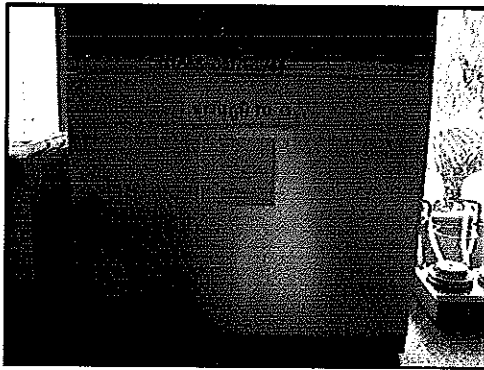


Figure 20. Hot air oven at 70 °C.

8. ตู้อบไฟฟ้า 105 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Memmert รุ่น ULM 50 มีขนาดภายนอก 70 x 54 x 70 เซนติเมตร และขนาดช่องอบภายใน 58 x 40 x 50 เซนติเมตร ผลิตโดยบริษัท Memmert GmbH ประเทศเยอรมัน เป็นตัวให้ความร้อนแก่ยางเพื่อให้อย่างเกิดการวัลคาไนซ์แสดงดัง Figure 21

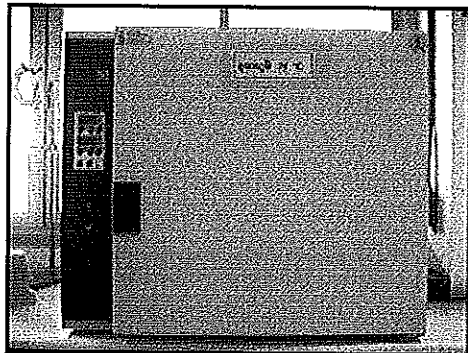


Figure 21. Oven at 105 °C.

9. เครื่องหาปริมาณความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด PRECISA รุ่น HA60 แสดงดัง Figure 22

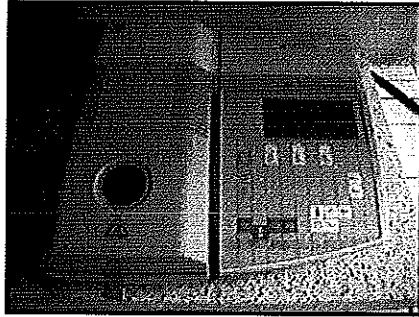


Figure 22. Moisture analyzer.

10. เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Color Quest XT แสดงดัง Figure 23

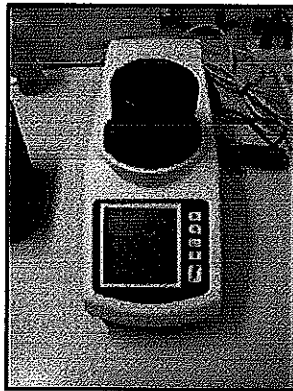


Figure 23. Color analyzer.

11. เครื่องทดสอบแรงทางกลของวัสดุและผลิตภัณฑ์ LLOYD รุ่น LR 30 K แสดงดัง Figure 24

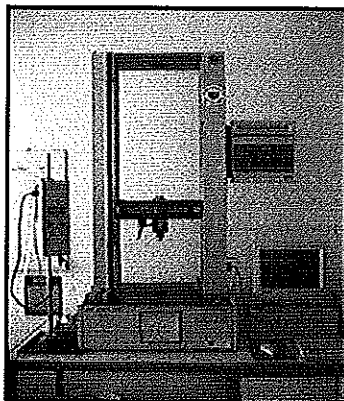


Figure 24. Universal material testing machine.

12. เครื่องทดสอบการตกกระแทก GOTECH รุ่น TCO200517 แสดงดัง Figure 25

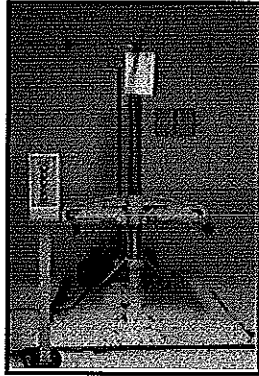


Figure 25. Drop test machine.

13. เครื่องวัดความหนา (Dial micrometer) GOTECH รุ่น GT-313-A แสดงดัง Figure 26



Figure 26. Thickness scale.

14. เครื่องวัดแรงกระแทก LANSMONT รุ่น Test Partner 3 ผลิตโดยบริษัท Lansmont และ หัววัดแรงกระแทก (Accelerometer) แบบ ICP รุ่น 353B18 ผลิตโดยบริษัท PCB Piezotronics, Sensitivity @ 100.0 Hz 10.05 mV/g มีลักษณะแสดงดัง Figure 27

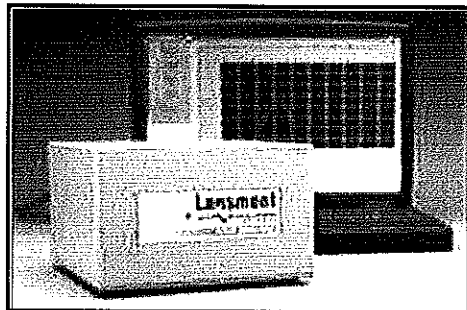


Figure 27. Accelerometer and software program.

15. เครื่องบดผสม ใช้สำหรับบดผสมสารเคมีให้อยู่ในรูปคอลลอยด์ (Dispersion) แสดงดัง

Figure 28

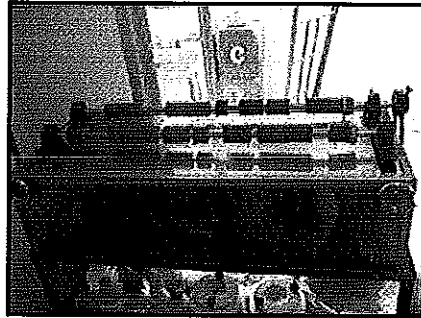


Figure 28. Chemicals dispersor.

16. โถเซรามิคบดผสม (Ball mill) เป็นเครื่องบดผสมสารเคมีให้อยู่ในรูปคอลลอยด์ ภาชนะที่ใช้เป็นโถเซรามิคทรงกระบอกที่มีฝาปิด ภายในบรรจุลูกบดอะลูมินาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 2.0 เซนติเมตร สำหรับบดผสมสารเคมีหมุนในแนวอน แสดงดัง Figure 29

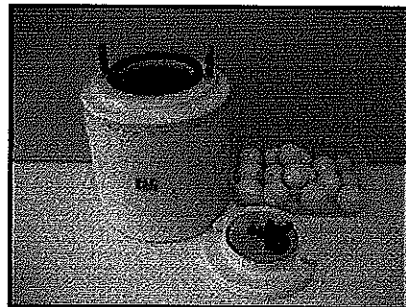


Figure 29. Ball mill.

17. เครื่องผสม ซึ่งประกอบด้วยภาชนะบรรจุขนาด 2 ลิตร และมีมอเตอร์ตีปั่นเป็นที่ใช้ลดความเร็วในการปั่นแบบปรับระดับได้ 5 ระดับ (60-360 รอบต่อนาที) ยี่ห้อ Imarflex รุ่น IF-309 ดัง Figure 30

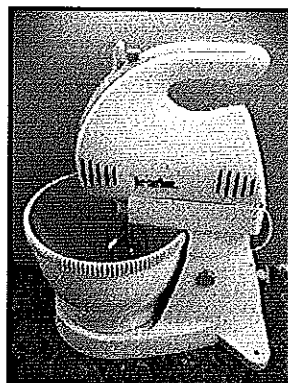


Figure 30. Homogenizers.

18. เครื่องทดสอบการฉีกขาดจากการรับแรงกระแทกของพลาสติก ซึ่งประกอบด้วยแท่นวางวัตถุ และคานปรับระดับที่ติดตั้งอยู่กับลูกตุ้มน้ำหนักขนาดต่างๆ โดยงานวิจัยทำการดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาค่าการดูดซับพลังงาน แสดงดัง Figure 31

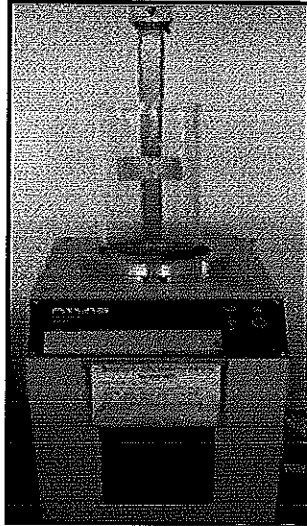


Figure 31. Free falling dart impact test machine.

19. เครื่องส่องและวัดรอยตะเข็บกระป๋อง โดยงานวิจัยทำการดัดแปลงเพื่อวัดขนาดความยาวเส้นใยซึ่งประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงและเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณขนาดความยาวเส้นใย

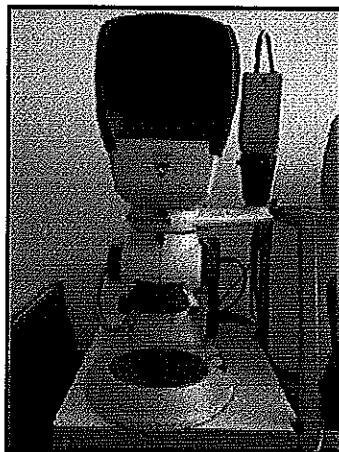


Figure 32. Can seem projector.

## สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเยื่อใยปาล์ม

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) เตรียมอยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้น 12% (w/v) ทำหน้าที่ สกัดสารเคมีในเนื้อไม้หรือเส้นใย ช่วยทำให้เยื่อที่ได้มีความอ่อนนุ่ม และขาวสะอาด

2. โซเดียมซัลไฟด์ (Sodium sulfide; Na<sub>2</sub>S) เตรียมอยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้น 20% (w/v) ทำหน้าที่ สกัดสารเคมีในเนื้อไม้หรือเส้นใย ช่วยทำให้เยื่อที่ได้มีความแข็งแรง

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมพอสิต

1. น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia concentrated natural latex, HA TZ type) ความเข้มข้น 60% DRC ผลิตโดยบริษัท ฉลองน้ำยางชั้น จำกัด

2. น้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber, SBR) Buna20 ความเข้มข้น 40% DRC นำเข้าโดยบริษัท คีทเฮลล์ จำกัด

3. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ลักษณะเป็นผงสีขาวครีมขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยาง เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด

4. เบนโทไนท์ เคลย์ (Bentonite Clay) ลักษณะเป็นผงสีเทา ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม

5. กำมะถัน (Sulphur, S) เป็นกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด

6. วัลทามอล (Vultamol) ลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลทอง ทำหน้าที่เป็นสารช่วยการกระจาย

7. ไชน่า เคลย์ (China clay) ลักษณะเป็นผงดินละเอียดสีขาวนวล ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรง และเพิ่มความเสถียรให้แก่ น้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน

8. เรซิน ไม้ (Wood rosin) ลักษณะเป็นก้อนสีอำพันใส ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เพิ่มความเหนียว และเพิ่มสมบัติการยึดติดกับวัสดุที่เคลือบ

9. โพแทสเซียมลอเรต (Potassium laurate) ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่ช่วยเป็นสารเพิ่มความคงตัว และป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง

10. ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc-N-diethyl dithiocarbamate, ZDEC) มีลักษณะเป็นผงสีขาวเทาขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งให้ยางสุก เตรียมสำเร็จจาก บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด

11. วิงสเตย์ แอล (Wingstay L) ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่ช่วยเป็นสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ

หมายเหตุ : บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด ตั้งอยู่ที่ 40/204 อ.รามคำแหง (สุขาภิบาล 3) แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240



### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 1. สมบัติทางเคมีบางประการของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว

เส้นใยปาล์มที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุกันกระแทกเป็นเส้นใยปาล์มจากผลปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว ซึ่งสมบัติทางเคมีบางประการของเส้นใยปาล์มจากผลปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นสามารถแสดงได้ดัง Table 4

Table 4. Some chemical properties of palm pressed fibre compared with the other fibres.

Items	Palm pressed fibre (% d.b.)	Vine shoots (Jiménez <i>et al.</i> , 2005) (% d.b.)	Wheat straw (Jiménez <i>et al.</i> , 1996) (% d.b.)	Rice straw (Jiménez <i>et al.</i> , 1976) (% d.b.)	Esparto (Alonso, 1976) (% d.b.)	Eucalyptus (Jiménez <i>et al.</i> , 1996; Alonso, 1976) (% d.b.)	Pine (Jiménez <i>et al.</i> , 1996; Alonso, 1976) (% d.b.)
Moisture	5.20	8.08	8.27	9.83	7.33	7.36	7.27
Ash	4.20	3.49	7.22	15.39	2.30	0.53	0.45
Cold-water solubility	10.30	12.83	11.44	10.53	7.32	2.52	1.58
Hot-water solubility	15.20	16.09	13.80	16.57	8.48	2.88	1.95
1% soda solubility	40.20	39.21	30.04	46.94	34.01	12.62	9.94
Ethanol-benzene extractables	5.53	4.87	11.49	1.40	3.24	1.28	1.75
Cellulose	34.60	41.14	59.04	-	-	66.01	81.53
Lignin	18.40	20.27	18.94	25.23	18.01	20.60	27.54
Pentosan	8.88	19.17	20.48	22.52	22.15	21.23	13.07

Table 4 แสดงถึงสมบัติทางเคมีบางประการของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วเปรียบเทียบกับพืชอื่นๆ อาทิ เช่น ต้นสน ต้นยูคาลิปตัส และไม้ล้มลุกต่างๆ (ฟางข้าว ฟางข้าวสาธิต วัชพืชและต้นหญ้าเอสปาร์โต) (Jiménez *et al.*, 2006; Alonso, 1976) พบว่า ปริมาณความชื้นของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว จะมีค่าร้อยละ 5.20 โดยน้ำหนักแห้งซึ่งต่ำกว่าพืชอื่นๆ ทั้งหมด และเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วจะมีปริมาณเถ้า เท่ากับร้อยละ 4.20 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งต่ำกว่าฟางข้าวและฟางข้าวสาธิตแต่มีปริมาณเถ้าสูงกว่าพืชจำพวกต้นสน ต้นยูคาลิปตัส และต้นหญ้าเอสปาร์โต ซึ่งปริมาณเถ้าของเส้นใยพืชจำพวกไม้ล้มลุกโดยปกติจะมีปริมาณมาก เนื่องจากมีองค์ประกอบของซิลิโคน สารอาหารและเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าพืชอื่น

ความสามารถของการละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็นของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วมีค่าสูงกว่าพืชจำพวกต้นสน ต้นยูคาลิปตัส และต้นหญ้าเอสปาร์โตแต่มีค่าใกล้เคียงกับกับไวนัสทูตและพืชจำพวกไม้ล้มลุก ความสามารถในการละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็นสามารถบ่งบอกถึงปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ แทนนิน กัม น้ำตาลและแป้งในเส้นใยของพืชดังกล่าว

ความสามารถของการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วมีค่าร้อยละ 40.20 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับไวนัสทูตนั้นมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าพืชจำพวกไม้แต่มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าว ซึ่งความสามารถของการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของเส้นใยนั้นสามารถบ่งบอกถึงปริมาณของเซลลูโลสที่ถูกสกัดในระหว่างกระบวนการของการสกัดเยื่อซึ่งจะสัมพันธ์กับสมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยพืช (Gorminho *et al.*, 2006)

ความสามารถของการละลายในสารละลายโซลเวนท์ (สารละลายเอทานอลและเบนซีน) ของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว มีค่าร้อยละ 5.53 โดยน้ำหนักแห้งนั้นใกล้เคียงกับกับไวนัสทูตแต่มีค่ามากกว่าฟางข้าว ต้นหญ้าเอสปาร์โต ต้นยูคาลิปตัส และต้นสน โดยความสามารถของการละลายในสารละลายโซลเวนท์ของเส้นใยนั้นบ่งบอกถึงองค์ประกอบต่างๆ ในเนื้อไม้ที่ถูกสกัดออกระหว่างกระบวนการสกัดเส้นใย อาทิเช่น คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ เกลือ แวกซ์ ไขมัน เรซิน และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่สามารถระเหยได้ (Jiménez *et al.*, 2006)

ปริมาณเซลลูโลสและลิกนินของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วมีค่าน้อยกว่าพืชชนิดอื่นๆ คือมีค่าร้อยละ 34.60 และร้อยละ 18.40 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และปริมาณเพนโทแซนของเส้นใยปาล์มที่ผ่านสกัดน้ำมันแล้วมีค่าร้อยละ 8.88 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าต่ำกว่าพืชชนิดอื่นๆ โดยปริมาณของเพนโทแซนนี้สามารถบ่งบอกการรักษาและสูญเสียของเฮมิเซลลูโลสในระหว่างกระบวนการสกัดเส้นใย เนื่องจากปริมาณของเฮมิเซลลูโลสนั้นมีผลต่อความแข็งแรงของเยื่อกระดาษ โดยปกติแล้วปริมาณของเพนโทแซนในพืชจำพวกไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง มีค่าร้อยละ 7-10 และร้อยละ 19-25 ตามลำดับ (TAPPI, 1984)

## 2. การเตรียมเยื่อด้วยกระบวนการทางเคมี

สภาวะการผลิตเยื่อด้วยกระบวนการกราฟท์ที่เหมาะสมที่สุดได้จากสภาวะการสกัดเยื่อที่มีค่า effective alkali ร้อยละ 25 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) โดยใช้อุณหภูมิในระหว่างการสกัดเยื่อ 160 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัดเยื่อ 90 นาที (25/160/90) ซึ่งปริมาณผลผลิตเยื่อที่ได้จากการสกัดด้วยกระบวนการกราฟท์สภาวะนี้จะมีค่าร้อยละ 21.10 โดยน้ำหนักแห้ง (แสดงดัง Figure 33) ซึ่งมีปริมาณผลผลิตน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอื่นๆ เช่น หญ้าแฝก ไม้กระถิน และไม้ *Acacia crassicaarpa* ที่มีปริมาณผลผลิตมากกว่าร้อยละ 45 และจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางสถิติ พบว่า ปริมาณผลผลิตเยื่อที่ได้จากการผลิตเยื่อด้วยกระบวนการกราฟท์แต่ละสภาวะนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

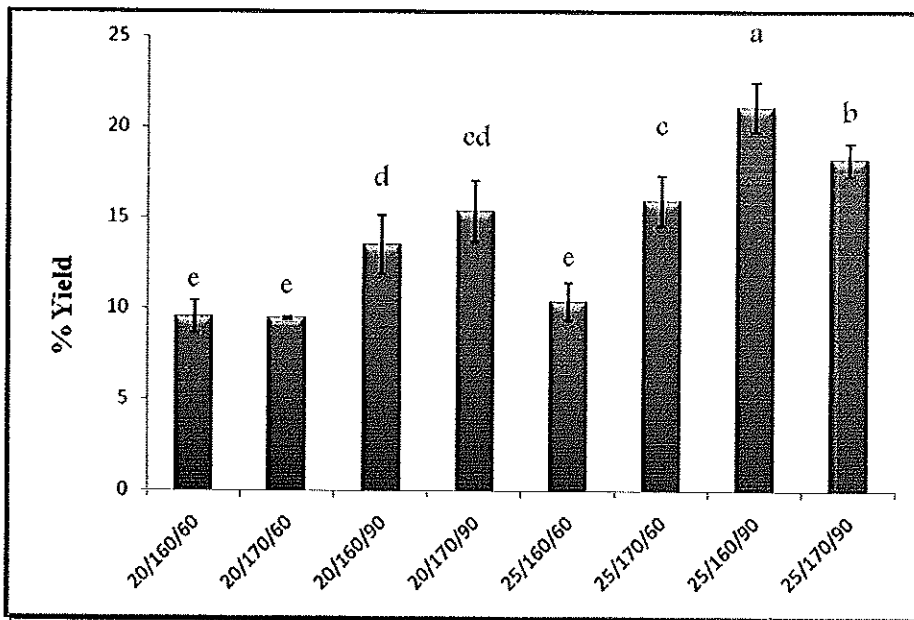


Figure 33. Percent yield of palm pressed fibre cooked with Kraft process.

เยื่อที่ผลิตได้จากสภาวะนี้จะให้ค่าความต้านทานแรงดึง (TAPPI T 494 om 88) ที่มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1.086 kN/m (แสดงดัง Figure 34) ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่ได้จากสภาวะการผลิตเยื่อต่างๆ นั้นอยู่ในช่วง 0.685-1.086 kN/m. และจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางสถิติ พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นเยื่อที่ผลิตด้วยกระบวนการกราฟท์แต่ละสภาวะนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

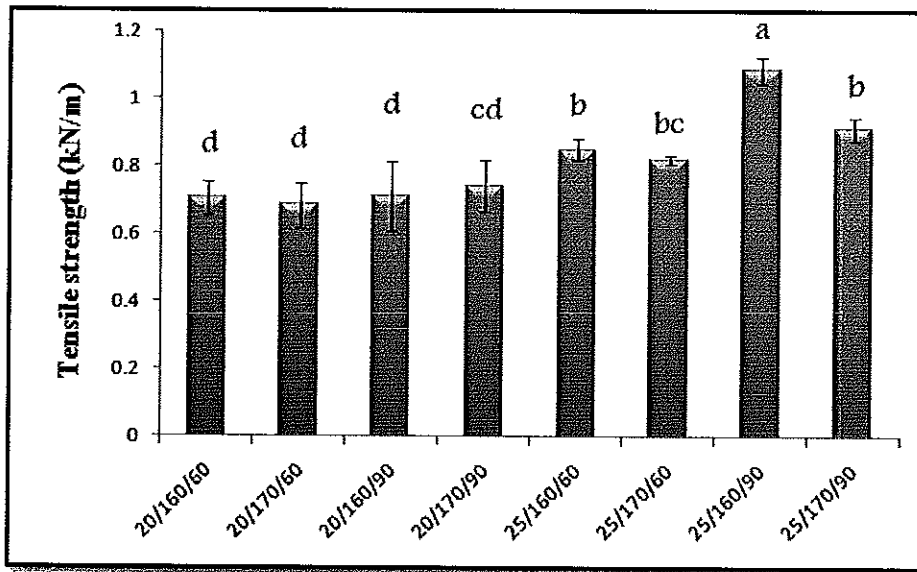


Figure 34. Tensile strength of palm pressed fibre cooked with Kraft process.

นอกจากนี้ สถานะการผลิตเยื่อยังมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อที่ผ่านการกำจัดออกแล้ว โดยเยื่อที่ผ่านกระบวนการคราฟท์ที่สถานะการสกัดเยื่อที่มีค่า effective alkali ร้อยละ 25 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) โดยใช้อุณหภูมิในระหว่างการสกัดเยื่อ 160 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัดเยื่อ 90 นาที (25/160/90) จะมีปริมาณความชื้น ปริมาณลิกนินและเซลลูโลส เท่ากับ 2.16 9.46 และ 63.15 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (แสดงดัง Table 5) และมีค่า Kappa number เท่ากับ 20.40 และเมื่อนำเยื่อที่ได้มาวัดค่าสี (ASTM D 2244) พบว่า สีของเยื่อที่ผลิตด้วยกระบวนการคราฟท์ที่สถานะนี้จะมีสีน้ำตาล ค่อนข้างคล้ำ โดยมีค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 51.22 4.42 และ 13.15 ตามลำดับ (แสดงดัง Table 5)

Table 5. Some properties of Kraft pulp of palm pressed fibre.

Title	20/160/60	20/170/60	20/160/90	20/170/90	25/160/60	25/170/60	25/160/90	25/170/90
<b>Chemical compositions</b>								
Moisture content	3.41	2.47	2.71	3.12	2.63	2.44	2.16	2.82
Lignin	13.61	13.01	12.79	12.42	8.77	8.54	9.46	9.23
Cellulose	58.07	57.40	60.71	60.13	60.11	61.52	63.15	62.17
<b>Color evaluation</b>								
L*	50.11	50.56	50.58	50.82	51.75	52.34	51.22	50.61
a*	5.42	5.38	5.34	5.50	4.24	4.21	4.42	4.45
b*	14.15	14.28	14.11	13.98	13.41	13.41	13.15	13.47

### 3. การเตรียมและทดสอบแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอิน

ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปน้ำหนัก 400 กรัมต่อตารางเมตรที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินสูตรต่างๆ มีลักษณะปรากฏแสดงดัง Figure 35 ซึ่งจากการทดลองพบว่า น้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินสูตรที่ 1 จะให้ลักษณะปรากฏที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (แสดงดัง Figure 35) จากรูปจะเห็นได้ชัดเจนว่าตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินสูตรที่ 1 จะมีพื้นผิวหน้าที่เรียบแตกต่างจากสูตรที่ 2 และ 3 ที่มีพื้นผิวขรุขระและมีลักษณะของฟองอากาศปรากฏอยู่ เนื่องจากความสามารถในการกำจัดฟองอากาศของน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันทั้งนี้เพราะปริมาณของ wood rosin dispersion ในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน การเพิ่มปริมาณของ wood rosin dispersion ในน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินมากขึ้น จะทำให้ปริมาณของฟองอากาศในน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินเพิ่ม

มากขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ใน wood rosin dispersion ยังมีเบนโทไนท์เป็นองค์ประกอบ โดยมีหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดลักษณะผิวขรุขระบนผิวหน้าตัวอย่างที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอิน

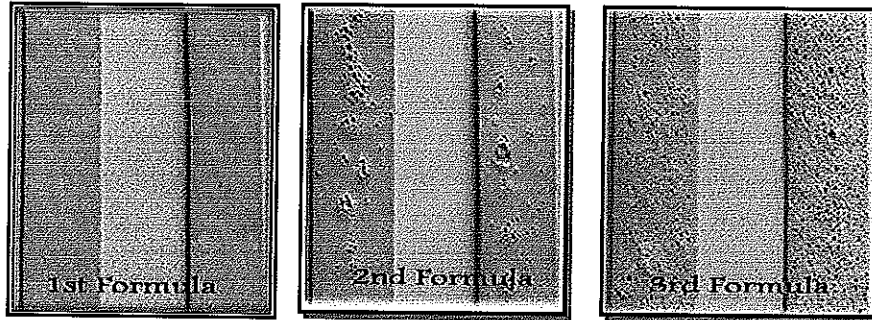


Figure 35. Appearance of the composite latex coating made from SBR rubber of each formula.

สมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอิน

สมบัติทางกลของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอิน เช่น ความต้านทานแรงดึง (TAPPI T 494 om 88) ระยะยืดและความต้านทานแรงคั้นทะลุ (ASTM D 774-67) จะแสดงดัง Figure 36 Figure 37 และ Figure 38 ตามลำดับ

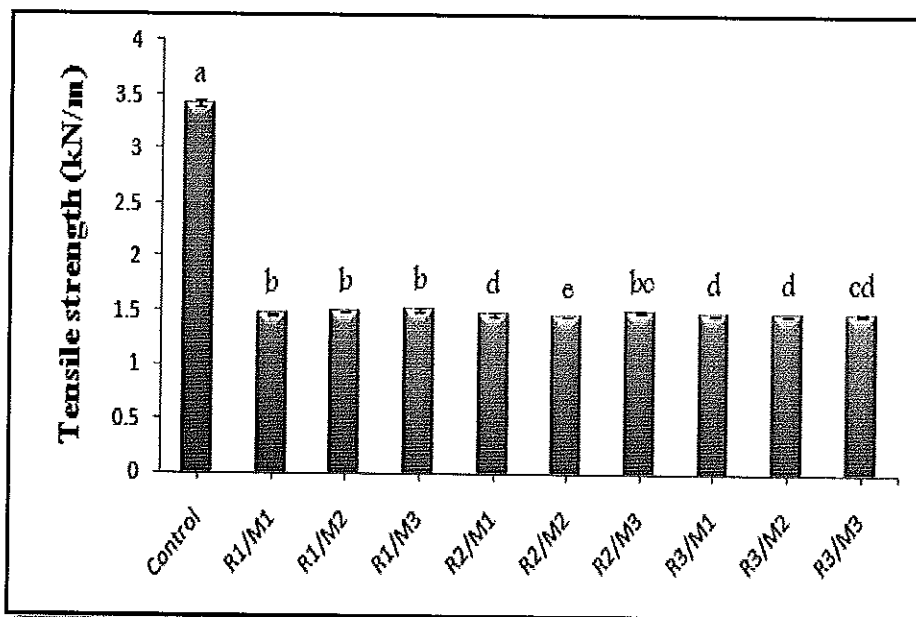


Figure 36. Tensile strength of pulp sheets coated with the composite SBR latex.

ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนของแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีค่าประมาณ 1.444-1.508 kN/m (แสดงดัง Figure 36) และสามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก Table 13 ในภาคผนวก โดยค่าที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ทำการเคลือบ (แผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมมีน้ำหนัก 400 กรัมต่อตารางเมตร) เนื่องจากแผ่นเยื่อขึ้นรูปดูดซับน้ำที่อยู่ในน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนแม้ว่าจะนำแผ่นเยื่อขึ้นรูปไปผ่านการอบให้แห้งแต่แผ่นเยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตยังมีความชื้นสูงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างมีค่าน้อย ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า น้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนแต่ละสูตรและระยะเวลาที่ใช้ในการเคลือบที่แตกต่างกันจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ ) และพบว่า ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 (R1) ระยะเวลาในการเคลือบ 1 2 และ 3 นาที (M1, M2 และ M3 ตามลำดับ) จะมีค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่าตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรอื่น คือ มีค่าประมาณ 1.504-1.508 kN/m (แสดงดัง Figure 36)

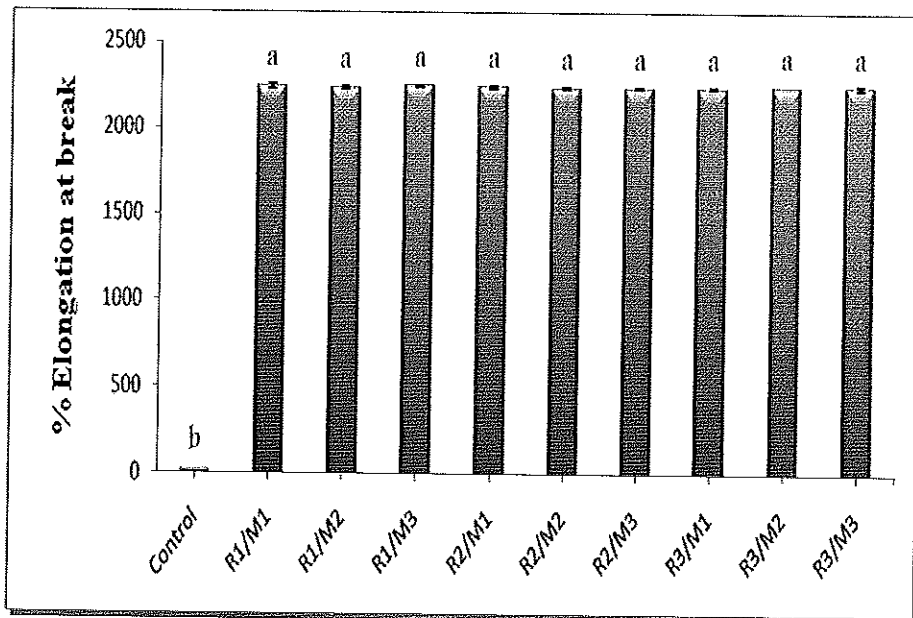


Figure 37. Percent elongation at break of pulp sheets coated with the composite SBR latex.

ในทางกลับกันระยะยืดของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนแต่ละสูตรนั้นมีความสูงกว่าระยะยืดของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุม (แสดงดัง Figure 37) เนื่องจากน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนได้เพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นให้กับตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูป ซึ่งสมบัติความยืดหยุ่นนี้มีความสำคัญมากกับวัสดุกันกระแทก อย่างไรก็ตาม น้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนแต่ละสูตรและระยะเวลาที่ใช้ในการเคลือบที่แตกต่างกันนั้นจะให้ระยะยืดของตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \geq 0.05$ ) เนื่องจากมีปริมาณน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนในแต่ละสูตรเท่ากัน และเมื่อพิจารณาความต้านทานแรงคั้นทะลุของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนแต่ละสูตรเปรียบเทียบกับตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \geq 0.05$ ) (แสดงดัง Figure 38)

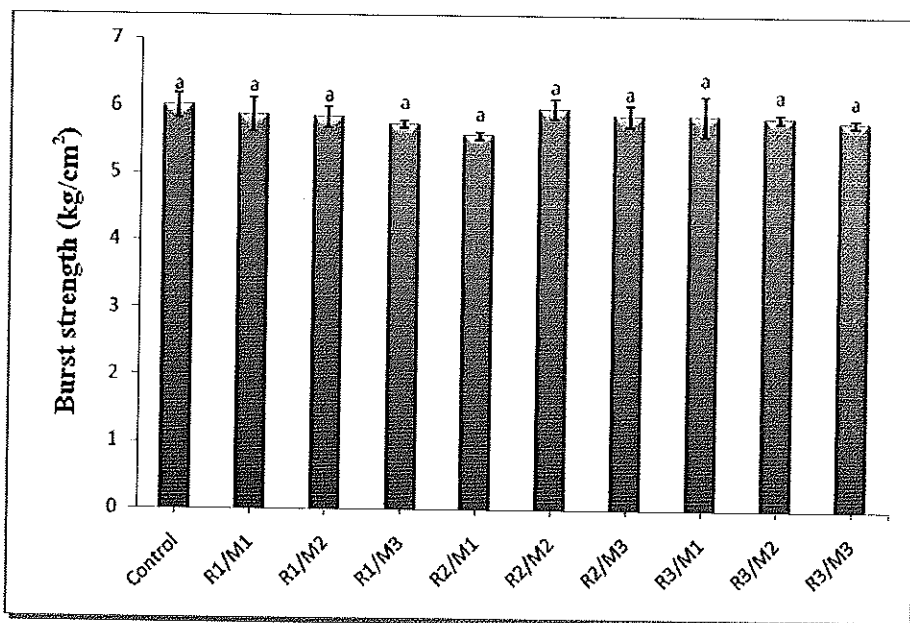


Figure 38. Burst strength of pulp sheets coated with the composite SBR latex.

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 (R1) และใช้ระยะเวลาในการเคลือบ 1 นาที (M1) เป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากลักษณะปรากฏและสมบัติทางกลต่างๆ ของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 อีกทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการเคลือบ 1 นาทีสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทดลองได้อีกด้วยขณะที่สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจาก



น้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินในสูตรที่ 1 อาทิเช่น ค่าสี (ASTM D 2244) ค่าการดูดซับน้ำ (TAPPI T 441 os-77) สามารถแสดงดัง Table 6 พบว่า สีของตัวแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินในสูตรที่ 1 จะมีสีเหลืองอ่อน โดยมีค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 64.32 3.15 และ 29.50 ตามลำดับ (แสดงดัง Table 6)

Table 6. Some properties of pulp sheets coated with the composite SBR latex.

Conditions	Color evaluation			Water absorption (g/m <sup>2</sup> )
	L*	a*	b*	
1 <sup>st</sup> Formula / 1 minute.	66.13	2.55	29.85	7.33
1 <sup>st</sup> Formula / 2 minutes.	63.18	3.32	29.65	7.28
1 <sup>st</sup> Formula / 3 minutes.	65.19	2.87	29.54	7.31
2 <sup>nd</sup> Formula / 1 minute.	64.59	2.51	29.06	8.03
2 <sup>nd</sup> Formula / 2 minutes.	62.54	3.71	29.41	8.14
2 <sup>nd</sup> Formula / 3 minutes.	65.81	2.68	29.56	8.08
3 <sup>rd</sup> Formula / 1 minute.	63.38	2.65	29.45	8.65
3 <sup>rd</sup> Formula / 2 minutes.	64.78	2.78	29.26	8.47
3 <sup>rd</sup> Formula / 3 minutes.	62.64	3.23	29.44	8.55
Control	51.22	4.42	13.15	105

นอกจากนี้ ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินสูตรที่ 1 จะให้ค่าการดูดซับน้ำเท่ากับ 7.33 g/m<sup>2</sup> เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมที่ไม่เคลือบน้ำยางซึ่งมีค่าการดูดซับน้ำเท่ากับ 105 g/m<sup>2</sup> (แสดงดัง Table 6) แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินสูตรที่ 1 มีสมบัติการป้องกันความชื้นดีกว่าตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมที่ไม่เคลือบน้ำยาง

อย่างไรก็ตาม ผลจากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ระยะยืดและค่าความต้านทานแรงดันทะลุของแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินสูตรที่ 1 ยังไม่สามารถบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการนำน้ำยาง

คอมพอสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 ไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปได้

#### 4. การเตรียมและทดสอบแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์

ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปน้ำหนัก 400 กรัมต่อตารางเมตรที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์จะมีลักษณะปรากฏแสดงดัง Figure 39 ซึ่งผิวสัมผัสของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์จะมีลักษณะยืดหยุ่นและนุ่มกว่าแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพอสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนซึ่งมีลักษณะแข็งเป็นสีเหลืองอ่อน นอกจากนี้ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์มีลักษณะเรียบ และ โปร่งแสงสามารถมองเห็นเนื้อวัสดุภายในได้ (แสดงดัง Figure 39)

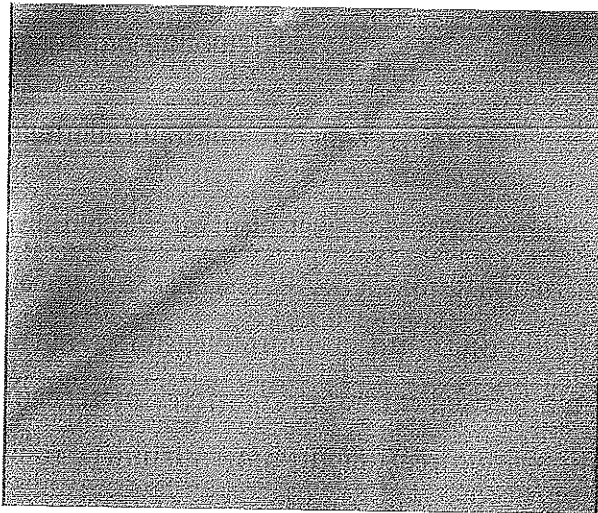


Figure 39. Appearance of the NR compound.

สมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์  
สมบัติทางกลของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ เช่น ความ  
ต้านทานแรงดึง (TAPPI T 494 om 88) ระยะยืดและความต้านทานแรงฉีกขาด (ASTM D 774-67)  
จะแสดงดัง Figure 40 Figure 41 และ Figure 42 ตามลำดับ

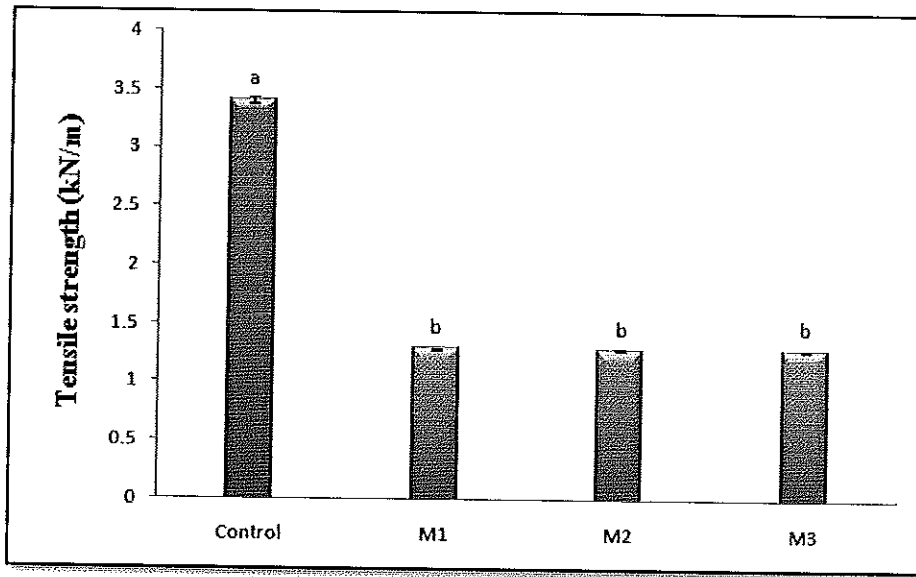


Figure 40. Tensile strength of pulp sheet coated with the NR compound.

ถ้าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ที่ระยะเวลาในการเคลือบแตกต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าตั้งแต่ 1.284-1.293 kN/m (แสดงดัง Figure 40) และสามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก Table 14 แต่จะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ผ่านการเคลือบ (แผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมมีน้ำหนัก 400 กรัมต่อตารางเมตร) เนื่องจากแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดชุบน้ำที่อยู่ในน้ำยางคอมพาวด์ซึ่งผลิตจากน้ำยางธรรมชาติแม้ว่าจะนำแผ่นเยื่อขึ้นรูปไปผ่านการอบให้แห้งแต่แผ่นเยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ยังมีความชื้นสูงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างมีค่าน้อย ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าน้ำยางคอมพาวด์ที่มีระยะเวลาในการเคลือบที่แตกต่างกันจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \geq 0.05$ ) เช่นเดียวกันกับในกรณีของการเคลือบตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางคอมพอลิทีทซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน

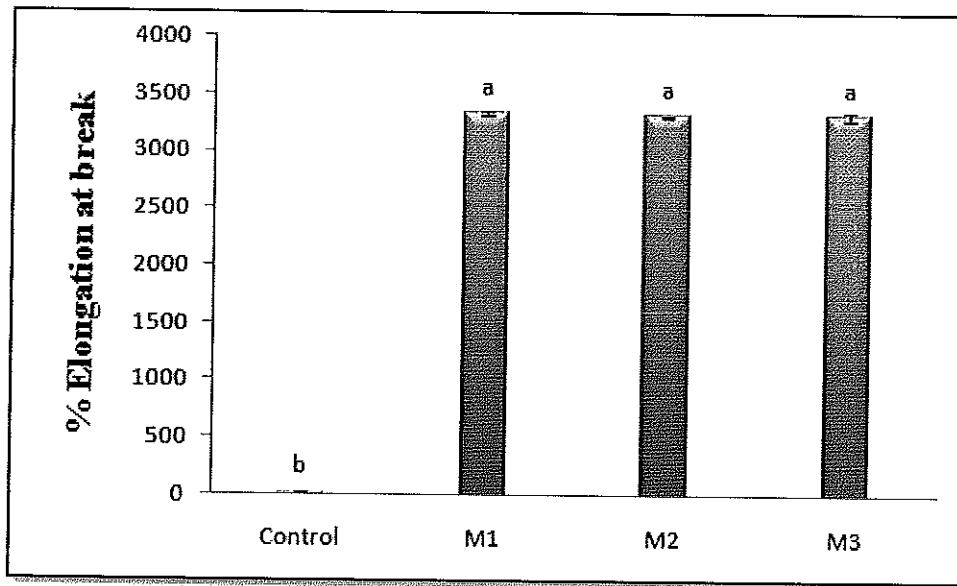


Figure 41. Percent elongation at break of pulp sheet coated with the NR compound.

ในทางกลับกันระยะเวลาที่ยืดของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์โดยมีระยะเวลาในการเคลือบที่แตกต่างกันจะมีค่าสูงกว่าระยะเวลาที่ยืดของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมเช่นเดียวกันกับการใช้น้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีน (แสดงดัง Figure 41) เนื่องจากน้ำยางคอมพาวด์ได้เพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นให้กับตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูป อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ซึ่งมีระยะเวลาในการเคลือบที่แตกต่างกันจะให้ระยะยืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \geq 0.05$ ) สำหรับของค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างเยื่อแผ่นขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมจะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \geq 0.05$ ) (แสดงดัง Figure 42)

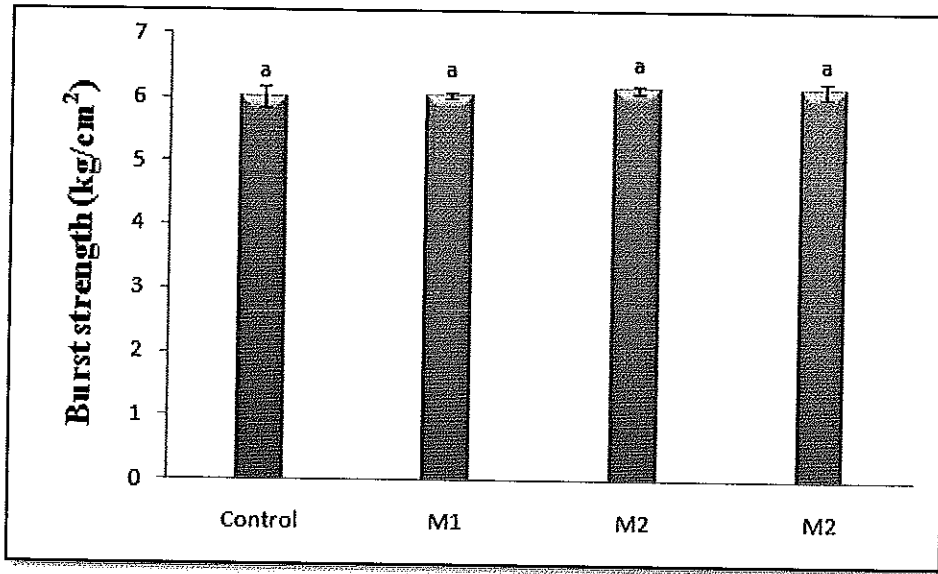


Figure 42. Burst strength of pulp sheet coated with the NR compound.

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า น้ำยางคอมพาวด์ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเคลือบ 1 นาที (M1) เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากปัจจัยด้านความรวดเร็วในการผลิต เนื่องจากสมบัติทางกลต่างๆ ของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ซึ่งมีระยะเวลาการเคลือบที่แตกต่างกันจะให้สมบัติทางที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) ขณะที่สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ อาทิเช่น ค่าสี (ASTM D 2244) ค่าการดูดซับน้ำ (TAPPI T 441 os-77) สามารถแสดงดัง Table 7 พบว่า สีของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์จะมีสีเหลืองอ่อน และ โปร่งแสง โดยมีค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 79.09 0.36 และ 23.25 ตามลำดับ (แสดงดัง Table 7)

Table 7. Some properties of pulp sheets coated with the NR compound.

Conditions	Color evaluation			Water absorption (g/m <sup>2</sup> )
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	
NR compound / 1 minute.	79.09	0.36	23.25	9.00
NR compound / 2 minutes.	79.34	0.35	23.01	8.78
NR compound / 3 minutes.	79.17	0.53	23.58	8.94
Control	51.22	4.42	13.15	105

นอกจากนี้ ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์จะให้ค่าการดูดซับน้ำมีค่าประมาณ 8.78-9.00 g/m<sup>2</sup> เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมที่ไม่เคลือบน้ำยางซึ่งค่าการดูดซับน้ำเท่ากับ 105 g/m<sup>2</sup> (แสดงดัง Table 7) แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ มีสมบัติการป้องกันความชื้นดีกว่าตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปชุดควบคุมที่ไม่เคลือบน้ำยางแต่มีค่าสูงกว่าค่าการดูดซับน้ำของตัวอย่างแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอินเล็กน้อย

อย่างไรก็ตาม ผลจากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ระยะยืดและค่าความต้านทานแรงดันทะลุของแผ่นเยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ยังไม่สามารถบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการนำน้ำยางน้ำยางคอมพาวด์ไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปได้

## 5. การผลิตและการทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

นำเยื่อกราฟท์ของเส้นใยปาล์มจากผลปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดซึ่งได้จากสภาวะการสกัดเยื่อที่มีค่า effective alkali ร้อยละ 25 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) โดยใช้อุณหภูมิในระหว่างการสกัดเยื่อ 160 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัดเยื่อ 90 นาที (25/160/90) มาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

### 5.1 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

จากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยการใช้เยื่อกราฟท์ของเส้นใยปาล์มจากผลปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วเพียงอย่างเดียว (100:0) พบว่า ไม่สามารถขึ้นรูปเยื่อเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุกันกระแทกได้ เนื่องจากเยื่อใยปาล์มไม่ได้ผ่านการบดเยื่อและมีขนาดความยาวของเส้นใยสั้น คือ มีขนาดความยาวของเส้นใยประมาณ  $1.48 \pm 0.23$  มิลลิเมตร มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อกราฟท์ของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วเพียงอย่างเดียวจะเกิดการประสานตัวกันของเส้นใยที่ไม่แข็งแรงและเกิดแตกหักได้ง่ายในขณะที่แกะชิ้นงานตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปออกจากตัวแม่พิมพ์ ดังนั้นจึงทำการทดลองใหม่โดยผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยการใช้เยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกเพียงอย่างเดียว (0:100) จากการทดลองพบว่า สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกได้และสามารถแกะชิ้นงานผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปออกจากแม่พิมพ์ได้อย่างไม่มีปัญหา เนื่องจากเส้นใยของเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกเป็นเส้นใยยาว โดยมีขนาดความยาวของเส้นใยประมาณ  $3.18 \pm 0.18$  มิลลิเมตร ขณะที่ความยาวเส้นใยของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทางการค้ามีขนาดประมาณ  $1.04 \pm 0.38$  มิลลิเมตร ด้วยเหตุนี้ จึงมี

การทดลองผสมเยื่อสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูประหว่างเยื่อคราฟท์ของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูก

จากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยการผสมเยื่อคราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่า การผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยการผสมเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกและเยื่อคราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วในอัตราส่วน 30:70 40:60 และ 50:50 จะสามารถขึ้นรูปได้และสามารถแกะผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย แต่การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยการผสมระหว่างเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกและเยื่อคราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วที่อัตราส่วน 20:80 และ 10:90 จะได้ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เกิดรอยแตก ไม่แข็งแรง และแตกหักง่ายในขณะที่นำออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผสมระหว่างเยื่อคราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตโดยเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้า (บริษัท เบทาโกร จำกัด) สามารถแสดงดัง Figure 43

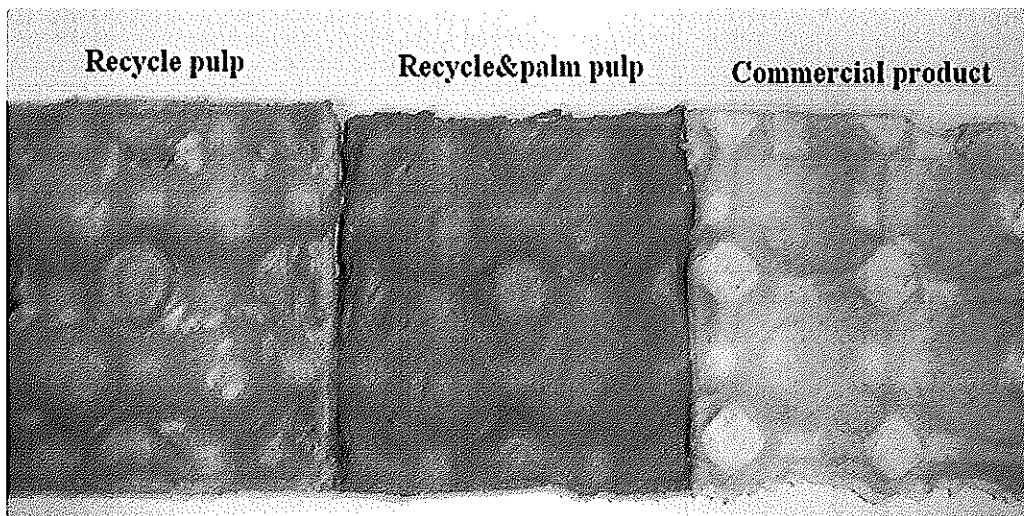


Figure 43. Appearances of molded pulp products made of recycle pulp, recycle and palm pulp mix and commercial pulp.

## 5.2 สมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

สมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปสามารถทดสอบด้วยการวัดค่าความต้านทานแรงกด (ASTM D 642) โดยทำการทดสอบผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทั้งชนิดที่ขึ้นรูปด้วยการผสมระหว่างเยื่อกราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูก ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดที่ขึ้นรูปด้วยการใช้เยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูก และผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้า ซึ่งผลการทดสอบแสดงดัง Figure 44

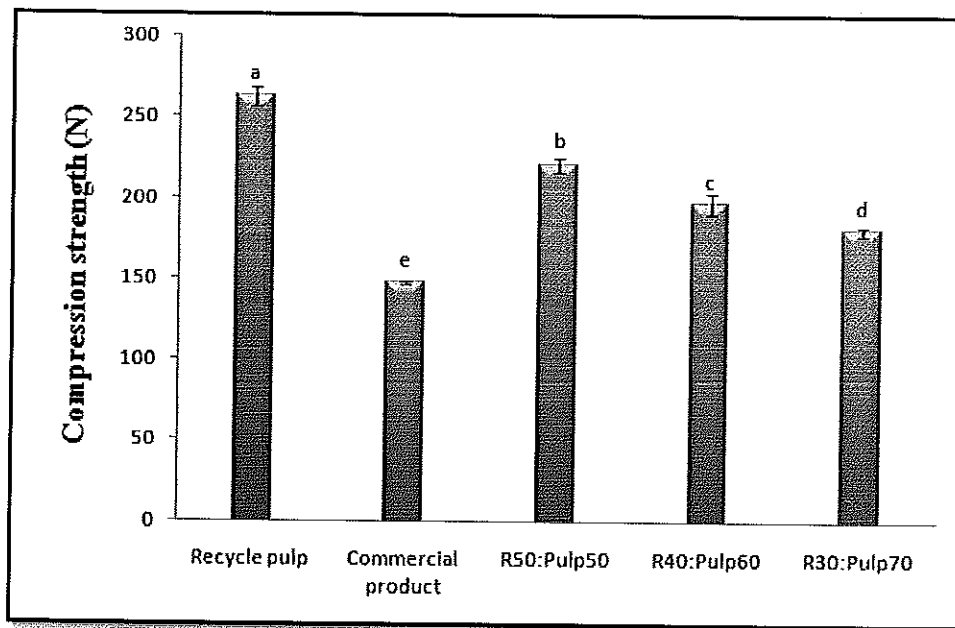


Figure 44. Compression strength of molded pulp products.

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดที่ขึ้นรูปด้วยการผสมระหว่างเยื่อกราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกมีค่าความต้านทานแรงกดระหว่าง 180.83- 221.47 N ซึ่งมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าที่มีค่าความต้านทานแรงกดเพียง 148.08 N แต่มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงกดของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดที่ขึ้นรูปด้วยการใช้เยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกที่มีค่า 262.70 N (แสดงดัง Figure 44) และสามารถคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผสมระหว่างเยื่อกราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกโดยพิจารณาจากค่าความความต้านทานแรงกด นั่นคือ อัตราส่วนผสมระหว่างเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกและเยื่อใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วที่อัตราส่วน 1:1 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงกดมากที่สุด คือ 221.47 N ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตในอัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งอัตราส่วนระหว่างเยื่อกราฟท์ที่ผลิต



จากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเชื้อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษถูกฟูที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้ การทดสอบค่าความต้านทานแรงกดของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป ยังแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทุกชนิดที่ใช้ในการทดสอบจะเกิดการยุบตัวและแตกหักภายหลังจากการทดสอบซึ่งผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าจะมีการฉีกขาดอย่างมากจนไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้

## 6. การผลิตและทดสอบสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยาง

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตขึ้นจากการผสมระหว่างเยื่อกราฟท์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเชื้อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษถูกฟูมาเคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนในสูตรที่ 1 และน้ำยางคอมพาวด์เป็นเวลา 1 นาทีซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

### 6.1 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยาง

จากการทดลองเคลือบผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางคอมพาวด์โดยวิธีการจุ่ม (Dipping) พบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะมีความหนาเพิ่มขึ้นประมาณ 1 มิลลิเมตร ในขณะที่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีความหนาเพิ่มขึ้นประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถแสดงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบน้ำยางคอมโพสิตทั้ง 2 ชนิดเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบน้ำยางคอมโพสิตได้ดัง Figure 45

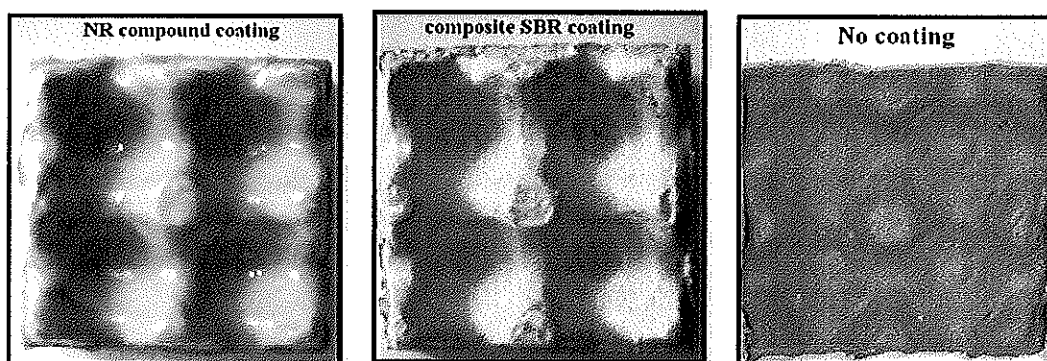


Figure 45. Appearance of molded pulp product with and without the latex coating.

## 6.2 สมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยาง

สมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบน้ำยางทั้ง 2 ชนิดสามารถทดสอบด้วยการวัดค่าความต้านทานแรงกด (ASTM D 642) โดยทำการทดสอบผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทั้งชนิดที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ และน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 โดยสามารถแสดงผลการทดลองดัง Figure 46

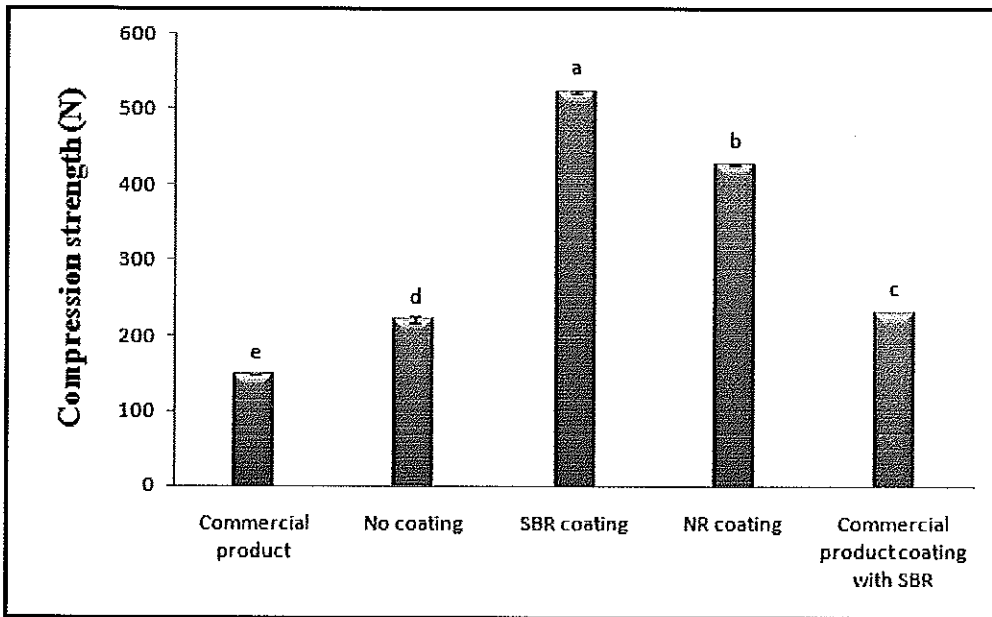


Figure 46. Compression strength of molded pulp product with and without the latex coating.

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์มีค่าความต้านทานแรงกดเท่ากับ 427.63 N ซึ่งมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้า (บริษัท เบทาโกร จำกัด) ที่มีค่าความต้านทานแรงกดเพียง 148.08 N แต่มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงกดของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 ซึ่งมีค่า 524.20 N (แสดงดัง Figure 46) นอกจากนี้การทดสอบค่าความต้านทานแรงกดยังแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์สามารถคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมได้ภายหลังการรับแรงกด ในขณะที่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 ไม่สามารถที่จะคืนตัวกลับได้ภายหลังการทดสอบค่าความต้านทานแรงกด ทั้งนี้ระหว่างการวัดค่าความต้านทานแรงกดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบน้ำยางทั้ง 2 ชนิด พบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะไม่เกิดการฉีกขาดเลยแม้แต่น้อยซึ่งเป็นสมบัติที่ดีที่สามารถนำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปกลับมาใช้งานใหม่ได้และเมื่อนำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้ามาเคลือบด้วยน้ำยาง

คอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 พบว่า ผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้ามีค่าความต้านทานแรงกดเพิ่มขึ้นประมาณ 100 N เมื่อเปรียบเทียบกับผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าปกติที่ไม่เคลือบน้ำยาง

#### 7. การทดสอบสมบัติทางกลด้วยการวัดค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกและค่าการดูดซับพลังงานของตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดต่างๆ

นำตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดต่างๆ ได้แก่ ตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้า ตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ไม่เคลือบน้ำยางและตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบน้ำยางทั้ง 2 ชนิด วัดค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (ค่า G) (ดัดแปลงจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3332) ผลการทดลองแสดงดัง Table 8 และ Figure 47 และ Figure 48 ตามลำดับ

Table 8. G value of molded pulp with and without the latex coating.

Sample	Height (inch)	G value	Physical appearance
Commercial product	15	40.63 ± 2.26	Broken egg.
No coating	15	33.88 ± 0.57	No broken egg.
The composite SBR latex coating	15	37.89 ± 0.75	No broken egg.
The NR compound coating	15	30.87 ± 1.50	No broken egg.

จากผลการทดลองหาค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (ค่า G) ของผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดต่างๆ พบว่า ตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์มีค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกน้อยที่สุด คือ 30.87 ซึ่งค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกที่มีค่าน้อยนี้เป็นลักษณะของวัสดุกันกระแทกที่ดี ในส่วนของตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้านั้นมีค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกมากที่สุด คือ 40.63 และเป็นผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดเดียวที่มีไขไก่ดิบซึ่งบรรจุอยู่แตกเสียหาย นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกของตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีค่ามากใกล้เคียงกับค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกของตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าเช่นกัน เนื่องจากตัวอย่างผลึกภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีลักษณะสัมผัสที่ค่อนข้างแข็งจึงทำให้ค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกมากตามไปด้วย

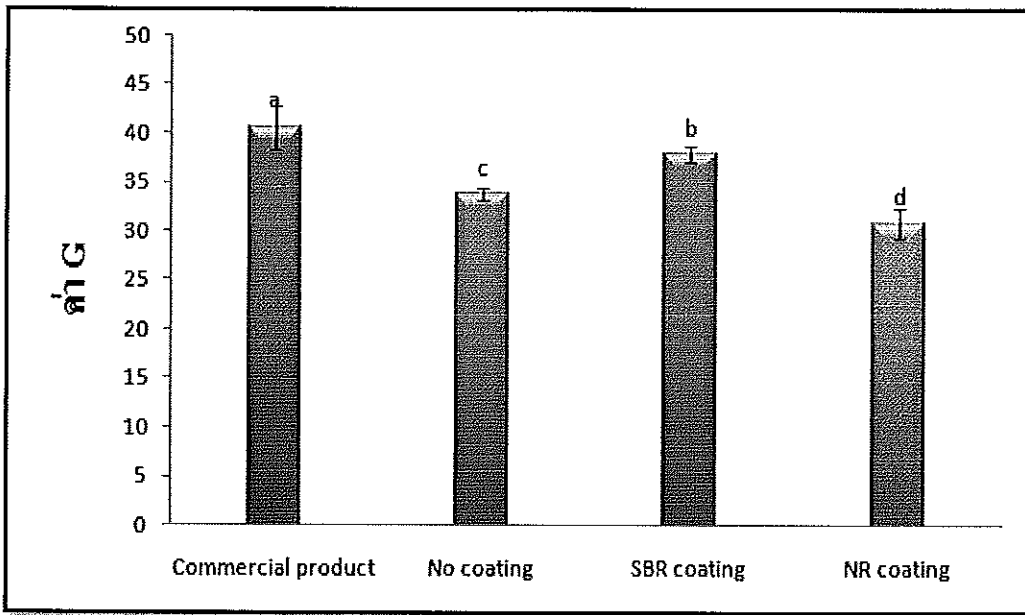


Figure 47. G value of molded pulp with and without the latex coating.

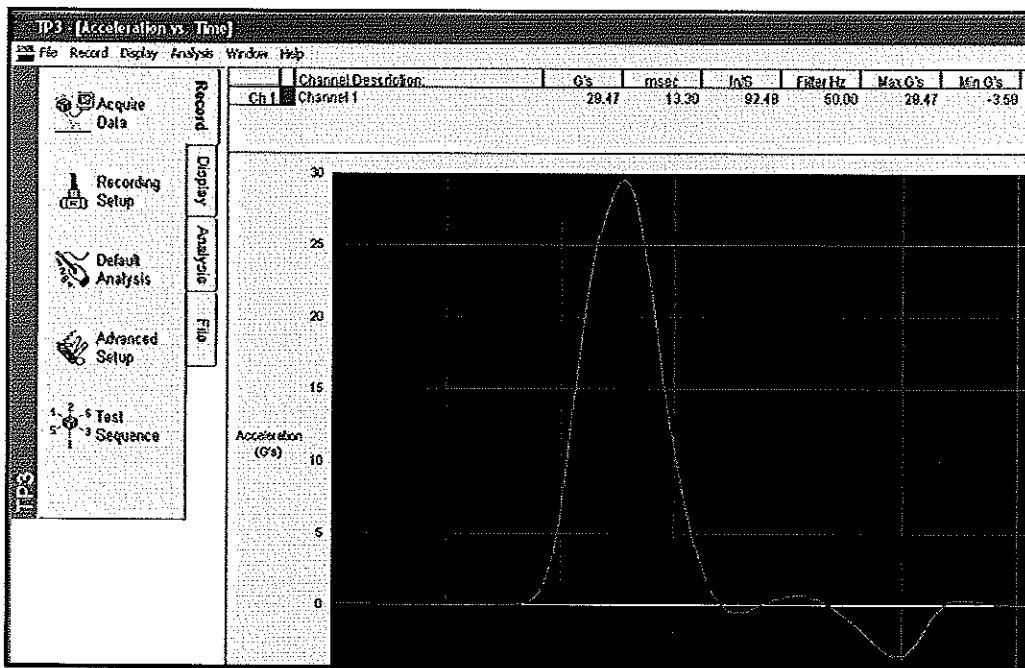


Figure 48. The relation of acceleration and shock duration of molded pulp coated with the NR compound.

จากการหาค่าการดูดซับพลังงาน โดยวัดพลังงานศักย์โน้มถ่วง (ASTM D 1709) ที่ทำให้ใบไค้ดิบที่บรรจุอยู่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดต่างๆ แตกเสียหาย สามารถแสดงดัง

Table 9 และ Figure 49

Table 9. Gravitational potential energy of molded pulp with and without the latex coating.

Sample	Height (inch)	Order	Gravitational potential energy (J)	Physical appearance
Commercial product	18	1	2.240	No broken.
		2		
		3		
	24	1	2.987	No broken.
		2		
		3		
	28	1	3.485	No broken.
		2		
		3		
	29	1	3.610	A few cracks.
		2		
		3		
30	1	3.734	Broken.	
	2			
	3			

Table 9. Gravitational potential energy of molded pulp with and without the latex coating. (Cont.)

		1		
	30	2	3.734	No broken.
		3		
		1		
	32	2	3.982	No broken.
		3		
No coating		1		
	33	2	4.107	A few cracks.
		3		
		1		
	34	2	4.231	Broken.
		3		
		1		
	34	2	4.231	No broken.
		3		
		1		
	38	2	4.730	No broken.
		3		
The composite SBR		1		
latex coating		2		
	39	2	4.852	A few cracks
		3		
		1		
	40	2	4.978	Broken.
		3		

Table 9. Gravitational potential energy of molded pulp with and without the latex coating. (Cont.)

The NR compound coating		1		
	40	2	4.978	No broken.
		3		
		1		
	46	2	5.725	No broken.
		3		
		1		
	50	2	6.223	A few cracks.
		3		
		1		
	51	2	6.347	A few cracks.
		3		
		1		
	52	2	6.472	Broken.
		3		

จากผลการทดลองใน Table 9 พบว่า ค่าการดูดซับพลังงานของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดต่างๆ ที่อยู่ในรูปพลังงานศักย์โน้มถ่วงนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามระดับความสูงที่ใช้ในการทดสอบซึ่งเป็นไปตามหลักการในสมการที่ 6 โดยจากผลการทดสอบหาค่าการดูดซับพลังงานซึ่งพิจารณาค่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ทำให้ไข่ไก่ดิบที่บรรจุอยู่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดต่างๆ แตกเสียหาย พบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์จะมีค่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ทำให้ไข่ไก่ดิบที่บรรจุอยู่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์แตกเสียหายมากที่สุด คือ 6.472 จูล หมายความว่าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดนี้ดูดซับพลังงานได้มากซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุกันกระแทกที่ดี แต่สำหรับค่าการดูดซับพลังงานของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าจะมีค่าเพียง 3.734 จูล (แสดงดัง Figure 49) ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับพลังงานของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดอื่น

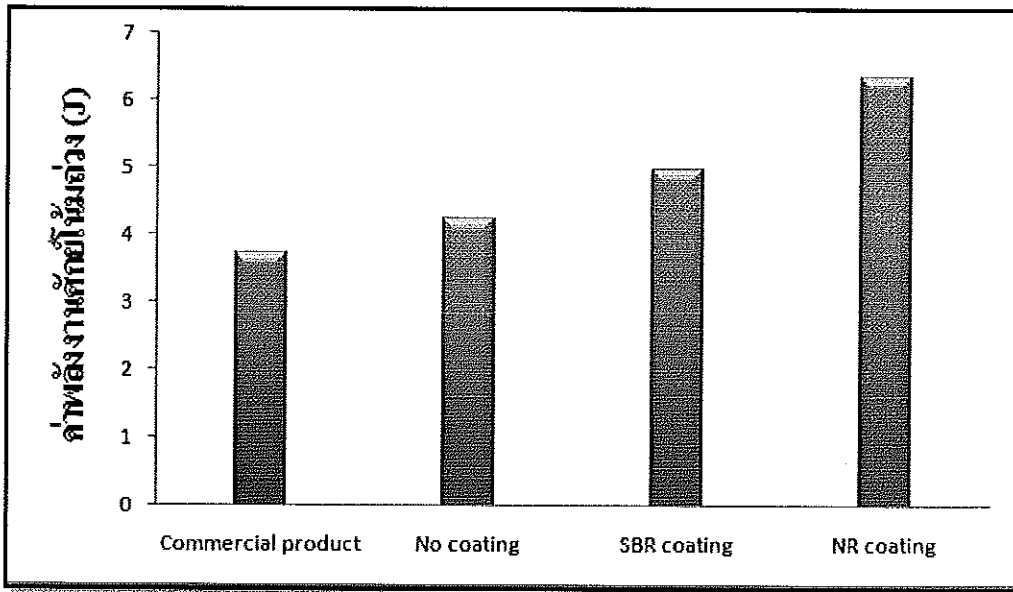


Figure 49. Gravitational potential energy of molded pulp coating with the latex.

นอกจากนี้ ยังพบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวที่เกิดการฉีกขาดเสียหายในระหว่างการทดสอบค่าการดูดซับพลังงาน และเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองหาค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (ค่า G) ทำให้สามารถสรุปได้ว่าน้ำยางคอมพาวด์และน้ำยางคอมโพสิตที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานและพัฒนาปรับปรุงสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปประเภทอื่นๆ เพื่อทำหน้าที่เป็นวัสดุกันกระแทกในการปกป้องผลิตภัณฑ์แทนผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าที่ใช้กันอย่างกว้างขวางปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การใช้งานน้ำยางทั้ง 2 ชนิดนี้จะต้องพิจารณาตัวผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ด้วยว่ามีมูลค่าเท่าไร และต้องการการปกป้องจากแรงกระแทกและแรงกดมากน้อยเพียงไร เนื่องจากว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีน้ำหนักหลังจากการเคลือบที่แตกต่างกัน สามารถแสดงดัง Table 10

Table 10. Weight of molded pulp.

Sample	Weight (g.)
Commercial product	35.06 ± 0.20
No coating	35.06 ± 0.41
The composite SBR latex coating	60.47 ± 0.48
The NR compound coating	76.10 ± 0.28



โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์จะมีน้ำหนักมากที่สุด คือ  $76.10 \pm 0.28$  กรัม แต่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพอสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 นั้นมีน้ำหนักเพียง  $60.47 \pm 0.48$  กรัม (แสดงดัง Table 10) โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าและตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ไม่เคลือบน้ำยางจะมีน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 35 กรัม ซึ่งถ้าสินค้าที่บรรจุในผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมีราคาสูง และต้องการการปกป้องจากแรงกระแทกและแรงกดมาก เช่น ขวดไวน์ราคาแพง แจกันเซรามิก และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ควรเลือกใช้ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์เนื่องจากมีสมบัติทางกล เช่น ค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกและค่าการดูดซับพลังงานดีกว่าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพอสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการนำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากเส้นใยปาล์มที่เคลือบด้วยน้ำยาง พบว่า ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากเส้นใยปาล์มที่เคลือบด้วยน้ำยางเหมาะที่จะนำไปใช้ป้องกันผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูง เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตมากกว่าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้า เพราะมีการนำเยื่อบริสุทธิ์ที่ผลิตจากเส้นใยปาล์มมาผสมกับเยื่อรีไซเคิล อีกทั้งยังมีการใช้น้ำยางเป็นสารเคลือบผิวเพื่อเพิ่มศักยภาพในการใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตขึ้นสามารถนำไปรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปใหม่ได้อีก ซึ่งเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานและยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

## 9. ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างเปรียบเทียบกับสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางทั้ง 2 ชนิด

การศึกษาลักษณะ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า ลักษณะการจัดเรียงของเยื่อกราฟท์ของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วจะมีการเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ ไม่ค่อยแน่น และมีปริมาณรูพรุนระหว่างเส้นใยและชั้นของเส้นใยมาก (สามารถแสดงดัง Figure 50 และ Figure 51) เนื่องจากเยื่อกราฟท์ของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วมีความยาวของเส้นใยสั้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวพันธะระหว่างเส้นใยน้อย (inter bonding) การเชื่อมประสานตัวกันของเส้นใยไม่แข็งแรงทำให้มีรูพรุนมาก และยังมีความฟูของเส้นใยมากเนื่องจากมีค่า apparent density น้อยแสดงดัง Table 11 ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความต้านทานแรงกดมีค่าน้อยและแตกหักเสียหายได้ง่าย

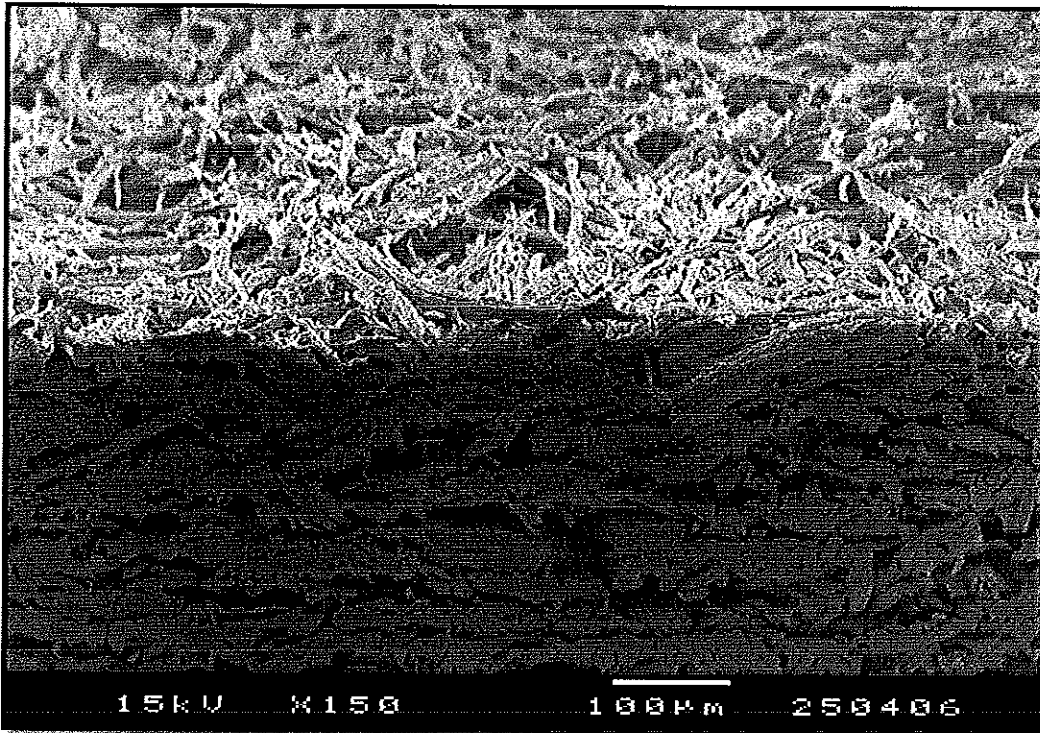


Figure 50. SEM of no coating molded pulp made of palm pulp. (Mag. 150X)

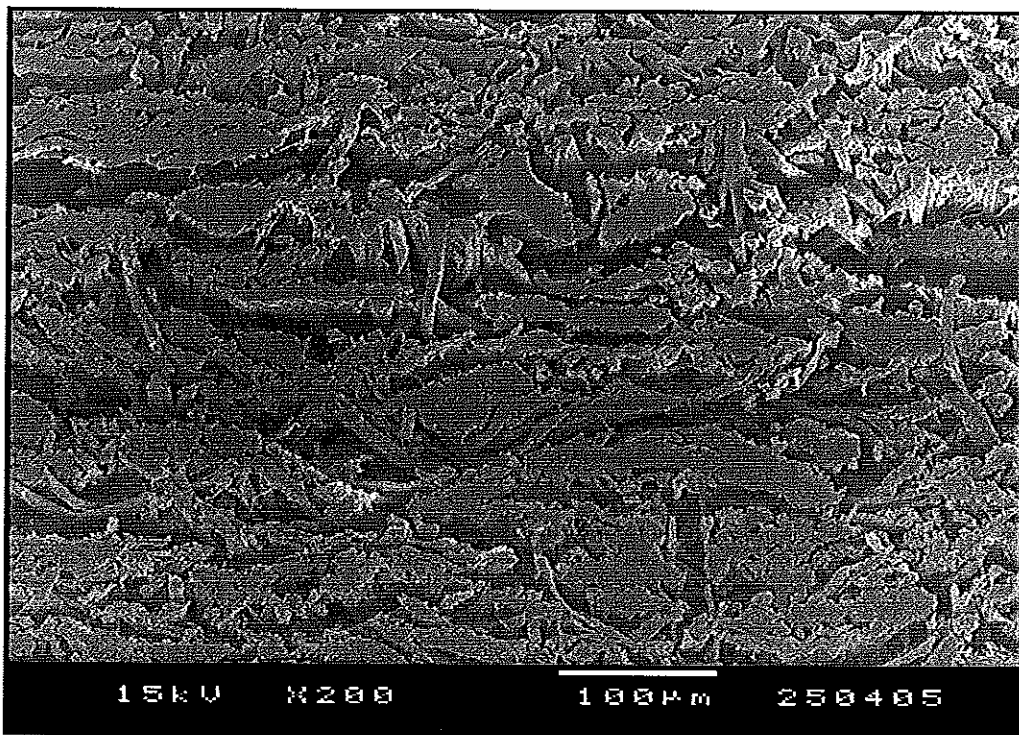


Figure 51. SEM of no coating molded pulp made of palm pulp. (Mag. 200X)

Table 11. Apparent density of molded pulp.

Sample	Appearance density (gsm/mm)
Commercial product	319.67 ± 2.54
No coating	86.08 ± 2.48
OCC recycle	560.32 ± 26.26

ส่วนลักษณะการเรียงตัวของเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งนำมาผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปนั้น (สามารถแสดงดัง Figure 52 และ Figure 53) พบว่า เยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกจะมีการเรียงตัวเป็นชั้นๆ เช่นเดียวกับเยื่อกราฟท์ของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วแต่มีความแน่นของเส้นใยมาก เส้นใยมีความฟูน้อยเนื่องจากมีค่า apparent density มาก และมีปริมาณเรซินน้อยกว่าอย่างชัดเจน เป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความต้านทานแรงกดของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตจากเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษลูกฟูกมีค่ามาก

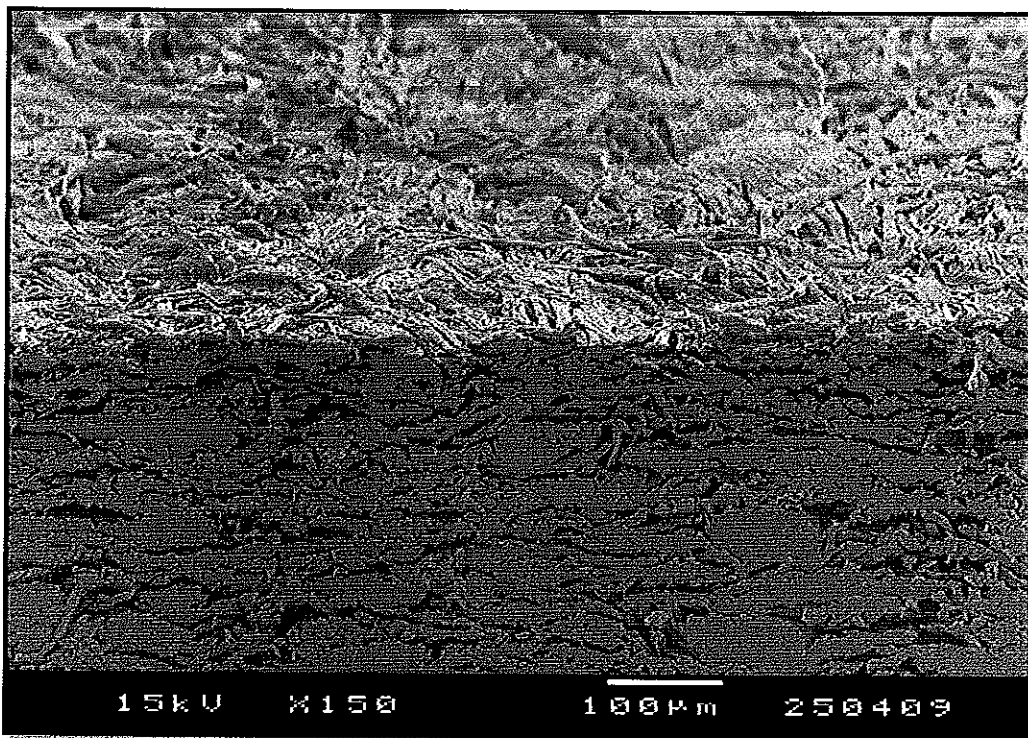


Figure 52. SEM of no coating molded pulp made of OCC recycle pulp. (Mag. 150X)

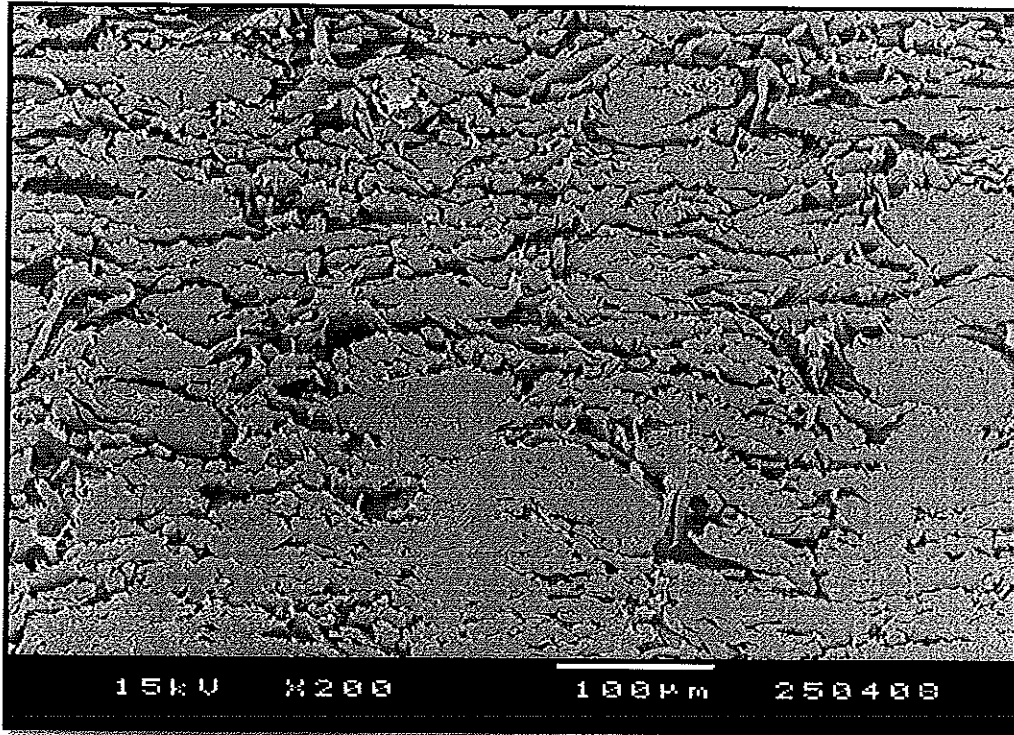


Figure 53. SEM of no coating molded pulp made of OCC recycle pulp. (Mag. 200X)

จากการศึกษาลักษณะการเคลือบบนผิวหน้าของแผ่นเยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางคอมพโพลีที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 พบว่า แผ่นเยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางคอมพโพลีที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีชั้นความหนาของน้ำยางคอมพโพลีที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 ประมาณ 247-299 ไมครอน (สามารถแสดงดัง Figure 54) ซึ่งลักษณะชั้นเคลือบของน้ำยางคอมพโพลีที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 จะมีลักษณะยึดเกาะกับชั้นของเยื่อทำให้ลอกออกได้ยาก เนื่องจากน้ำยางคอมพโพลีที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 สามารถซึมเข้าไปยังผิวหน้าของชั้นเยื่อได้เล็กน้อย หลังจากนั้นน้ำยางคอมพโพลีจะเกิดกระบวนการวัลคาไนซ์สร้างเป็นโครงร่างตาข่ายเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางบริเวณผิวหน้าของชั้นเยื่อ และจากการกระจายตัวของ wood rosin dispersion อย่างสม่ำเสมอในชั้นของน้ำยางคอมพโพลีที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 (แสดงดัง Figure 55 และ Figure 56) มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพโพลีที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีลักษณะแข็งและมีค่าความต้านทานแรงกดมากที่สุด

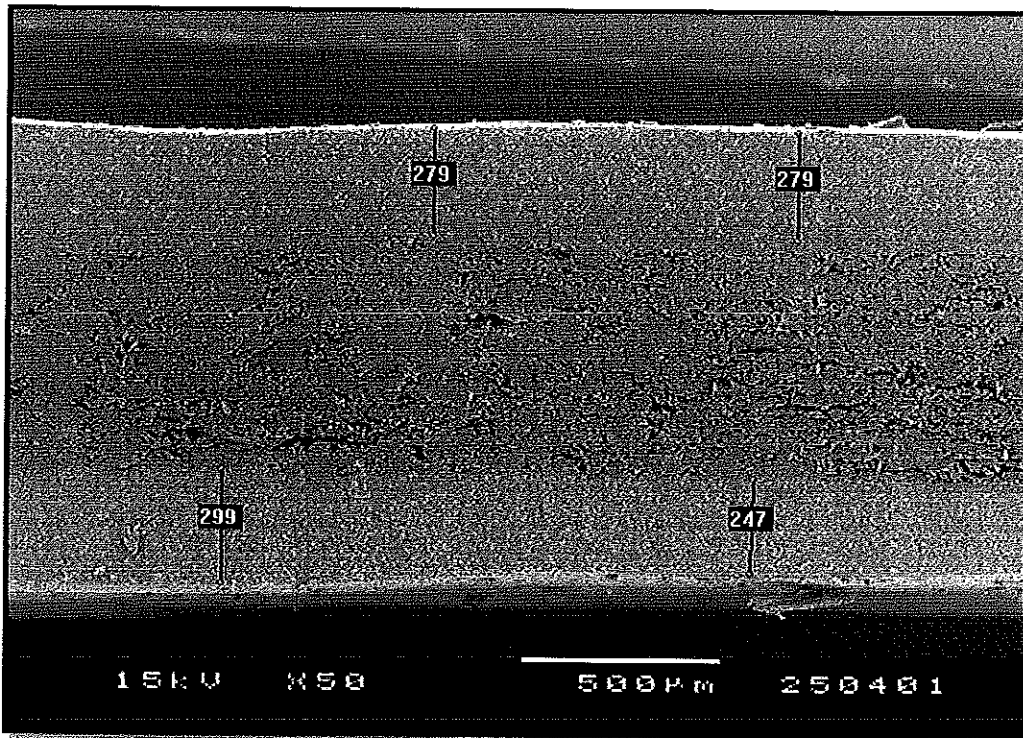


Figure 54. SEM of molded pulp coating with the composite SBR latex. (Mag. 50X)

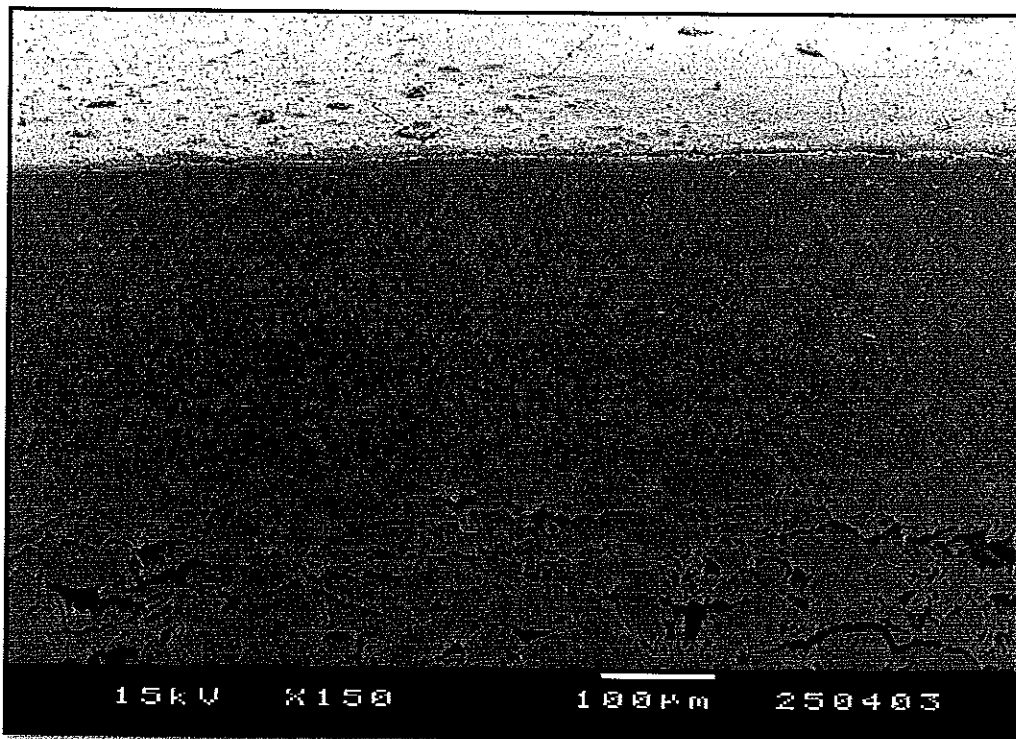


Figure 55. SEM of molded pulp coating with the composite SBR latex. (Mag. 150X)

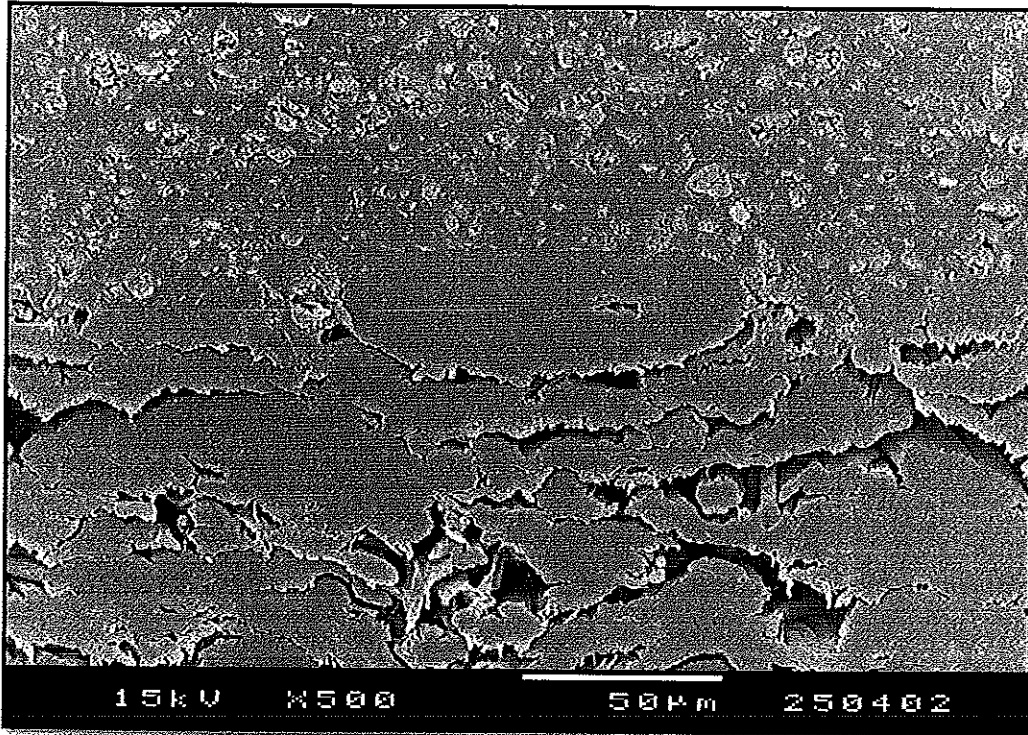


Figure 56. SEM of molded pulp coating with the composite SBR latex. (Mag. 500X)

การศึกษาลักษณะการเคลือบบนผิวหน้าของแผ่นเยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางคอมพาวด์พบว่า แผ่นเยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางคอมพาวด์มีชั้นความหนาของน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางธรรมชาติประมาณ 1064-1083 ไมครอน (แสดงดัง Figure 57) ซึ่งลักษณะชั้นเคลือบของน้ำยางคอมพาวด์จะเป็นลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มของน้ำยางหุ้มแผ่นเยื่อขึ้นรูปไว้ตรงกลาง โดยไม่ได้สร้างพันธะกับชั้นของเยื่อกระดาษทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นเยื่อกับชั้นของน้ำยางคอมพาวด์ที่เปรียบเสมือนเป็นถุงลมซึ่งช่วยในการรับแรงกระแทกและดูดซับพลังงานที่ดี อีกทั้ง น้ำยางคอมพาวด์สามารถลอกออกจากแผ่นเยื่อได้ง่าย เนื่องจากน้ำยางคอมพาวด์ไม่ซึมเข้าไปยังผิวหน้าของชั้นเยื่อได้ซึ่งเป็นข้อดีที่จะสามารถนำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผ่านการใช้งานแล้วมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชิ้นใหม่ได้

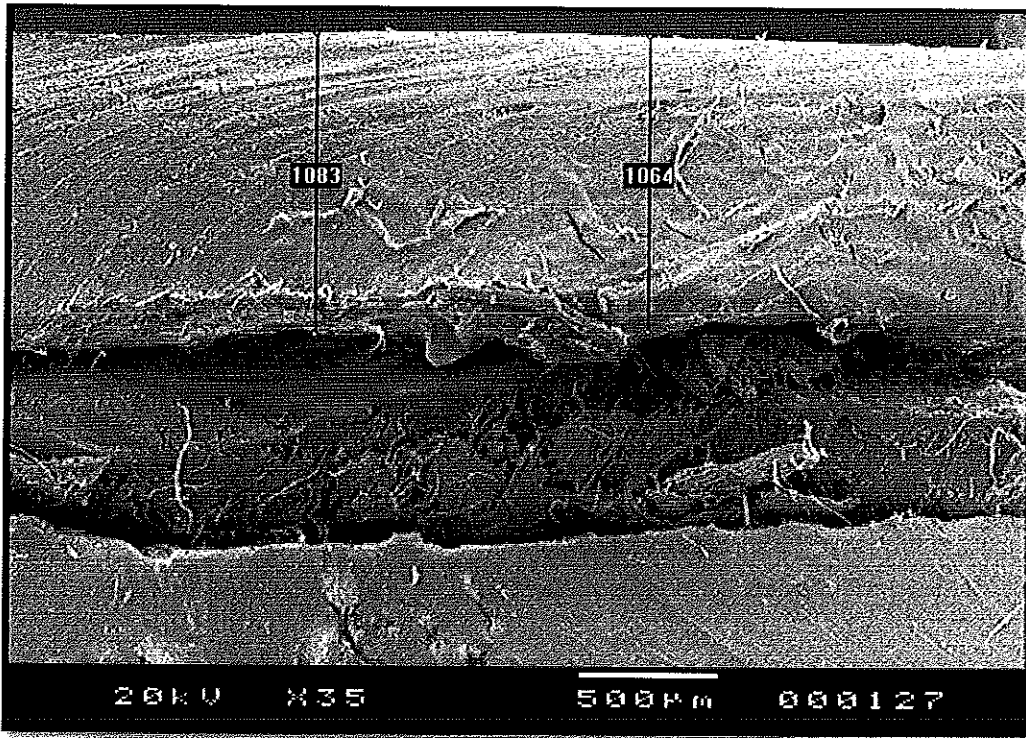


Figure 57. SEM of molded pulp coating with the NR compound. (Mag. 35X)

## บทที่ 4

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เส้นใยปาล์มจากผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเยื่อกราฟท์ จะประกอบด้วยความชื้น เถ้า เซลลูโลส ลิกนินและเพนโทแซน ร้อยละ 5.20, 4.20, 34.60, 18.40 และ 8.88 ตามลำดับ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยปาล์มน้ำมันจากผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วด้วยกระบวนการกราฟท์เป็นสภาวะที่มีปริมาณ effective alkali ร้อยละ 25 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) อุณหภูมิในการผลิตเยื่อ 160 องศาเซลเซียส และเวลาการผลิตเยื่อ 90 นาที (25/160/90) มีปริมาณผลผลิตเท่ากับร้อยละ 21.10 โดยน้ำหนักแห้ง และมีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 1.086 kN/m โดยเยื่อกราฟท์จากเส้นใยปาล์มสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จากเยื่อได้หลากหลายรูปแบบทั้งแผ่นเยื่อและเยื่อขึ้นรูป จากการทดลอง พบว่า แผ่นเยื่อจะมีสมบัติทางกลและสมบัติการป้องกันการดูดซับน้ำที่ดีขึ้น เมื่อเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์และน้ำยางคอมโพสิตที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นเยื่อขึ้นรูปเมื่อเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์และน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีค่าประมาณ 1.284-1.293 kN/m และ 1.504-1.508 kN/m ตามลำดับ นอกจากนี้ ระยะยืดของแผ่นเยื่อจะมีค่าประมาณร้อยละ 3313.08-3336.12 เมื่อเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์และมีค่าประมาณร้อยละ 2234.01-2248.51 เมื่อเคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 และเมื่อนำเยื่อกราฟท์จากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป พบว่า การผสมระหว่างเยื่อกราฟท์จากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วกับเยื่อรีไซเคิลจากกล่องกระดาษถูกฟูกในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จะให้ค่าความต้านแรงกดมากกว่าอัตราส่วนอื่น โดยมีค่าความต้านทานแรงกดเท่ากับ 221.47 N และเมื่อนำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปไปเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์และน้ำยางคอมโพสิตที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 พบว่าผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมีสมบัติทางกลดีขึ้น เช่น ค่าความต้านทานแรงกดของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์และน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีค่าเท่ากับ 427.63 N และ 524.20 N ตามลำดับ ค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (ค่า G) ของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปมีค่าเท่ากับ 37.89 เมื่อเคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 และมีค่าเท่ากับ 30.87 เมื่อเคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์ และผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมพาวด์และน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 จะมีค่าการดูดซับพลังงานเท่ากับ 6.472 จูล และ 3.734 จูล ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าค่าการดูดซับพลังงานของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปทางการค้าและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ไม่ได้เคลือบน้ำยางคอมโพสิต



การศึกษาลักษณะ โครงสร้างในการเคลือบน้ำยางของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป พบว่า ลักษณะชั้นเคลือบของน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 จะมีลักษณะยึดเกาะกับชั้นของเยื่อทำให้ลอกออกได้ยากเป็น โครงร่างตายเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางบริเวณผิวหน้าของชั้นเยื่อและมี wood rosin dispersion กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในชั้นของน้ำยางคอมโพสิตมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิตซึ่งผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์สไตรีนบิวตาไดอีนสูตรที่ 1 มีลักษณะแข็งและมีค่าความต้านทานแรงกดมากที่สุด ส่วนลักษณะการเคลือบบนผิวหน้าของแผ่นเยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางคอมพาวด์จะเป็นลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มของน้ำยางหุ้มแผ่นเยื่อขึ้นรูปไว้ตรงกลางโดยไม่ได้สร้างพันธะกับชั้นของเยื่อกระดาษทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นเยื่อกับชั้นของน้ำยางคอมพาวด์ที่เปรียบเสมือนเป็นฉนวนซึ่งช่วยในการรับแรงกระแทกและดูดซับพลังงานที่ดี สมบัติทางกลและสมบัติการป้องกันการดูดซับน้ำที่ดีขึ้นนี้สามารถสรุปได้ว่า การผลิตผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยการเคลือบน้ำยางสามารถเพิ่มสมบัติความเป็นวัสดุกันกระแทกที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปได้

#### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการนำสารละลายและน้ำในการสกัดเยื่อกลับมาใช้ใหม่ โดยผสมกับสารละลายใหม่ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์และเป็นการประหยัดมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อได้
2. แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตตัวอย่างบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปไม่มีช่องระบายไอน้ำเพียงพอในระหว่างการทำให้แห้งภายในตู้อบลมร้อน ทำให้ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปแห้งช้า ส่งผลทำให้ใช้เวลานานในการผลิต หากปรับปรุงแม่พิมพ์ให้สามารถระบายไอน้ำทางด้านข้างได้จะช่วยให้การผลิตตัวอย่างบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปเป็นไปได้เร็วขึ้น
3. เนื่องจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิต 2 ชนิดเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าด้วยวิธีการจุ่ม (Dip) จึงควรหาวิธีการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปวิธีการอื่นเพิ่มเติม ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงและการนำไปผลิตเพื่อประโยชน์ทางการค้า

## เอกสารอ้างอิง

- ชิตี เชี่ยวชาญวิทย์. 2548. อุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษ. ภาควิชาวิศวกรรมสถานะแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ. 2546. คู่มือปาล์มน้ำมันและการจัดสวน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บรรจุกัญท์เชื้อขึ้นรูปแบบต่างๆ. 2552 (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.wkrecyclepack.com>  
(15 มกราคม 2552)
- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2530. ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ. แผนกวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ประการ วีรกุล. 2532. สถานการณ์ปาล์มน้ำมัน. รายงานการสัมมนาทางวิชาการปาล์มน้ำมัน. สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคใต้ จังหวัดสงขลา. หน้า 176 - 197.
- ปริญญา จินดาเพชร. 2549. การเตรียมเซรามิกส์ความแข็งแรงสูง โดยการเคลือบด้วยน้ำยางคอมโพสิต. ภาควิชาวัสดุศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรชัย เหลืองอากาศพงษ์. 2532. ปาล์มน้ำมัน. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- มนัส ชัยสวัสดิ์ และคณะ. 2532. ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มภายในประเทศ. รายงานสัมมนาทางวิชาการปาล์มน้ำมัน. สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคใต้ จังหวัดสงขลา. หน้า 200 - 219.
- ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี. 2532. โครงการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ปาล์มน้ำมัน สถาบันพืชสวน. กรมวิชาการเกษตร.

ศูนย์วิจัยสงขลา. 2546. น้ำยางเคลือบคอกไม้-ใบไม้ และผลไม้ประดิษฐ์. ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิคุณรังษี, 2540. วารสารยางและพอลิเมอร์. ปีที่ 1. ฉบับที่ 2 (เมษายน-มิถุนายน).  
หน้า 12 – 17.

อมรรัตน์ สวัสดิ์พิพัฒน์ และคณะ. 2549. คู่มือการบรรจุหีบห่อเรื่องการบรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้สดเพื่อการส่งออก. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

Alonso, L. 1976. Análisis Químico de Diferentes Especies Forestales. I.N.I.A. Ministerio de Agriculture. Madrid.

A.O.A.C. 1999. Official Methods of Analysis of the Associate of Official Analytical Chemists. 15<sup>th</sup> ed. Washington, D.C. The Associate of Official Analytical Chemists.

American Society for Testing and Materials (ASTM). . Standard test method for Determining Compressive Resistance of Shipping Containers, Components, and Unit Loads D 642. In annual Book of American Standard Testing method. 1982. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard methods for Bursting Strength of Paper and paperboard D 774-67. In annual Book of American Standard Testing method. 1982. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard test method for Free Falling Dart Impact Test D 1709. In annual Book of American Standard Testing method. 1982. Philadelphia, PA.

- American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard test method for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates D 2244. In annual Book of American Standard Testing method. 1982. Philadelphia, PA.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard test method for Mechanical-Shock Fragility of Products, Using Shock Machines D 3332. In annual Book of American Standard Testing method. 1982. Philadelphia, PA.
- Burgess, G. 2002. Course Pack of Shock and Vibration. School of Packaging, Michigan State University. USA.
- Gorminho, J. and Pereira, H. 2000. An overview of the research on pulping aptitude of *Cynara cardunculus L.* Proceeding of First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, vol. 2. p. 1187-1190. Science Publishers Ltd. UK.
- Gorminho, J. and H. Pereira. 2006. Influence of raw-material and process variables in the kraft pulping of *Cynara cardunculus L.* Industrial Crops and Products. 24 : 160-165.
- Hoffmann, J., and Sørensen, G. 2004. Moisture-induced Effects on Stacking Strength of Moulded-fibre Packaging in Varying Environmental Conditions. Journal of Packaging Technology and Science. 17 : 257-265.
- Jiménez, L., V. Angulo, E. Ramos, M.J. De la Torre, and J.L. Ferrer. 2006. Comparison of various pulping processes for producing pulp from vine shoots. Industrial Crops and Products. 23 : 122-130.
- Khalil, H.P.S.A., Issam, A.M., Shakri, M.T.A., Suriani, R. and Awang, A.Y. 2007. Conventional agro-composites from chemically modified fibres. Industrial Crops and Products. 26 : 315-323.

- Mosher, R.H. and Davis, D.S. 1997. Industrial and specialty papers. p. 160-167. Chemical Publishing Co., Inc. U.S.A.
- Paine, F.A. 1990. The Packaging User's Handbook. p. 313-317. Balckie and Son Ltd. Glasgow. Scotland.
- Sørensen, G. and Hoffmann, J. 2003. Moisture Sorption in Moulded Fibre Trays and Effect on Static Compression Strength. Journal of Packaging Technology and Science. 16 : 159-169.
- Sørensen, G. and Risbo, J. 2005. Characterization of Moulded-fibre Packaging with Respect to Water Vapour Sorption and Permeation at Different Combinations of Internal and External Humidity. Journal of Packaging Technology and Science. 18 : 59-69.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Solvent extractives of wood and pulp T 204 om-88. In TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Water solubility of and pulp T 207 om-88. In TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp T 212 om-88. In TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Pentosans in wood and pulp T 223 om-84. In TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper and paperboard (Cobb test) T 441 om-90. In TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Tensile properties of paper and paperboard T 494 om-88. In TAPPI TEST METHODS 1992-1993, Atlanta,GA.

Van Soest, P.J. and Wine, R.H. 1967. Use of detergents in analysis of fibrous feeds determination of plant cell walls constituents. J. AOAC. 50(1) : 50.

Wanrosli, W.D., Zainuddin, Z., Law, K.N. and Asro, R. 2006. Pulp from oil palm fronds by chemical process. Industrial Crops and Products. 25 : 89-94.

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพ

#### 1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบไฟฟ้า (electric oven)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการทดลอง (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1999)

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
2. กระทำเช่นข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4-5 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีก ครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
7. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก} = 100 \times \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

## 2. การวิเคราะห์หาปริมาณถั่ว

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace)
2. ถ้วยครุชิลเปิดกระเบื้องเคลือบ
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า

วิธีการทดลอง (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1999)

1. เตาด้วยครุชิลเปิดกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิทช์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่ออุณหภูมิกายในเตาเผาตกลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. เตาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1-2 กรัมใส่ในถ้วยครุชิลเปิดกระเบื้องเคลือบซึ่งทราบค่าน้ำหนักแล้ว นำไปเผาในตู้ตัวจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาตั้งอุณหภูมิเตาเผาไว้ที่ 600 องศาเซลเซียส และกระทำเช่นเดียวกับข้อ 1-2
4. คำนวณหาปริมาณถั่วจากสูตร

$$\text{ปริมาณถั่วคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

## 3. การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดหาปริมาณเซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วย บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรและอุปกรณ์ควมแน่นและอุปกรณ์ให้ความร้อน
2. ครุชิลเปิดกันกรองชนิดแก้ว ความจุประมาณ 50 มิลลิลิตร
3. ขวดกรองแบบสุญญากาศ
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เตาเผา
6. โถดูดความชื้น
7. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
8. อะซิโตน
9. กรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 72



## 10. Decahydronaphthalene

## 11. Acid detergent solution

วิธีการทดลอง (ดัดแปลงจาก Van Soest and Wine, 1967)

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร นำตัวอย่างประมาณ 1 กรัมใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Acid detergent ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และ decahydronaphthalene ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนเดือดเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นลดความร้อนลงให้เดือดเบาๆ เป็นเวลา 60 นาที
3. กรองผ่านครุชชีเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ( $W_1$ ) โดยใช้แรงดูดสุญญากาศเบาๆ ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ลงครุชชีเบลด้วยน้ำร้อน 3.5 ครั้ง ขณะล้างให้เขี่ยก้อนเชื้อใยที่อยู่ในครุชชีเบลให้กระจายออกโดยใช้แท่งแก้ว หลังจากนั้นจึงดูดด้วยเครื่องสุญญากาศ และล้างต่อด้วยอะซิโตนปริมาณเล็กน้อยประมาณ 2-3 ครั้ง แล้วใช้เครื่องดูดสุญญากาศดูดให้แห้ง
4. นำครุชชีเบลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรืออบจนกระทั่งชั่งน้ำหนักได้คงที่ ( $W_2$ )
5. นำครุชชีเบลวางในถาดก้นตื้น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 72 (ก่อนใช้ให้แช่เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส) ลงในครุชชีเบลประมาณครึ่งหนึ่งแล้วคนด้วยแท่งแก้วคนเพื่อเยื่อใยเปียกอย่างทั่วถึง เติมกรดเพิ่มลงไปทุกๆ ชั่วโมง หรือจนคนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
6. นำครุชชีเบลไปกรองเอากรดออก โดยดูดด้วยเครื่องสุญญากาศ แล้วล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด
7. อบครุชชีเบลที่ได้จากข้อ 6 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสตลอดคืน จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักให้คงที่ ( $W_3$ )
8. นำครุชชีเบลไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าไม่มีคาร์บอน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักให้คงที่ ( $W_4$ )

การคำนวณ

$$ADF = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{S}$$

$$L = \frac{(W_3 - W_4) \times 100}{S}$$

$$C = ADF - L$$

โดยที่ ADF = Acid detergent fiber (ร้อยละ)

L = ปริมาณเลกนิน (ร้อยละ)

C = น้ำหนักเซลลูโลส (ร้อยละ)

$W_1$  = น้ำหนักครุชชีเบิลเปล่า (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักครุชชีเบิลและตัวอย่างหลังผ่านสารละลาย Acid detergent (กรัม)

$W_3$  = น้ำหนักครุชชีเบิลและตัวอย่างหลังผ่านกรดซัลฟูริก (กรัม)

$W_4$  = น้ำหนักครุชชีเบิลและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

$S$  = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

#### 4. การวิเคราะห์หาความสามารถของการละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็น

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างน้ำร้อน
2. แท่งคนแม่เหล็ก
3. บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปชมพู่ซึ่งต่ออยู่กับอุปกรณ์ควบแน่น
5. ครุชชีเบิลกั้นกรองชนิดแก้ว ความจุประมาณ 50 มิลลิลิตร

วิธีการทดลองหาความสามารถของการละลายในน้ำร้อน (TAPPI T 207 om-88)

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดน้ำหนักประมาณ 10 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ซึ่งต่ออยู่กับอุปกรณ์ควบแน่น จากนั้นเติมน้ำร้อนลงในขวดรูปชมพู่ปริมาณ 100 มิลลิลิตรแล้วนำไปวางในอ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2. กรองตัวอย่างผ่านครุชชีเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำร้อนปริมาณ 200 มิลลิลิตรอีกครั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนตัวอย่างแห้ง แล้วนำมาป่นให้ละเอียดให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน

3. คำนวณหาความสามารถของการละลายในน้ำร้อน จากสูตร

$$\text{ความสามารถของการละลายในน้ำร้อน(ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) \times 100}{A}$$

โดยที่  $A$  = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

$B$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังการสกัด

วิธีการทดลองหาความสามารถของการละลายในน้ำเย็น (TAPPI T 207 om-88)

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดน้ำหนักประมาณ 10 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 300 มิลลิลิตรลงไปอย่างช้าๆ ทำการคนด้วยแท่งคนแม่เหล็กด้วยความเร็วสม่ำเสมอเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส

2. กรองตัวอย่างผ่านครุชชีเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเย็นปริมาณ 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนตัวอย่างแห้ง แล้วนำมาปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน

3. คำนวณหาความสามารถของการละลายในน้ำเย็น จากสูตร

$$\text{ความสามารถของการละลายในน้ำเย็น (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) \times 100}{A}$$

โดยที่  $A =$  น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

$B =$  น้ำหนักตัวอย่างหลังการสกัด

#### 5. การวิเคราะห์ความสามารถของการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 %

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างน้ำร้อน
2. บีกเกอร์ทรงสูงขนาด 200 มิลลิลิตร
3. ครุชชีเบลก้นกรวยชนิดแก้ว ความจุประมาณ 50 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 1000 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. Sodium hydroxide solution 1.0%
2. Acetic acid 10%

วิธีการทดลอง (TAPPI T 212 om-88)

1. นำตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 2-3 กรัมมาใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณ 100 มิลลิลิตรแล้วคนด้วยแท่งแก้วคนจนเข้ากัน

2. ปิดปากบีกเกอร์ด้วยถาดกั้นดิน จากนั้นนำไปวางในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 97-100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที โดยการให้ระดับน้ำในอ่างน้ำร้อนอยู่สูงกว่าระดับสารละลายในบีกเกอร์ทรงสูง

3. ทำการคนตัวอย่างในบีกเกอร์ทรงสูงที่ช่วงเวลา 10 15 และ 25 นาทีเป็นเวลา 5 วินาที ภายหลังจากวางในอ่างน้ำร้อน เมื่อได้เวลาตามกำหนดทำการกรองตัวอย่างผ่านครุชชีเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้วล้างด้วยน้ำร้อนปริมาณ 100 มิลลิลิตร

4. ใส่สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 25 มิลลิลิตรในครุชชีเบลเป็นเวลา 1 นาทีโดยทำซ้ำ 2 ครั้ง หลังจากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อนจนหมดความเป็นกรด แล้วนำไป

อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนตัวอย่างแห้ง แล้วนำไปวางทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นจากนั้นชั่งหาน้ำหนักของตัวอย่างที่แน่นอน

5. คำนวณหาความสามารถของการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 จากสูตร

$$\text{ความสามารถของการละลาย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) \times 100}{A}$$

โดยที่  $A =$  น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

$B =$  น้ำหนักตัวอย่างหลังการสกัด

## 6. การหาน้ำหนักของสารเคลือบ

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ตัวอย่างแผ่นเยื่อทดสอบที่เคลือบน้ำยาง

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างแผ่นเยื่อทดสอบที่เคลือบน้ำยางไปชั่งหาน้ำหนักสารเคลือบ และคำนวณหาน้ำหนักสารเคลือบ จากสูตร

$$W_c = W_f - W_i$$

โดยที่  $W_c =$  น้ำหนักสารเคลือบ

$W_f =$  น้ำหนักสุดท้ายหลังเคลือบ

$W_i =$  น้ำหนักเริ่มต้นก่อนเคลือบ

## 7. การหาน้ำหนักของสารเคลือบ

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนา
2. ตัวอย่างแผ่นเยื่อทดสอบที่เคลือบน้ำยาง

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างแผ่นเยื่อทดสอบที่เคลือบน้ำยางไปวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา

ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิเคราะห์การผลิตเยื่อจากเส้นใยปาล์มน้ำมันและสมบัติทางกลของตัวอย่าง  
บรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป

Table 12. Percent yield of palm pressed fibre extracted with Kraft process.

Conditions	Initial weight (g.)	Weight of the test specimen after extraction (g)	screening	Total content	Yield (%)	Average (%)
20-160-60_1 <sup>st</sup>	500	25.56	19.53	45.09	9.018	
20-160-60_2 <sup>nd</sup>	500	27.11	17.77	44.88	8.976	9.50±0.86
20-160-60_3 <sup>rd</sup>	500	25.68	26.90	52.58	10.516	
20-170-60_1 <sup>st</sup>	500	19.15	28.00	47.15	9.420	
20-170-60_2 <sup>nd</sup>	500	29.10	18.43	47.53	9.506	9.44±0.05
20-170-60_3 <sup>rd</sup>	500	25.24	21.73	46.97	9.394	
20-160-90_1 <sup>st</sup>	500	22.12	38.21	60.33	12.066	
20-160-90_2 <sup>nd</sup>	500	50.42	25.83	76.25	15.250	13.47±1.62
20-160-90_3 <sup>rd</sup>	500	46.57	18.93	65.50	13.100	
20-170-90_1 <sup>st</sup>	500	54.03	24.26	78.29	15.658	
20-170-90_2 <sup>nd</sup>	500	40.70	26.95	67.65	13.530	16.00±2.66
20-170-90_3 <sup>rd</sup>	500	59.81	34.33	94.14	18.828	
25-160-60_1 <sup>st</sup>	500	24.41	26.77	51.18	10.236	
25-160-60_2 <sup>nd</sup>	500	22.40	24.57	46.97	9.394	10.37±1.06
25-160-60_3 <sup>rd</sup>	500	21.51	36.00	57.51	11.502	
25-170-60_1 <sup>st</sup>	500	34.10	45.75	79.85	15.970	
25-170-60_2 <sup>nd</sup>	500	36.72	36.01	72.73	14.546	15.93±1.36
25-170-60_3 <sup>rd</sup>	500	39.70	56.64	86.34	17.268	
25-160-90_1 <sup>st</sup>	500	50.02	58.07	108.09	21.618	
25-160-90_2 <sup>nd</sup>	500	71.05	39.57	110.62	22.124	21.10±1.35
25-160-90_3 <sup>rd</sup>	500	40.77	57.04	97.81	19.562	
25-170-90_1 <sup>st</sup>	500	52.43	34.77	87.20	17.440	
25-170-90_2 <sup>nd</sup>	500	48.63	41.40	90.03	18.006	18.21±0.88
25-170-90_3 <sup>rd</sup>	500	56.42	39.50	95.92	19.184	

Table 13. Tensile strength of palm pressed fibre extracted with Kraft process.

Conditions	Tensile strength (kN/m)	Average (kN/m)
20-160-60__1 <sup>st</sup>	0.762	0.706±0.05
20-160-60__2 <sup>nd</sup>	0.668	
20-160-60__3 <sup>rd</sup>	0.689	
20-170-60__1 <sup>st</sup>	0.610	0.685±0.06
20-170-60__2 <sup>nd</sup>	0.716	
20-170-60__3 <sup>rd</sup>	0.728	
20-160-90__1 <sup>st</sup>	0.614	0.709±0.10
20-160-90__2 <sup>nd</sup>	0.818	
20-160-90__3 <sup>rd</sup>	0.696	
20-170-90__1 <sup>st</sup>	0.701	0.743±0.07
20-170-90__2 <sup>nd</sup>	0.831	
20-170-90__3 <sup>rd</sup>	0.696	
25-160-60__1 <sup>st</sup>	0.847	0.850±0.03
25-160-60__2 <sup>nd</sup>	0.881	
25-160-60__3 <sup>rd</sup>	0.820	
25-170-60__1 <sup>st</sup>	0.814	0.820±0.01
25-170-60__2 <sup>nd</sup>	0.811	
25-170-60__3 <sup>rd</sup>	0.835	
25-160-90__1 <sup>st</sup>	1.130	1.086±0.03
25-160-90__2 <sup>nd</sup>	1.066	
25-160-90__3 <sup>rd</sup>	1.062	
25-170-90__1 <sup>st</sup>	0.906	0.910±0.03
25-170-90__2 <sup>nd</sup>	0.876	
25-170-90__3 <sup>rd</sup>	0.948	

Table 14. Some physical and mechanical properties of pulp sheet coated with the composite SBR latex.

Conditions	Tensile strength (kN/m)			Average (kN/m)	Thickness (mm)	Coating weight (g)
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>			
1 <sup>st</sup> Formula / 15 sec.	0.650	0.708	0.698	0.685	1.007±0.030	1.613±0.008
1 <sup>st</sup> Formula / 30 sec.	0.875	1.282	1.204	1.120	1.105±0.012	1.798±0.007
1 <sup>st</sup> Formula / 1 minute.	1.504	1.512	1.496	1.504	1.216±0.024	1.831±0.012
1 <sup>st</sup> Formula / 2 minutes.	1.498	1.508	1.511	1.505	1.263±0.018	1.846±0.009
1 <sup>st</sup> Formula / 3 minutes.	1.514	1.494	1.518	1.508	1.287±0.017	1.855±0.003
2 <sup>nd</sup> Formula / 1 minute.	1.452	1.476	1.481	1.469	1.216±0.019	1.827±0.004
2 <sup>nd</sup> Formula / 2 minutes.	1.443	1.446	1.444	1.444	1.250±0.006	1.838±0.003
2 <sup>nd</sup> Formula / 3 minutes.	1.507	1.500	1.486	1.497	1.266±0.005	1.845±0.001
3 <sup>rd</sup> Formula / 1 minute.	1.468	1.476	1.474	1.472	1.216±0.010	1.826±0.003
3 <sup>rd</sup> Formula / 2 minutes.	1.480	1.469	1.474	1.474	1.248±0.006	1.840±0.001
3 <sup>rd</sup> Formula / 3 minutes.	1.469	1.484	1.488	1.480	1.256±0.004	1.858±0.003
Control	3.401	3.443	3.390	3.411	0.743±0.018	0.879±0.023

Table 15. Some physical and mechanical properties of pulp sheet coated with the NR compound.

Conditions	Tensile strength (kN/m)			Average (kN/m)	Thickness (mm)	Coating weight (g)
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>			
1 minute.	1.296	1.288	1.295	1.293	1.750±0.017	2.523±0.088
2 minutes.	1.277	1.284	1.291	1.284	1.758±0.011	2.599±0.041
3 minutes.	1.283	1.292	1.294	1.289	1.772±0.014	2.652±0.032
Control	3.401	3.443	3.390	3.411	0.743±0.018	0.879±0.023

Table 16. Percent elongation at break of pulp sheet coated with the composite SBR latex.

Conditions	% Elongation at break			Average (%)
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	
1 <sup>st</sup> Formula / 1 minute.	2264.25	2233.07	2237.44	2244.92±16.88
1 <sup>st</sup> Formula / 2 minutes.	2243.08	2224.30	2234.66	2234.01±9.40
1 <sup>st</sup> Formula / 3 minutes.	2241.64	2252.32	2251.58	2248.51±5.96
2 <sup>nd</sup> Formula / 1 minute.	2233.87	2245.18	2252.37	2243.80±9.32
2 <sup>nd</sup> Formula / 2 minutes.	2239.42	2234.02	2234.95	2236.13±2.88
2 <sup>nd</sup> Formula / 3 minutes.	2234.99	2241.21	2240.37	2238.85±3.37
3 <sup>rd</sup> Formula / 1 minute.	2240.95	2240.53	2231.66	2237.71±5.24
3 <sup>rd</sup> Formula / 2 minutes.	2243.78	2241.85	2239.08	2241.57±2.36
3 <sup>rd</sup> Formula / 3 minutes.	2239.35	2236.53	2258.91	2244.93±12.18
Control	18.70	21.20	20.30	20.06±1.26

Table 17. Percent elongation at break of pulp sheet coated with the NR compound.

Conditions	% Elongation at break			Average (%)
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	
1 minute.	3350.23	3347.45	3310.67	3336.12±22.08
2 minutes.	3324.66	3317.47	3297.13	3313.08±14.27
3 minutes.	3291.34	3314.53	3356.71	3320.86±33.14
Control	18.70	21.20	20.30	20.06±1.26



Table 18. Burst strength of pulp sheet coated with the composite SBR latex.

Conditions	Burst strength (kg/cm <sup>2</sup> )			Average (kg/cm <sup>2</sup> )
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	
1 <sup>st</sup> Formula / 1 minute.	5.6	6.1	5.9	5.86±0.25
1 <sup>st</sup> Formula / 2 minutes.	5.8	5.7	6.0	5.83±0.15
1 <sup>st</sup> Formula / 3 minutes.	5.7	5.7	5.8	5.73±0.05
2 <sup>nd</sup> Formula / 1 minute.	5.7	5.6	5.8	5.70±0.10
2 <sup>nd</sup> Formula / 2 minutes.	5.8	6.0	5.8	5.86±0.11
2 <sup>nd</sup> Formula / 3 minutes.	6.0	5.7	5.9	5.86±0.15
3 <sup>rd</sup> Formula / 1 minute.	5.7	6.2	5.7	5.86±0.28
3 <sup>rd</sup> Formula / 2 minutes.	5.8	5.8	5.9	5.83±0.05
3 <sup>rd</sup> Formula / 3 minutes.	5.8	5.8	5.7	5.76±0.05
Control	5.8	6.1	6.1	6.00±0.17

Table 19. Burst strength of pulp sheet coated with the NR compound.

Conditions	Burst strength (kg/cm <sup>2</sup> )			Average (kg/cm <sup>2</sup> )
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	
1 minute.	6.1	6.0	6.0	6.03±0.05
2 minutes.	6.2	6.1	6.1	6.13±0.05
3 minutes.	6.2	6.2	6.0	6.13±0.11
Control	5.8	6.1	6.1	6.00±0.17

Table 20. Compression strength of molded pulp.

Conditions	Compression strength (N)			Average (N)
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	
Recycle pulp	267.52	256.74	263.82	262.69±5.47
Commercial	148.37	148.63	147.23	148.07±0.74
Recycle pulp : Palm pulp				
50:50	221.42	225.60	217.40	221.47±4.10
40:60	204.00	191.00	196.20	197.06±6.54
30:70	180.00	178.50	184.00	180.83±2.84

Table 21. Compression strength of molded pulp coated with the latex.

Conditions	Compression strength (N)			Average (N)
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	
Non-coated	221.42	225.60	217.40	221.47±4.10
Commercial	148.37	148.63	147.23	148.07±0.74
Coating with the composite SBR latex	526.06	521.57	524.98	524.20±2.34
Coating with the NR compound	428.20	426.50	428.20	427.63±0.98

Table 22. G value of molded pulp coated with the latex.

Conditions	G Value			Average
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	
Non-coated	33.44	34.53	33.67	33.88±0.57
Commercial	42.13	38.03	41.74	40.63±2.26
Coating with the composite SBR latex	38.67	37.17	37.84	37.89±0.75
Coating with the NR compound	29.47	32.44	30.70	30.87±1.49

Table 23. Gravitational potential energy of molded pulp coated with the latex.

Conditions	Gravitational potential energy (J)			Average (J)
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	
	Non-coated	3.734	3.734	
Commercial	4.231	4.231	4.231	4.231
Coating with the composite SBR latex	4.978	4.978	4.978	4.978
Coating with the NR compound	6.347	6.347	6.347	6.347

## ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

Table 24. Resulting from analyzed variation of percent yield of palm pressed fibre extracted with Kraft process.

## ANOVA

% yield

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	389.367	7	55.624	27.586	.000
Within Groups	32.262	16	2.016		
Total	421.629	23			

## % yield

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
2	3	9.44000			
1	3	9.50333			
5	3	10.37733			
3	3		13.47200		
6	3		15.92800	15.92800	
4	3		16.00533	16.00533	
8	3			18.21000	
7	3				21.10133
Sig.		.455	.054	.079	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 25. Resulting from analyzed variation of tensile strength of palm pressed fibre extracted with Kraft process.

## ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.387	7	.055	16.412	.000
Within Groups	.054	16	.003		
Total	.440	23			

## Tensile strength

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
2	3	.68467			
1	3	.70633			
3	3	.70933			
4	3	.74267	.74267		
6	3		.82000	.82000	
5	3			.84933	
8	3			.91000	
7	3				1.08600
Sig.		.276	.122	.089	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
 a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 26. Resulting from analyzed variation of tensile strength of pulp sheet coating with the composite SBR latex.

## ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.039	9	1.115	7136.526	.000
Within Groups	.003	20	.000		
Total	10.042	29			

## Tensile strength

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
2.2	3	1.44433				
2.1	3		1.46967			
3.1	3		1.47267			
3.2	3		1.47433			
3.3	3		1.48033	1.48033		
2.3	3			1.49767	1.49767	
1.1	3				1.50400	
1.2	3				1.50567	
1.3	3				1.50867	
4.0	3					3.41133
Sig.		1.000	.350	.105	.336	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
 a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 27. Resulting from analyzed variation of tensile strength of pulp sheet coating with the NR compound.

## ANOVA

Tensile strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.136	3	3.379	15276.349	.000
Within Groups	.002	8	.000		
Total	10.138	11			

## Tensile strength

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
2	3	1.28400	
3	3	1.28967	
1	3	1.29300	
4	3		3.41133
Sig.		.497	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
 a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 28. Resulting from analyzed variation of percent elongation at break of pulp sheet coating with the composite SBR latex.

## ANOVA

% Elongation

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13320357.343	9	1480039.705	21172.282	.000
Within Groups	1398.092	20	69.905		
Total	13321755.435	29			

## % Elongation

Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
4.0	3	20.06667	
1.2	3		2234.01333
2.2	3		2236.13000
3.1	3		2237.71333
2.3	3		2238.85667
3.2	3		2241.57000
2.1	3		2243.80667
1.1	3		2244.92000
3.3	3		2244.93000
1.3	3		2248.51333
Sig.		1.000	.080

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 29. Resulting from analyzed variation of percent elongation at break of pulp sheet coating with the NR compound.

## ANOVA

## % Elongation

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24552171.393	3	8184057.131	18273.783	.000
Within Groups	3582.863	8	447.858		
Total	24555754.256	11			

## % Elongation

## Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
4	3	20.06667	
2	3		3313.08667
3	3		3320.86000
1	3		3336.11667
Sig.		1.000	.237

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



Table 30. Resulting from analyzed variation of burst strength of pulp sheet coating with the composite SBR latex.

**ANOVA**

**Burst strength**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.193	9	.021	.837	.592
Within Groups	.513	20	.026		
Total	.707	29			

**Burst strength**

**Duncan**

Factor	N	Subset for alpha = .05
	1	1
2.1	3	5.7000
1.3	3	5.7333
3.3	3	5.7667
1.2	3	5.8333
3.2	3	5.8333
1.1	3	5.8667
2.2	3	5.8667
2.3	3	5.8667
3.1	3	5.8667
4.0	3	6.0000
Sig.		.061

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 31. Resulting from analyzed variation of burst strength of pulp sheet coating with the NR compound.

## ANOVA

## Burst strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.042	3	.014	1.133	.392
Within Groups	.100	8	.013		
Total	.142	11			

## Burst strength

## Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Factor	1	1
4	3	6.00000
1	3	6.03333
2	3	6.13333
3	3	6.13333
Sig.		.207

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 32. Resulting from analyzed variation of compression strength of molded pulp.

## ANOVA

## Compression

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22330.932	4	5582.733	283.519	.000
Within Groups	196.908	10	19.691		
Total	22527.840	14			

## Compression

## Duncan

Items	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
2	3	148.0767				
5	3		180.8333			
4	3			197.0000		
3	3				221.4733	
1	3					262.6933
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
 a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 33. Resulting from analyzed variation of compression strength of molded pulp coating with the latex.

## ANOVA

## Compression

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	299780.547	4	74945.137	11263.520	.000
Within Groups	66.538	10	6.654		
Total	299847.085	14			

## Compression

## Duncan

Factor	N	Subset for alpha = .05				
	1	2	3	4	5	1
1	3	148.0767				
2	3		221.4733			
5	3			231.5667		
4	3				427.6333	
3	3					524.2033
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
 a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Table 34. Resulting from analyzed variation of G value of molded pulp coating with the latex.

## ANOVA

## G Value

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	167.199	3	55.733	27.046	.000
Within Groups	16.485	8	2.061		
Total	183.684	11			

## G Value

## Duncan

Items	N	Subset for alpha = .05			
	1	2	3	4	1
3	3	30.8700			
1	3		33.8800		
2	3			37.8933	
4	3				40.6333
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
 a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายสิทธิพงศ์ สาธะวงศ์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4911020066	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Sidthipong Sathawong and Waranyou Sridach. Improvement of Molded Pulp Cushioning from Palm Pressed Fibre for Packaging.: The 47<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 17<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> March 2009. (Poster).