



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากจีเลื่อย แป้งและน้ำยาง

โดย ผศ.ดร.วรัญญู ศรีเดช และคณะ

1 ก.ค.2554

แบบสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากจีเลื่อย แป้งและน้ำยางพารา

(ภาษาอังกฤษ) Production of cushioning for packaging from sawdust, cassava starch and natural rubber latex

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัดและที่อยู่

ชื่อ-สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญญู ศรีเดช

หน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ที่อยู่ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เถวียน วิทยา
นส. อภัสราพร พรหมพันธุ์ใจ

ระยะเวลาดำเนินการ 35 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2551 ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2554

ปัญหาที่ท้าวิจัยและความสำคัญ (โดยย่อประมาณ 5 บรรทัด)

การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากจีเลื่อยซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือของโรงงานผลิตของเล่นไม้บริษัทแปลน ครีเอชั่นจำกัด เพื่อทดแทนแผ่นกระดาษลูกฟูก โดยนำมาเพิ่มสมบัติด้านความยืดหยุ่นและความสามารถในการป้องกันการกระแทกของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้นด้วยน้ำยางพาราและแป้งมันสำปะหลังเพื่อให้สามารถปกป้องผลิตภัณฑ์และรับแรงกระแทกได้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ (ตามที่ระบุในสัญญาทุนวิจัย)

1. เพื่อศึกษากระบวนการเตรียม และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุกันกระแทกจากจีเลื่อยน้ำยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการอัดร้อน
2. เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้าง และคุณสมบัติทางกลของวัสดุกันกระแทกที่เตรียมจากจีเลื่อย น้ำยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง

ผลการดำเนินงาน (เป็นการย่อวิธีการและผลวิจัย วิเคราะห์ผล เฉพาะประเด็นที่เป็นสาระสำคัญและแสดงให้เห็นความสอดคล้องของผลการวิจัยที่ได้รับกับวัตถุประสงค์และสิ่งที่คาดว่าจะได้รับตามข้อเสนอไว้)

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ การผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์ในสองลักษณะคือ (1) โฟมแข็งที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำยางข้นโดยใช้ขี้เลื่อยและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเสริมแรงและ (2) ขี้เลื่อยขึ้นรูปที่ผลิตจากการนำขี้เลื่อยมาผสมกับสารเชื่อมประสาน คือ กาวแป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำยางข้น แล้วขึ้นรูปโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจะต้องมีความสามารถในการรับแรงกระแทกที่ดี ด้านทานการดูดซับความชื้นและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

การผลิตโฟมแข็งจากแป้งมันสำปะหลัง น้ำยางพาราและกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมและมีขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรงพบว่า โฟมแข็งที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 60:40 เมื่อนำมาขึ้นรูปโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะให้ค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงที่มทะเลสูงที่สุด คือ 623.9 นิวตันและ 271.1 จูล ตามลำดับ การเติมน้ำยางข้นลงในโฟมแข็งจะลดสมบัติด้านความแข็งแรงของโฟมแข็งที่ผลิตขึ้นโดยค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงที่มทะเลของโฟมแข็งจะมีค่าลดลง เมื่อมีปริมาณน้ำยางข้นเพิ่มขึ้น แต่น้ำยางข้นที่เติมลงไปจะช่วยลดการดูดซับน้ำของโฟมแข็งทำให้สามารถใช้งานในสถานะที่มีความชื้นสูงได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในโฟมแข็งที่มีน้ำยางข้นเป็นองค์ประกอบในปริมาณร้อยละ 10 จะช่วยเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานน้ำให้กับโฟมแข็ง โดยความต้านทานแรงกดและความต้านทานแรงที่มทะเลของโฟมแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต แต่เมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 10 ความแข็งแรงของโฟมแข็งผสมน้ำยางมีแนวโน้มลดลงและยังพบว่า การเติมขี้เลื่อยลงในโฟมแข็งจะทำให้โฟมแข็งมีความแข็งแรงลดลง

การเตรียมวัสดุกันกระแทกจากขี้เลื่อยขึ้นรูปที่ได้จากการผสมขี้เลื่อยกับสารเชื่อมประสานในอัตราส่วนขี้เลื่อยต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 70:30 โดยสารเชื่อมประสานที่ใช้คือ กาวผสมระหว่างกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:2 แล้วนำมาขึ้นรูปโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ขี้เลื่อยที่มีสมบัติทางกลดีที่สุด จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางข้นลงในขี้เลื่อยขึ้นรูป ความสามารถในการต้านทานแรงกดและแรงที่มทะเลของขี้เลื่อยขึ้นรูปจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการเติมน้ำยางข้นในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักกาวจะให้คุณภาพของขี้เลื่อยขึ้นรูปเหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพผิวของขี้เลื่อยในการขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกพบว่า ขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 จะให้สมบัติด้านความแข็งแรงดีที่สุด

การปรับปรุงวัสดุคอมพอสิตที่ผลิตจากขี้เลื่อย น้ำยางข้นและกาวผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลัง เพื่อเป็นวัสดุกันกระแทกที่มีคุณภาพสามารถทำได้โดยการ

เคลือบผิวของซีเมนต์ขึ้นรูปด้วยน้ำยางคัดแปร ซึ่งจากการทดลองพบว่า ซีเมนต์ขึ้นรูปที่เคลือบผิวด้วยน้ำยางคัดแปรจะมีความสามารถในการป้องกันแรงกระแทกที่ดีโดยมีค่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงเท่ากับ 6.472 จูลและมีค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (G) เท่ากับ 30.87

สรุปผลการวิจัย (เน้นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยที่มีศักยภาพโดยตรงหรือมีแนวทางต่อยอดเพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้โดยมีข้อมูลบ่งชี้หรือชี้แนะเชิงเศรษฐศาสตร์และการผลิตระดับอุตสาหกรรมด้วย)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากซีเมนต์ขึ้นรูปที่มีกาวเป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำยางพาราเป็นสารเชื่อมประสานจะมีความแข็งแรงสูงกว่าวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากโพลีเอทิลีนซึ่งประกอบด้วยเป้งมันสำปะหลัง น้ำยางพาราและกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยมีซีเมนต์และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเสริมแรง อย่างไรก็ตามความสามารถในการป้องกันความเสียหายจากการตกกระแทกของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซีเมนต์ขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกก็ยังมีประสิทธิภาพไม่ดี จึงมีการเคลือบผิววัสดุกันกระแทกด้วยน้ำยางคัดแปรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปกป้องผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้นเนื่องจากมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวด้วยน้ำยางคัดแปรจะมีข้อจำกัดในเรื่องของกระบวนการผลิตที่ยุ่งยาก ราคาต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง อีกทั้งน้ำหนักของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากซีเมนต์ขึ้นรูปเคลือบผิวด้วยน้ำยางคัดแปรจะมีน้ำหนักมาก นอกจากนี้ยังพบว่า การเคลือบผิวด้วยน้ำยางคัดแปรจะทำให้เกิดกลิ่นของสารเคมีซึ่งมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กที่ผลิตจากไม้ยางพารา

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง (โดยย่อประมาณครึ่งหน้ากระดาษ A4)

1. ควรปรับปรุงสูตรน้ำยางคัดแปรที่ใช้เป็นสารเคลือบผิว เพื่อลดกลิ่นของสารเคมี
2. วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากซีเมนต์ขึ้นรูปมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง น่าจะสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นของเล่นเด็กทดแทนไม้ยางพาราจากธรรมชาติที่อาจเกิดการขาดแคลนในอนาคต

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิด

Prompunjai, A and Sridach, W. Preparation and Properties of Composite Materials made from Sawdust, Cassava starch and Natural rubber latex. In Proceedings of the 10th International Conference on Applied Science, Engineering and Technology 2010. Singapore. August 25-27.

บทคัดย่อ

วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากจีเลื้อย น้ำยางและแป้งมันสำปะหลัง โดยกระบวนการกวดอัดด้วยความร้อน สามารถเตรียมได้ใน 2 ลักษณะ คือ โฟมแป้งผสมน้ำยางขึ้นและจีเลื้อยขึ้นรูป จากการทดลองพบว่า โฟมแป้งที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 60:40 เมื่อนำมาขึ้นรูปโดยกระบวนการกวดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะให้ค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงที่มทะเลสูงที่สุด คือ 623.9 นิวตันและ 271.1 จูล ตามลำดับ การเติมน้ำยางขึ้นลงในโฟมแป้งจะลดสมบัติด้านความแข็งแรงของโฟมแป้งที่ผลิตขึ้น โดยค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงที่มทะเลของโฟมแป้งมันจะมีค่าลดลง เมื่อโฟมแป้งมีปริมาณน้ำยางขึ้นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมน้ำยางขึ้นลงในโดแป้งก่อนทำการขึ้นรูปด้วยความร้อน จะช่วยลดการดูดซับน้ำของโฟมแป้งผสมน้ำยางลงได้ การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในโฟมแป้งที่มีน้ำยางขึ้นเป็นองค์ประกอบในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำยาง จะช่วยเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานน้ำให้กับโฟมแป้ง โดยความต้านทานแรงกดและความต้านทานแรงที่มทะเลของโฟมแป้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต แต่เมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 10 ค่าความแข็งแรงของโฟมแป้งผสมน้ำยางมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมจีเลื้อยลงในโฟมแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนประกอบของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ น้ำยางและแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้โฟมแป้งมีความแข็งแรงลดลง

วัสดุกันกระแทกที่เตรียมจากการผสมจีเลื้อยและสารเชื่อมประสานในอัตราส่วน 70:30 จะให้สมบัติทางกลที่ดี โดยสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมสามารถเตรียมได้จากกาวผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:2 และทำการขึ้นรูปจีเลื้อยโดยการกวดอัดด้วยความร้อน จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางขึ้นลงในจีเลื้อยขึ้นรูป ความสามารถในการต้านทานแรงกดและแรงที่มทะเลของจีเลื้อยขึ้นรูปจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักจีเลื้อยจะให้คุณภาพของจีเลื้อยขึ้นรูปเหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพผิวของจีเลื้อยในการขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกพบว่า จีเลื้อยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 จะให้สมบัติด้านความแข็งแรงดีที่สุด เมื่อนำจีเลื้อยขึ้นรูปไปเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรโดยวิธีการจุ่มเป็นเวลา 1 นาที พบว่า จีเลื้อยขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรจะมีค่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงมากที่สุด คือ 6.472 จูล และค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (G value) เท่ากับ 30.87 ซึ่งจะมีสมบัติในการป้องกันแรงกระแทกดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจีเลื้อยขึ้นรูปผสมน้ำยางที่ไม่เคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรและโฟมแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำยางที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตและจีเลื้อยเป็นสารเสริมแรง

Abstract

Packing cushions made from sawdust, rubber latex and cassava starch can be formed by hot compression molding process. There were two types of packing cushions in this research, starch based foam and molded pulp. The results showed that starch based foam prepared from cassava starch and polyvinyl alcohol in the ratio of 60:40 could be formed by hot compression molding at the temperature of 170 °C for 5 minutes. The compression strength and puncture resistance of starch based foam were 623.9 N and 27.1 J., respectively. The strength of starch based foam was reduced by adding the rubber latex into the starch batter. The compression strength and puncture resistance of starch based foam were decreased with increasing the amount of rubber latex. However, the addition of rubber latex into the starch batter provided the higher water resistance of starch based foam. The batter containing 10% calcium carbonate increased the strength and water resistance of starch based foams. The compression strength and puncture resistance of starch based foam increased as calcium carbonate content of the starch based foam increase, until calcium carbonate content reached about 10% by weight of rubber latex. Starch based foam containing more than 10% calcium carbonate tended to be lower strength. Moreover, the addition of sawdust to the starch based foam which made from cassava starch, polyvinyl alcohol, rubber latex and calcium carbonate had decreased its strength.

Packing cushion prepared from mixed sawdust and binder in the ratio of 70:30 contributed the good mechanical properties. The optimal binder of molded pulp was prepared by mixing polyvinyl alcohol glue and starch glue in the ratio of 1:2. The sawdust composite was formed by hot compression molding process. The results showed that the compression strength and puncture resistance of sawdust composite were decreased with increasing the rubber latex. The saw dust composite containing 20% rubber latex contributed the highest properties. The sawdust treated with 5% sodium hydroxide provided the better strength properties of sawdust based material. The sawdust composite dipped to the natural rubber compound for 1 minute was the best packing cushion when compared to uncoated sawdust based material and starch based foam. It had the gravitational potential energy of 6.472 J. and the G value of 30.87.

สารบัญ

บทที่	หน้า
Executive Summary	ก
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
1 บทนำ	1
การทบทวนเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	41
ขอบเขตงานวิจัย	41
2 วิธีการทดลอง	
1. วัสดุและสารเคมี	42
2. เครื่องมือและอุปกรณ์	42
3. การดำเนินงานวิจัย	43
ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของจีเลื้อยและการเตรียมจีเลื้อย	43
ตอนที่ 2 การผลิตโฟมแข็งจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพารา โดยมีจีเลื้อยเป็นสารเสริมแรง	43
ตอนที่ 3 การผลิตจีเลื้อยหรือฟองไม้จั่นรูป โดยมีแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราเป็นสารเชื่อมประสาน	45
3 ผลการทดลอง	48
ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของจีเลื้อยและการเตรียมจีเลื้อย	48
ตอนที่ 2 การผลิตโฟมแข็งจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพารา โดยมีจีเลื้อยเป็นสารเสริมแรง	52
ตอนที่ 3 การผลิตจีเลื้อยขึ้นรูปโดยมีกาวแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราเป็นสารเชื่อมประสาน	63
4 สรุป	79
เอกสารอ้างอิง	81

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	ภาคผนวก	86
	ภาคผนวก ก ภาพแสดงลักษณะวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้น	87
	ภาคผนวก ข ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และ กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	89
	ภาคผนวก ค สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ	92

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติที่สำคัญของแป้งบางชนิด	8
2	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	15
3	ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง	16
4	มาตรฐาน ISO 2004 – 1997 และ มอก. 980 – 2533 สำหรับ น้ำยางข้นที่ผลิตโดยการปั่น	21
5	ส่วนผสมสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดจากน้ำยางธรรมชาติ	26
6	ส่วนประกอบต่างๆของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง	31
7	ปัจจัยศึกษาในการหาอัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมใน การผลิตโฟมแป้งจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางข้น โดยมีจี เลื่อยเป็นสารเสริมแรง	44
8	ปัจจัยศึกษาในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโฟมแป้ง จากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางข้น โดยมีจีเลื่อยเป็นสาร เสริมแรง	45
9	ปัจจัยศึกษาในการผลิตจีเลื่อยขึ้นรูปที่มีการเติมน้ำยางพารา โดย มีกาวแป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสาร เชื่อมประสาน	46
10	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของจีเลื่อย	48
11	ค่า G ของวัสดุกันกระแทกประเภทต่างๆ	74
12	ค่าพลังงานการกระแทก (Gravitational potential energy) ของ ผลิตภัณฑ์กันกระแทกประเภทต่าง	76
13	แผนกิจกรรมในการดำเนินการวิจัย	89
14	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ	91

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของอะไมโลส	6
2	โครงสร้างของอะไมโลเพกติน	7
3	การเปลี่ยนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นคีโตทาโทเมอร์ (keto tuatomer)	9
4	การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลอะซิเตตโดย ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ิซิส	10
5	การแตกตัวของโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อทำปฏิกิริยา กับกรด	10
6	โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	13
7	กลุ่มของสารประกอบต่างๆ ที่มีในเนื้อไม้	32
8	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	32
9	โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	33
10	โครงสร้างทางเคมีของของลิกนิน	34
11	ปฏิกิริยาการปรับปรุงผิวซีลด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	39
12	ปฏิกิริยาการปรับปรุงผิวซีลด้วยเปอร์ออกไซด์	40
13	ตัวอย่างซีลเยื่อขนาดต่างๆ	49
14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงและขนาดอนุภาคซีลเยื่อ	50
15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับขนาดอนุภาคของซีล เยื่อ	51
16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดัดโค้งและขนาดอนุภาคของซีลเยื่อ	51
17	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานแรงกดของ โฟมเป่ารูปถ้วยที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อกาวพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ในอัตราส่วนต่างๆ	53
18	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานแรงทิ่มทะลุ ของโฟมเป่ารูปถ้วยที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อกาวพอลิ ไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนต่างๆ	53
19	ค่าความต้านทานแรงกดของโฟมเป่าเมื่อเติมน้ำยางชันในปริมาณ ต่างๆ	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ค่าความต้านทานแรงทึงทะเลของโฟมเป้เมื่อเติมน้ำอย่างขึ้นในปริมาณต่างๆ	55
21	ความสามารถในการดูดซับน้ำของโฟมเป้ที่มีการเติมน้ำอย่างขึ้นในปริมาณต่างๆ	56
22	ความต้านทานแรงกดของโฟมเป้ผสมน้ำอย่างขึ้นร้อยละ 10 ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ	57
23	ความต้านทานแรงทึงทะเลของโฟมเป้ผสมน้ำอย่างขึ้นร้อยละ 10 ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ	57
24	ความสามารถในการดูดซับน้ำของโฟมเป้ผสมน้ำอย่างขึ้นร้อยละ 10 ที่เติมแคลเซียม คาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ	58
25	ค่าความต้านทานแรงกดของโฟมเป้ผสมน้ำอย่างขึ้นและแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 ที่เติมจีลีโอซึ่งปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ จีลีโอที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ในปริมาณที่แตกต่างกัน	59
26	ค่าความต้านทานแรงทึงทะเลของโฟมเป้ผสมน้ำอย่างขึ้นและแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 ที่เติมจีลีโอซึ่งปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ จีลีโอที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ในปริมาณที่แตกต่างกัน	60
27	ค่าความต้านทานแรงไค้งงของโฟมเป้ผสมน้ำอย่างขึ้นและแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 ที่เติมจีลีโอซึ่งปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ จีลีโอที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ในปริมาณที่แตกต่างกัน	61
28	ความสามารถในการดูดซับน้ำของโฟมเป้ผสมน้ำอย่างขึ้นและแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 ที่เติมจีลีโอซึ่งปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ จีลีโอที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ในปริมาณที่แตกต่างกัน	62
29	ผลของอัตราส่วนระหว่างกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวเป้ต่อค่าความต้านทานแรงกด	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	ผลของอัตราส่วนระหว่างกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแปงต่อค่าการต้านทานการทิ่มทะลุ	66
31	ค่าความต้านทานแรงกดของจี้อยู่ขึ้นรูปที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ จี้อยู่ที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B)ที่มีการเติมน้ำอย่างขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกัน	68
32	ค่าความต้านทานแรงทิ่มทะลุของจี้อยู่ขึ้นรูปที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A)และ จี้อยู่ที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B)ที่มี การเติมน้ำอย่างขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกันที่มีการเติมน้ำอย่างขึ้นในปริมาณต่างๆ	69
33	ค่าความต้านทานแรงโค้งงอของจี้อยู่ขึ้นรูปที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ จี้อยู่ที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B)ที่มีการเติมน้ำอย่างขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกัน	70
34	ลักษณะของจี้อยู่ขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปร	71
35	ค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นจี้อยู่ขึ้นรูปที่เคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรที่ระยะเวลาต่างๆ	73
36	ค่าระยะยืดเมื่อขาดของแผ่นจี้อยู่ขึ้นรูปที่เคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรที่ระยะเวลาต่างๆ	73
37	ค่าความต้านทานแรงกดของแผ่นจี้อยู่ขึ้นรูปที่เคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรที่ระยะเวลาต่างๆ	74
38	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่ง (acceleration) และระยะเวลาการตก (shock duration) ของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากจี้อยู่ขึ้นรูปเคลือบน้ำยางดัดแปร	75
39	ลักษณะของจี้อยู่ขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 35X	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	ตัวอย่างโฟมเป็งมันสำปะหลังผสมน้ำยางพาราที่มีจีเลื่อยเป็นสารเสริมแรง	87
41	ตัวอย่างจีเลื่อยขึ้นรูปที่มีกาวเป็งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และน้ำยางพารา	87
42	ตัวอย่างจีเลื่อยขึ้นรูปที่ใช้ในการทดสอบความต้านแรงโค้งงอ	88
43	ตัวอย่างโฟมเป็งมันผสมน้ำยางพาราที่มีจีเลื่อยเป็นสารเสริมแรงซึ่งใช้ทดสอบความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (G value)	88

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์มีการใช้วัสดุและพลังงานปริมาณมหาศาล ส่งผลให้เกิดขยะจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะพลาสติกซึ่งกำจัดได้ยาก สำหรับประเทศไทยขยะปริมาณร้อยละ 20 ของขยะทั้งหมดเป็นขยะพลาสติก โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์พลาสติก เช่น ถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก กล่องพลาสติก รวมถึงกล่องโฟม ซึ่งล้วนเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก จึงได้มีความพยายามที่จะหาวัสดุอื่นที่สามารถย่อยสลายได้มาทดแทนพลาสติก หนึ่งในวัสดุที่มีการศึกษาวิจัยกันแพร่หลายคือแป้ง แป้งจะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ แต่ส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากแป้งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ และมีราคาถูกจึงเป็นวัตถุดิบที่ได้รับความสนใจในการนำมาใช้ผลิตเป็นโฟมแป้ง โดยโฟมแป้งจะหมายถึงการทำให้แป้งเกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำภายในแป้งเมื่อถูกความร้อนสูง (กล้านรงค์ ศรีรอต, Glenn and Ort, 2001a) ซึ่งสามารถทำได้โดยการพัฒนากระบวนการขึ้นรูป และส่วนผสมของแป้งให้เหมาะสมจนสามารถใช้กระบวนการขึ้นรูปได้เช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป (ธนาวดี ลีจากภัย และ โยธิตา ฤทธิกิจ, 2549) อย่างไรก็ตามการนำโฟมแป้งมาใช้ทดแทนพลาสติก เช่น พอลิสไตรีน ยังมีข้อบกพร่องเนื่องจากคุณสมบัติการดูดซับน้ำ (water absorption) ของโฟมแป้ง โดยพบว่าในสถานะที่มีความชื้นสูง โฟมแป้งจะขาดความยืดหยุ่น (flexible) และมีความแข็งแรงลดลง แต่ในสถานะที่มีความชื้นต่ำ โฟมแป้งจะมีแนวโน้มที่แข็งเปราะ (brittle) และเมื่อทดลองแช่โฟมแป้งในน้ำจะเกิดการเสียรูป เปลี่ยนเป็นเลน (slimy) อย่างรวดเร็ว ข้อบกพร่องอีกประการของโฟมแป้งคือคุณสมบัติความยืดหยุ่น โดยพบว่าในกระบวนการผลิต เมื่อเพิ่มปริมาณอะโมโลส และความเข้มข้นของแป้งให้มากขึ้น จะได้โฟมที่มีความหนาแน่นและแข็งแรงขึ้น แต่กลับมีความยืดหยุ่นที่น้อยลง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวนี้จึงได้มีการนำน้ำยางธรรมชาติธรรมชาติที่มีสูตรโครงสร้างเป็น *cis*-1,4-polyisoprene มาใช้เป็นส่วนผสมในโฟมแป้งที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อปรับปรุงให้โฟมแป้งมีคุณสมบัติในการต้านทานการดูดซับน้ำที่ดีขึ้น มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และมีสมบัติความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น

จีเลื้อยและผงไม้เป็นวัสดุเศษเหลือของโรงงานที่ได้จากการผลิตและตกแต่งของเล่นไม้ ซึ่งปัจจุบันการบรรจุของเล่นไม้อย่างพาราไลน์ในกล่องกระดาษของบริษัทผลิตของเล่นโดยทั่วไป จะใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกประเภท single face และ single wall เป็นวัสดุกันกระแทก จึงต้องสั่งซื้อแผ่นกระดาษลูกฟูกจากบริษัทผู้ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกเป็นจำนวนมาก เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดในการเตรียมวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากจีเลื้อยและผงไม้ อย่างไรก็ตามปัญหาประการหนึ่งของการเตรียมวัสดุกันกระแทกจากจีเลื้อยและผงไม้ยังพาราที่เป็นวัสดุเศษเหลือของโรงงานคือ ความสามารถในการรับแรงกระแทกของวัสดุที่เตรียมขึ้นเนื่องจากการขึ้นรูปจีเลื้อยหรือ

ผงไม่ยาวพาราเป็นวัสดุกันกระแทก จะได้วัสดุกันกระแทกที่มีเนื้อแน่น การรับแรงและความยืดหยุ่นของวัสดุกันกระแทกไม่ดี ลักษณะของวัสดุกันกระแทกที่เตรียมขึ้นมีลักษณะคล้ายไม้อัด อีกทั้งวัสดุกันกระแทกที่ได้ยังมีความสามารถในการต้านทานความชื้นต่ำ ดังนั้น ถ้ามีการผสมวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและสามารถรับแรงกระแทกได้ดีลงในส่วนผสมที่เตรียมขึ้น วัสดุกันกระแทกที่เตรียมได้นี้จะสามารถรับแรงได้ดีขึ้น จึงมีการพัฒนาสูตรในการเตรียมวัสดุกันกระแทกจากขี้เลื่อยโดยการนำน้ำยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มาเป็นส่วนประกอบของวัสดุกันกระแทกที่เตรียมขึ้น เพื่อเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นและสมบัติในการต้านทานการดูดซับน้ำที่ดีขึ้น

การทบทวนเอกสาร

1. วัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทก (Cushioning material) คือ วัสดุที่ถูกนำมาใช้เพื่อปกป้องผลิตภัณฑ์จากความเสียหาย อันมีสาเหตุมาจากการกระแทกอย่างรุนแรง และ/หรือการสั่นสะเทือนระหว่างกระบวนการขนส่ง เคลื่อนย้าย ขนถ่าย ซึ่งมีหลักการพื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการของวัสดุกันกระแทกในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ คือ

1. สามารถดูดซับแรงกระแทกและป้องกันการส่งผ่านแรงกระแทกไปยังผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น แผ่นกระดาษลูกฟูกที่รองไว้ใต้กล่องอาหารขบเคี้ยวหรือผลไม้สด
2. ลดการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นการลดการเคลื่อนที่มากระแทกกันจากการสั่นสะเทือน ตัวอย่างเช่น ใส้กล่องในกล่องเบียร์หรือกล่องน้ำปลา

ในปัจจุบันมีวัสดุหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทก แต่การเลือกใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันเพียงพอ ในระดับราคาที่เหมาะสมจะช่วยควบคุมต้นทุนของผลิตภัณฑ์และลดการสูญเสียลงได้ ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกวัสดุกันกระแทก มีดังนี้

1. รูปทรง ขนาด และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์
2. ความเปราะบางของผลิตภัณฑ์ในแง่ของการตกกระแทกและการสั่นสะเทือน
3. ความแตกต่างของการขนส่งแต่ละแบบ ว่าได้รับแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนแบบใด ขนาดของแรงประมาณเท่าใด
4. คุณสมบัติ ราคา และการใช้ประโยชน์ของวัสดุกันกระแทก แต่ละชนิด
5. ความต้องการของตลาด เป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของวัสดุกันกระแทกที่ใช้แล้ว การเลือกวัสดุกันกระแทกที่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้จะทำให้สามารถแข่งขันในตลาดได้มากกว่าที่จะเลือกวัสดุกันกระแทกที่ยากหรือลำบากต่อการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่

การขนส่งผลิตภัณฑ์ในแต่ละเส้นทางจะได้รับแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนแตกต่างกันไป

นอกจากนี้การเคลื่อนย้ายด้วยคนหรือเครื่องจักรกล อาจเกิดการตกหล่นได้ มีการศึกษาความเป็นไปได้ของการตกหล่น จากการเคลื่อนย้ายด้วยแรงคนขณะปฏิบัติงาน พบว่าโอกาสและความบ่อยครั้งที่จะเกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา มากกว่าบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมาก อนึ่ง การเคลื่อนย้ายด้วยเครื่องจักร เช่น รถยก โอกาสตกหล่นจะน้อยกว่าเคลื่อนย้ายด้วยแรงคน แต่ถ้ามีการตกแล้วระยะตกอาจจะสูงถึง 1.5 เมตร

วัสดุกันกระแทกสามารถผลิตจากวัสดุบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย วัสดุแต่ละชนิดมีคุณลักษณะประจำตัว และความเหมาะสมต่อการใช้งานแตกต่างกัน ตัวอย่างวัสดุกันกระแทกที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ กระจายถูกฟูก กระจายคราฟท์ เยื่อกระดาษขึ้นรูป พลาสติกฟองอากาศ (Air bubble film) โฟมพอลิสไตรีน โฟมพอลิยูรีเทน โฟมพอลิเอทิลีน ฟอยล์ไม้ และฟอยกระดาษ เป็นต้น (ปูน คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

ปัจจุบันวัสดุกันกระแทกประเภทโฟม มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถผลิตให้ได้ความหนาแน่นต่างๆ ที่เหมาะสมกับสินค้ามากมาย แต่เนื่องจากโฟมบางชนิดมีการสลายตัวได้ยาก และบางชนิดไม่สามารถนำกลับเข้ากระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ จึงก่อให้เกิดปัญหาการจัดการเศษวัสดุที่เหลืออยู่ ผู้ผลิตหลายรายจึงหันมาเลือกใช้วัสดุกันกระแทกที่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

วัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable materials) หมายถึง วัสดุที่สามารถสลายตัวไปโดยการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติได้อย่างรวดเร็ว จนกลายเป็นสารธรรมชาติที่ผสมผสานไปกับสภาพแวดล้อมทั่วไป (อรอนงค์ มหัทธมนพงศ์, 2549) ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวจะสามารถสลายปะปนไปกับดินหรืออยู่ในน้ำ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเมืองหรือสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะหรือการคัดแยกขยะที่ดี เพราะสามารถนำวัสดุเหล่านี้มาหมักร่วมกับขยะอินทรีย์ได้เลย

กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุต่างๆ จะมี 2 ปัจจัยที่ควบคุมการย่อยสลาย คือ

1. ความสามารถในการสลายตัวของวัสดุที่ย่อยสลายได้ เช่น วัสดุที่มีส่วนผสมของพืช สัตว์ หรือมีส่วนผสมของธาตุอาหารจากธรรมชาติ จะสามารถสลายตัวได้เองโดยธรรมชาติ ในขณะที่สารสังเคราะห์ที่มนุษย์ผลิตขึ้นมาจากส่วนผสมของสารพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการทางปิโตรเคมีจะไม่สามารถย่อยสลายได้

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย สารธรรมชาติแต่ละชนิดจะมีการย่อยสลายได้ในอัตราที่แตกต่างกัน ใบไม้ที่ร่วงหล่นอาจจะใช้เวลา 1 ปี เพื่อการย่อยสลายรวมกับดินไปจนหมด ในขณะที่พลาสติกต้องใช้เวลาที่นานกว่า

วัสดุประเภทพลาสติกที่เป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นที่รู้จักและนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ ด้วยคุณสมบัติด้านความคงทนและแข็งแรงจึงทำให้การใช้ประโยชน์

เป็นไปอย่างแพร่หลาย จนกระทั่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศของมนุษย์ เนื่องจากการใช้วัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (non-degradable) และในปัจจุบันจัดเป็นปัญหาระดับโลกที่รบกวนแก้ไข ทั้งนี้เนื่องจากการได้มาซึ่งวัสดุทดแทนยังมีข้อจำกัด

การพัฒนาวัสดุย่อยสลายได้จึงเกิดขึ้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในช่วงแรกของการคิดค้นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้นั้น จะนำเอากระบวนการทางชีวภาพมาใช้เพื่อให้การย่อยสลายเป็นไปตามกระบวนการทางธรรมชาติมากที่สุด อาทิเช่น การนำแป้ง (starch) ชนิดต่างๆมาใช้เป็นสารผสมร่วมกับพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการทางปิโตรเคมี เพื่อเป็นการลดสัดส่วนของสารที่ย่อยสลายได้ยากในวัสดุ และเป็นการเพิ่มคุณสมบัติการสลายตัวของวัสดุให้มากขึ้น เนื่องจากแป้งเป็นวัสดุเพียงอย่างเดียวที่สามารถขึ้นเป็นรูปร่วมกับวัสดุอื่น โดยการใช้ความร้อน แต่วัสดุที่ได้จะพบปัญหาในเรื่องของการซึมผ่านของน้ำ และการบวมหรือการคงตัวของผลิตภัณฑ์นั้นๆเมื่อได้รับความชื้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยแป้งจะนิ่มง่ายและไม่คงรูป จึงทำให้การใช้แป้งเพียงอย่างเดียวไม่ได้ผลเท่าที่ควร เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งด้วยวัสดุอื่น เพื่อลดข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้ง โดยการนำแป้งมาผลิตเป็นวัสดุคอมพอสิตร่วมกับวัสดุประเภทอื่น เช่น ขี้เลื่อย และน้ำยางธรรมชาติ

3. พอลิเมอร์คอมพอสิต

คอมพอสิต (Composites) หมายถึงวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยสองชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกันเมื่อผสมเป็นคอมพอสิตแล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่าแต่ละองค์ประกอบย่อยที่มาประกอบกัน (เล็ก สีคง, 2543)

โดยทั่วไปคอมพอสิตจะประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คือ

1. เมตริกซ์ (Matrix)

เมตริกซ์ คือ วัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกันให้อยู่ตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด มักมีความแข็งแรงและมอดูลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมตริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (Load transfer medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง และยังทำหน้าที่ปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น

วัสดุเมตริกซ์ที่ใช้ในการผลิตวัสดุคอมพอสิตมีมากมายหลายชนิดและมีสมบัติหลากหลาย ซึ่งอาจแบ่งได้ 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1.1 โลหะ เรียกคอมพอสิตชนิดนี้ว่า “Metal Matrix Composite (MMC)” คอมพอสิตกลุ่มนี้พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยใช้วัสดุโลหะเป็นเมตริกซ์และนิยมใช้เส้นใยโลหะเป็นวัสดุเสริมแรง จึงมีความแข็งแรงสูงแต่มีข้อจำกัดคือน้ำหนักของวัสดุมาก เมตริกซ์โลหะที่นิยมใช้ ได้แก่ อะลูมิเนียม ไททาเนียม แมกนีเซียม และทองแดง เป็นต้น

1.2 เซรามิกซ์ เรียกคอมพอสิตชนิดนี้ว่า “Ceramic Matrix Composite (CMC)” คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ทราช เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไปของวัสดุกลุ่มนี้ ขณะที่วัสดุเซรามิกซ์คอมพอสิตขั้นสูง (advanced composite) มีเมตริกซ์เป็นเซรามิกซ์ และใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย คอมพอสิตกลุ่มนี้มักนำมาใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงและทนต่อสารเคมี เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

1.3 พอลิเมอร์ เรียกคอมพอสิตชนิดนี้ว่า “Polymer Matrix Composite (PMC)” พอลิเมอร์คอมพอสิตถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมายเช่น อุตสาหกรรมการก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์รถยนต์ และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น คอมพอสิตกลุ่มนี้มีพอลิเมอร์เป็นเมตริกซ์ที่อาจเป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และเทอร์โมเซต (Thermosets) เช่น พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester) อีพอกซี (Epoxy) เป็นต้น วัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้ได้แก่ เส้นใยสังเคราะห์เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar fibers) เป็นต้น

วัสดุคอมพอสิตพอลิเมอร์คอมพอสิตจัดเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันเป็นที่นิยมและมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีข้อดีหลายประการคือ

- น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ
- มีความแข็งแรง และค่ามอดูลัสต่อน้ำหนักสูง
- ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย จากขบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ฯลฯ
- มีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ผุกร่อนง่าย และไม่ถูกทำลายโดยแมลงเช่น มอด ปลวก ฯลฯ
- มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดี ดูดซึมน้ำได้ต่ำกว่าไม้

2. วัสดุเสริมแรง (Reinforcement materials)

วัสดุเสริมแรง คือ วัสดุที่ช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเมตริกซ์ให้สูงขึ้น ทำให้คอมพอสิตมีความแข็งแรง มักเป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous phase) วัสดุเสริมแรงมีลักษณะรูปร่างหลายแบบอาจเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในเมตริกซ์อย่างโลหะ เซรามิกซ์ หรือพอลิเมอร์ วัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นเส้นใย (Fiber) อาจเป็นเส้นใยต่อเนื่องหรือเส้นใยสั้น เส้นใยที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์คอมพอสิตมีหลายประเภท ได้แก่ เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) และ เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fibers)

ชนิดของคอมพอสิต สามารถแบ่งตามลักษณะของวัสดุเสริมแรงได้ดังนี้

2.1 คอมพอสิตแบบอนุภาค (Particulate composites) คือ คอมพอสิตที่มีวัสดุเสริมแรงเป็นอนุภาคที่กระจายตัวในเมตริกซ์ ซึ่งอนุภาคจะมีรูปร่างการจัดตัว และขนาดต่างๆกัน อาจเป็น ผง เม็ด หรือผลึก

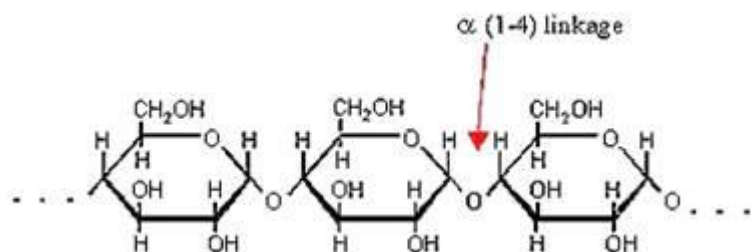
2.2 คอมพอสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar composites) คือ คอมพอสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมตริกซ์อัดด้วยความดันสูง ซึ่งจะมีลักษณะเป็นชั้นๆ คล้ายแซนวิช

2.3 คอมพอสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือ คอมพอสิตที่มีเส้นใยเป็นวัสดุเสริมแรง มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและโมดูลัสสูง ทำให้คอมพอสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ

4. แป้ง

แป้ง (Starch) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในพืชส่วนใหญ่ มักพบในบริเวณส่วนราก หัว เมล็ด ต้นและผลบางชนิด เม็ดแป้งในธรรมชาติจะมีความหนาแน่นสูง จึงทนต่อแรงกระทำทางกลได้ดี และแป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่สามารถดูดซึมน้ำและเกิดการพองตัวได้ รูปร่างของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ในทางเคมีแป้งมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylase) และ อะไมโลเพกทิน (amylopectin) โดยยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนในปริมาณและอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์พืช แต่โดยทั่วไปแป้งจะมีสัดส่วนของอะไมโลเพกทินมากกว่าอะไมโลส

อะไมโลส เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีโซ่ยาวตรง มีหน่วยเป็นน้ำตาลมอลโตส ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคส 250 – 2000 หน่วยเชื่อมต่อกันเป็นแอลฟา 1,4 ไกลโคไซด์ มีสูตรทางโครงสร้าง ดังภาพที่ 1



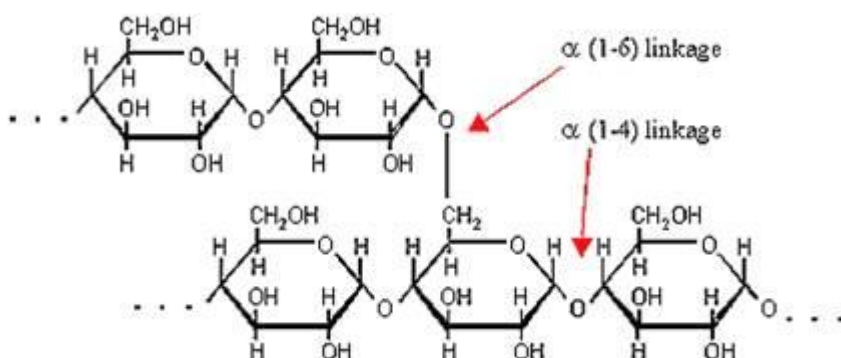
ภาพที่ 1 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : คุษฎี อุดมภาพ (2551)

เมื่ออะไมโลสอยู่ในสารละลายจะมีลักษณะขุ่นเป็นเกลียว ชีดย่นได้ และเมื่อจับกับไอโอดีนจะเป็นสารที่มีสีน้ำเงินสด ถ้าได้รับความร้อนสีน้ำเงินจะจางหายไป แต่เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็จะกลับมาเป็นสีน้ำเงินอีกครั้ง

อะไมโลเพกทิน มีพื้นฐานเหมือนกับอะไมโลส คือเป็นหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาต่อเชื่อมกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคไซด์ แต่จะแตกต่างกันโดยจะมีหน่วยของกลูโคสประมาณร้อยละ 4 – 5 ที่

ยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิลของอีกหน่วยหนึ่งด้วยพันธะแอลฟา 1,6 ในลักษณะเป็นกิ่งหรือสาขา แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน

ที่มา : ศุภฤติ อุตภาพ (2551)

อะไมโลเพกตินจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีโครงสร้างเป็นกิ่งสาขา ทำให้มีความหนืดในโมเลกุลสูง ดังนั้นจึงมีความเหนียวข้นกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า อะไมโลเพกตินสามารถดูดซับไอโอดีนแล้วเกิดสารประกอบที่มีสีม่วงแดง

เมื่อนำแป้งไปละลายน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดน้ำเข้าไปและเกิดการพองตัว แต่ไม่ละลาย เนื่องจากพันธะระหว่างโมเลกุลของเม็ดแป้งบริเวณที่เป็นผลึกมีความแข็งแรง น้ำเย็นจึงไม่สามารถทำให้โมเลกุลเหล่านั้นแยกตัวออกจากกันได้ แต่เมื่อใดที่น้ำแป้งได้รับความร้อน ความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างโมเลกุลเข้าด้วยกันแตกออก ทำให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ดีขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ 2 ประการ คือ เกิดการยึดติดกับสารอื่นได้และมีลักษณะข้นหนืด โดยลักษณะยืดยืดนี้เกิดจากแรงกดดันจนติดแน่น หรือการระเหยของตัวทำละลาย จนทำให้เกิดการจับตัวกัน ส่วนลักษณะข้นหนืดเกิดจากพันธะไฮโดรเจนในน้ำและในเม็ดแป้งถูกทำลาย น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปในระหว่างโมเลกุลของแป้ง ส่วนที่เป็นอะไมโลสจะละลายและดูดน้ำ ทำให้เกิดการพองตัวได้มากขึ้น โมเลกุลจะเข้าใกล้กันและเกิดการยึดติดเข้าด้วยกัน ทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวข้นหนืดเรียกว่าแป้งเปียกหรือสตาร์ชเพสต์ (paste) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การทำให้เป็นเจลหรือการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) และเพสทิ้ง (Pasting) ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่ทำให้เป็นเจลแตกต่างกัน (ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรธณี เดชกำแหง, 2530)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเป็นเจล ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่าง ขนาดและชนิดของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กจะเป็นเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่ โดยแป้งจากพืชต่างชนิดจะให้สมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน (แสดงดังตารางที่ 1) เช่น ในแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวโพดจะมีลักษณะขุ่น กรอบ และร่วน ส่วนแป้งมันฝรั่ง แป้งมันเทศ และแป้งมันสำปะหลังจะใสและเหนียว

นอกจากนั้นแป้งยังมีสมบัติในการเกิดฟิล์มจากสารละลายแป้งโดยเม็ดแป้งจะพองตัวแล้วแตกออก หรือจับอยู่กับน้ำเมื่อระเหยน้ำออกไป ส่วนต่างๆดังกล่าวจะมีการรวมตัวกัน เกิดเป็นร่างแหขึ้นที่ผิวหน้า ทำให้มีลักษณะเป็นฟิล์ม ซึ่งความเหนียวหรือความแข็งแรงของฟิล์มนั้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณอะไมโลสและน้ำหนักรวมของแป้ง

ตารางที่ 1 สมบัติที่สำคัญของแป้งบางชนิด

	ข้าวโพด (Corn)	ข้าวโพด (Waxy Corn)	มันฝรั่ง ข้าวเหนียว	ข้าวสาลี	ข้าว	มัน สำปะหลัง
อะไมโลส : อะไมโลเพคติน	26 : 74	5 : 95	22 : 78	25 : 75	17 : 83	17 : 83
อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (°C)	62 - 74	63 - 72	56 - 69	52 - 64	61 - 78	52 - 64
ขนาด (μm)	5 - 25	5 - 25	15 - 100	2 - 35	3 - 8	5 - 35
แป้งเปียกหรือสตาร์ชเพสต์ (Paste)						
ความหนืด	ปานกลาง	สูงปาน กลาง	สูงมาก	ต่ำปาน กลาง	ต่ำปาน กลาง	สูง
ความใส	ทึบแสง	ขุ่นเล็กน้อย	ใส	ทึบแสง	ทึบแสง	ใส
ความเสถียรของแป้งเปียก (Paste)						
ต่อ						
- การแช่เยือกแข็ง	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
- กรด	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำมาก	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ
- เหนือน (Shear)	สูงปาน กลาง	ต่ำปานกลาง	สูงปาน กลาง	สูงปาน กลาง	ปาน กลาง	ต่ำปาน กลาง

ที่มา : ดัดแปลงจาก Rapaille และ Vanhemelruck (2001) อ้างโดย วรรณนา ตูลยชัย (2549)

แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch)

แป้งมันสำปะหลัง หมายถึง แป้งที่ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า มานิสอติ ยูติลิสซิม่า (*Manihot utilissima*) ซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากส่วนรากของมันสำปะหลังซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของ ไทย ลักษณะของเม็ดแป้งเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2 - 8 เม็ดแป้ง รวมกัน แต่ละเม็ดยาวประมาณ 3 - 35 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 15 ไมโครเมตร เม็ดแป้งส่วนมากเป็นรูปไข่ซึ่งปลายด้านหนึ่งถูกตัดออก และบริเวณที่ตัดออกจะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ด อาจมีริมด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านแบนไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋มอย่างชัดเจน แป้งมันสำปะหลังมีโครงสร้างประกอบด้วยโมเลกุลของโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส ประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณแป้งทั้งหมด และอะไมโลเพคติน ประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณแป้งทั้งหมด

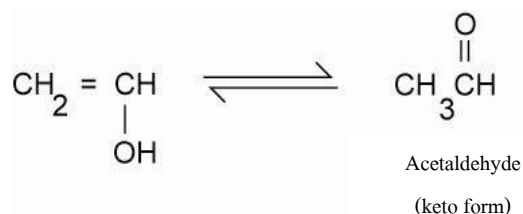
สำหรับการใช้งานแป้งมันสำปะหลังในปัจจุบัน ถึงแม้ราคาของแป้งจะถูกแต่มีการใช้ในประเทศเพียงร้อยละ 40 และในจำนวนนี้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพียงร้อยละ 27.4 เท่านั้น โดยนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อาหารกระป๋อง เครื่องดื่ม ซอสปรุงรส ชุป อาหารเด็ก และขนมหวานสำเร็จรูป เป็นต้น แต่แป้งมันสำปะหลังมีข้อจำกัดในด้านขอบเขตการใช้งาน คือ แป้งมันสำปะหลังมีความหนืดที่ไม่คงทนต่ออุณหภูมิสูง และการผสมที่รุนแรงในกระบวนการผลิต

5. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือ สามารถย่อยสลายได้โดยชีวภาพและติดไฟได้คล้ายกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถละลายน้ำได้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการทำวอลล์เปเปอร์และการทำสารเคลือบ การสังเคราะห์ จะใช้วิธีซัสเพนชันพอลิเมอไรเซชัน (suspension polymerization) โดยสังเคราะห์จาก ไวนิลอะซิเตตโมโนเมอร์ (vinyl acetate monomer) ซึ่งได้มาจากการไฮโดรไลซิส พอลิไวนิลอะซิเตต

การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นตัวอย่างหนึ่งของพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาของพอลิเมอร์ เพราะไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารที่ไม่เสถียร ไม่สามารถสกัดออกมาจากปฏิกิริยาได้ เมื่อเกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปเป็นคีโตเทาโทเมอร์ (keto tautomer) ที่เสถียรมากกว่า ดังนี้

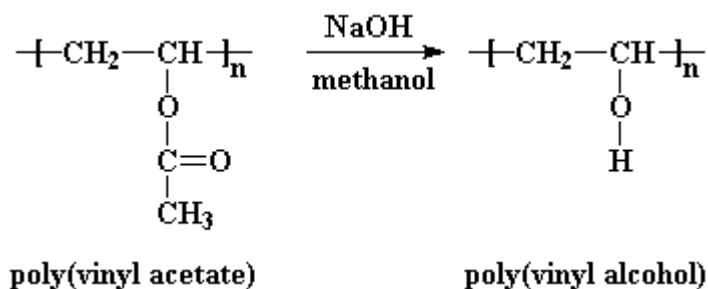


ภาพที่ 3 การเปลี่ยนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นคีโตเทาโทเมอร์ (keto tautomer)

ที่มา : ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ (2526)

ดังนั้นพอลิเมอร์นี้จึงเตรียมจากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ิซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต พอลิไวนิลอะซิเตตสามารถถูกไฮโดรไลส์ได้ง่าย โดยนำสารละลายแอลกอฮอล์ของพอลิเมอร์นี้มาเติมกรดหรือเบส ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีกรดปนเปื้อนอยู่ ซึ่งขจัดออกได้ยากและทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้ไม่เสถียร ส่วนปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสารโซเดียมอะซิเตตเป็นจำนวนมาก ซึ่งสารนี้สามารถขจัดออกไปได้ยากเช่นกัน ปัญหานี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ถ้าเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลอะซิเตตโดยปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ิซิสโดยใช้เบสในปริมาณเล็กน้อยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้โดยทั่วไป

เป็นเมทานอลและเบสเป็นเบสแก่ได้แก่ โซเดียมเมทอกไซด์ (CH_3ONa) ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิสที่เกิดขึ้นสามารถเขียนแทนด้วยสมการดังนี้

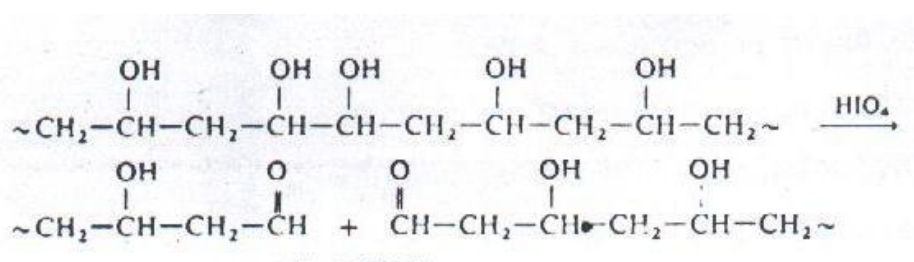


ภาพที่ 4 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลอะซิเตตโดยปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิส
ที่มา : ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ (2526)

ส่วนพอลิไวนิลอะซิเตตที่ใช้เพื่อจุดประสงค์ในการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเตรียมพอลิเมอร์ไวนิลอะซิเตตโดยใช้เทคนิคแบบสารละลายหรือแบบแขวนลอย แต่กรณีการใช้เทคนิคแบบสารละลายจะเหมาะสมกว่าและสะดวกกว่าเพราะพอลิไวนิลอะซิเตตสามารถเปลี่ยนเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้โดยไม่ต้องสกัดพอลิไวนิลอะซิเตตออกมาก่อน

โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีโครงสร้างการเชื่อมต่อโมโนเมอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบหัวกับปลาย แต่ก็มีการเชื่อมต่อแบบหัวกับหัวประมาณร้อยละ 1-2 ทั้งนี้ได้จากการให้พอลิเมอร์ทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ไอโอดิก (HIO_4) หรือเลดเตตระอะซิเตต [$\text{Pb}(\text{OAc})_4$] พบว่าจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีความหนืดของพอลิเมอร์มีค่าลดลง แสดงว่าได้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลดังนี้



ภาพที่ 5 การแตกตัวของโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อทำปฏิกิริยากับกรด
ที่มา : ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ (2526)

สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นกับปริมาณของแอลกอฮอล์ซิส พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ ---OH ร้อยละ 100 จะให้ค่าการต้านทานแรงดึงสูงและสามารถทนทานต่อการกัดกร่อน

ได้ดีกว่า พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ -OH ต่ำกว่า ร้อยละ 100 เพราะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ -OH ร้อยละ 100 จะมีความเป็นผลึกสูงกว่าและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้มากกว่า นอกจากนี้แล้วสมบัติทางกายภาพยังขึ้นกับความชื้นของสภาพแวดล้อมด้วย เพราะน้ำจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์สำหรับพอลิเมอร์ เช่น เมื่ออากาศมีความชื้นร้อยละ 50 ความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์จะลดต่ำลง แต่ความสามารถในการยืดตัวออกจะเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นต่ำ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะสลายตัวลงก่อนอุณหภูมิหลอมตัว เมื่อให้ความร้อนกับพอลิเมอร์นี้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส จะเริ่มสูญเสีย H-O-H จากหมู่ -OH ที่อยู่เคียงข้างกันภายในโมเลกุลก่อให้เกิดความไม่อึดตัว ถ้ามีพันธะคู่เกิดขึ้นมาก พอลิไวนิลแอลกอฮอล์อาจเกิดสีขึ้นได้ สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือสามารถละลายในน้ำได้ โดยละลายอย่างช้าๆ ในน้ำแต่ละลายเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูง กว่า 90 องศาเซลเซียสความสามารถในการละลายในน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ -OH ร้อยละ 88 ในโมเลกุล แต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ -OH สูงกว่านี้ความสามารถในการละลายกลับลดต่ำลงตามลำดับ เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถต้านทานตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปเป็นอย่างดีและความสามารถในการต้านทานจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่ -OH ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีปริมาณของหมู่ -OH สูงจะไม่ละลายในอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน คลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอนมาก (R-OH ซึ่ง R เป็นโซ่คาร์บอนที่ยาว) เอสเทอร์ อีเทอร์ และคีโตนทั่วไป อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์นี้จะสามารถละลายในตัวทำละลายที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ -OH ของพอลิเมอร์นี้ได้ เช่น เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) กลีเซอรอล (glycerol) และสารพวกจำพวกอะไมด์ เช่น ฟอร์มาไมด์ (formamide) อะซิตาไมด์ สารจำพวกอะมีนก็สามารถละลายพอลิเมอร์เช่นกัน

หมู่ -OH ในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเปลี่ยนเป็นหมู่อะซิเตตได้เมื่อทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) ในพริดีนและให้ความร้อน แต่พอลิไวนิลอะซิเตตที่ได้จะมีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างออกไปจากพอลิไวนิลอะซิเตตเดิมก็ได้

คุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะขึ้นอยู่กับองศาของการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization : DP) และระดับของการไฮโดรไลซิส

1. สมบัติตามน้ำหนักของโมเลกุล (ระดับของการพอลิเมอไรเซชัน)

การจำแนกตามระดับของการพอลิเมอไรเซชัน (น้ำหนักโมเลกุล) ตัวอย่างเช่น

BF - 17 : Fully hydrolyzed PVA ซึ่งมีระดับพอลิเมอไรเซชัน ประมาณ 1700

BF - 20: Partially hydrolyzed PVA ซึ่งมีระดับพอลิเมอไรเซชัน ประมาณ 2000

สมบัติตามน้ำหนักของโมเลกุล (ระดับของการพอลิเมอไรเซชัน) ได้แก่

- เมื่อน้ำหนักของโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้น

- เมื่อน้ำหนักของโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้นการละลายจะลดลง
- เมื่อน้ำหนักของโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้นสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเช่น ความแข็งแรง
- เมื่อน้ำหนักของโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้นการป้องกันผลิตภัณฑ์จะดีขึ้น

2. สมบัติตามระดับของการไฮโดรไลซิส

การจำแนกตามระดับของการไฮโดรไลซิสสามารถจำแนกได้เป็น

BF : Fully hydrolyzed PVA

BF(W) : Intermediate hydrolyzed PVA

BP : Partially hydrolyzed PVA

สมบัติตามระดับของการไฮโดรไลซิส ได้แก่

- Fully hydrolyzed PVA (BF type) ละลายน้ำได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส แต่จะเกิดการพองตัวในน้ำที่อุณหภูมิต่ำ
- Partially hydrolyzed PVA (BP type) จะละลายอย่างช้าๆ ในน้ำที่อุณหภูมิต่ำ แต่ในการใช้งาน จะละลายที่ 90 องศาเซลเซียส เพื่อให้ละลายได้ดีขึ้นและมีความคงตัว
- Super low hydrolysis grade PVA (BC type) จะละลายได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิ 25-50 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของ BF type PVA

1. สามารถใช้เคลือบกับเส้นใยที่ชอบน้ำ เช่น ฝ้าย กระดาษ ได้ดี
2. ฟิล์มจะป้องกันน้ำได้ดีกว่า BP type PVA
3. ความหนืดจะไม่คงตัวที่อุณหภูมิต่ำ
4. อัตราการละลายดีกว่า BP type PVA

คุณสมบัติของ BP type PVA

1. สามารถใช้ได้กับเส้นใยที่ไม่ชอบน้ำ เช่น พอลิเอสเตอร์ ไนลอน
2. สามารถเข้ากับสารที่ไม่ชอบน้ำได้ดี เช่น สารพวกน้ำมัน
3. สารละลายมีความหนืดคงที่
4. ป้องกันการเกิดคอลลอยด์ได้ดี

การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามความสามารถในการละลายคือ

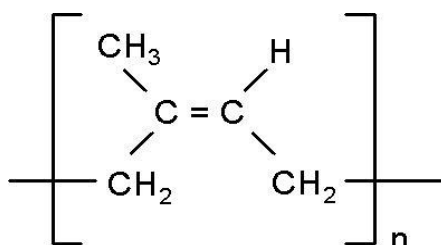
1. ความสามารถละลายได้ในน้ำของพอลิเมอร์นี้ เช่น ใช้เป็นสารช่วยเพิ่มความข้นหนืดให้กับระบบอิมัลชันและสารแขวนลอยต่างๆ (thickening agent) และใช้เป็นกาว (adhesives)

2. ความไม่สามารถละลายในน้ำของพอลิเมอร์โดยการปรับปรุงสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี โดยจะนำพอลิเมอร์นี้ไปปั่นแบบเปียก (wet spun) เป็นเส้นใส่ลงในสารละลายโซเดียมซัลเฟตเข้มข้นที่มีกรดซัลฟูริกและฟอร์มัลดีไฮด์ ประมาณ 1/3 ของหมู่ -OH พอลิเมอร์นี้เปลี่ยนไปเป็นหมู่ฟอร์มัล (formal , CH_2O) กลายเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายในน้ำ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ฟอร์มัลจะสามารถดูดน้ำและความชื้นเป็นได้ดี (ประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก) และดีกว่าพอลิเมอร์อื่นๆ ทัวไป จึงใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ ผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะสวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอ และสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี

6. ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพารา (*Hevea Brazilliensis*) ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30 % แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 % เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและยางยานยนต์ เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (two-roll mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จะได้ยางแผ่นรมควัน

ยางธรรมชาติ เป็นสารประกอบพอลิไฮโดรคาร์บอนที่มีหน่วยย่อยๆ แต่ละหน่วยประกอบขึ้นด้วยธาตุคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรทางเคมี คือ C_5H_8 มีชื่อเรียกทางเคมีว่า ไอโซพรีน (Isoprene) โครงสร้างของโมเลกุลยาง 1 โมเลกุล ประกอบด้วย หน่วยไอโซพรีนที่ต่อกันแบบหัวต่อปลายประมาณ 500 หน่วยขึ้นไป และหน่วยไอโซพรีนมีโครงสร้างแบบ cis-1,4-polyisoprene แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

ที่มา : บุญธรรม นิธิอุทัย (2530)

เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่ อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530)

คุณสมบัติเด่นอีกประการของยางธรรมชาติ คือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของยาง กล่าวคือ หน่วยของพอลิไอโซพรีนจะเรียงต่อกันในลักษณะที่ก่อให้เกิดสายโมเลกุลที่เป็นโซ่ยาวคดงอ ค่ายคอดของขดลวด (coiled long chain molecules) อันเป็นผลให้เกิดสายโมเลกุลที่สมบูรณ์จะขดอยู่ในลักษณะที่สายโมเลกุลอยู่ใกล้กัน ด้วยเหตุที่ยางชิ้นหนึ่งๆ ประกอบด้วยสายโมเลกุลที่ขดอยู่ในลักษณะดังกล่าวข้างต้นเป็นจำนวนมาก และขดของแต่ละโมเลกุลมีลักษณะซับซ้อน แต่ไม่ได้เชื่อมโยงติดต่อกัน ด้วยเหตุนี้เมื่อยางชิ้นหนึ่งๆ ถูกดึงหรือถูกยืดออกจะพบว่าแต่ละสายโมเลกุลก็จะเหยียดตรง โดยโมเลกุลที่เหยียดออกจะพยายามหดตัวสู่สภาพเดิม เมื่อชิ้นงานถูกปล่อยให้เป็นอิสระจากแรงยืดหรือแรงดึงยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขั้ว น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสารต่างๆ ดังกล่าว (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2530)

ยางธรรมชาติเป็นที่รู้จักและมีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นเวลานานแล้ว โดยปริมาณการใช้ประโยชน์จากน้ำยางธรรมชาติจะเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ยางธรรมชาติที่ใช้กันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำยางธรรมชาติ

6.1 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยหรือที่เรียกว่าคอลลอยด์ (colloid) ชนิดไฮโดรโซล คือ มีน้ำเป็นตัวทำละลาย แต่มีความพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไป กล่าวคือ น้ำยางธรรมชาติมีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างสภาพชอบน้ำหรือไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) คือมีลักษณะเป็นสารละลายได้ง่ายเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย และสภาพไม่ชอบน้ำหรือไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) คือมีลักษณะที่ไม่ยอมรวมกับน้ำ ทำให้เป็นสารละลายได้ยากเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยทั่วไปน้ำยางธรรมชาติจะมีลักษณะของไฮโดรโฟบิกเด่นชัดกว่า (สำนักงานเลขานุการ กรมวิชาการเกษตร, 2535)

ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติสดได้มาจากการกรีดต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม เรียกกันว่า “น้ำยางธรรมชาติสด” โดยมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ อนุภาคยางมีรูปร่างกลม หรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05 – 5 ไมครอน มีค่าความเป็นกรด – ด่างประมาณ 6.5 – 7.0 มีความหนาแน่นประมาณ 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร น้ำยางสดมีส่วนประกอบของสารต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง การกรีดและฤดูกาล น้ำยางสดจากธรรมชาติเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 (สุนิสา สุชาติ, 2550)

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	สัดส่วน(ร้อยละ)	สัดส่วนโดยเฉลี่ย(ร้อยละ)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27 – 48	36
เนื้อยางแห้ง	25 – 45	33
สารพวกโปรตีนและไขมัน	1 – 1.5	1 – 1.2
สารพวกเรซิน	1 – 1.25	1
จีเล้า	สูงถึง 1	< 1
กลุ่มคาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล)	1	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100	64

ที่มา : บุญธรรม นิธิอุทัย (2538) อ้างโดย สุนิสา สุชาติ (2550)

เมื่อกรีดน้ำยางมาจากต้นยางจะมีปริมาณของเนื้อยางแห้งอยู่ระหว่างร้อยละ 25 – 45 ความแตกต่างระหว่างปริมาณส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 3 (สุนิสา สุชาติ, 2550) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง

ส่วนประกอบ	ปริมาณร้อยละ
เนื้อยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำที่กระจายอยู่ในเนื้อยาง	10
สารโปรตีน	1
สารพวกไขมัน	3

ที่มา : คัดแปลงจาก บุญธรรม นิธิอุทัย (2538) อ้างโดย สุนิสา สุชาติ (2550)

การรักษาสภาพน้ำยาง

ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (Membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีน โดยแต่ละอนุภาคมีอนุโมลของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลให้น้ำยางธรรมชาติสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาค หรือมีการสะเทินอนุโมลจะทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางเกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน เมื่อได้น้ำยางธรรมชาติสดจากต้นยางหากไม่มีการรักษาสภาพน้ำยางธรรมชาติ จุลินทรีย์ในอากาศจะปะปนในน้ำยางธรรมชาติ และใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหาร ทำให้เกิดความเป็นกรด นั่นคือ มีอนุโมลบวกเกิดขึ้นและเกิดปฏิกิริยาสะเทินกับอนุโมลลบรอบๆผิวอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางธรรมชาติเสียสภาพก่อนจะนำไปแปรรูป ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางธรรมชาติโดยการเติมสารเคมี ซึ่งสารเคมีรักษาสภาพของน้ำยางแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป การเลือกชนิดของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการรักษาน้ำยางสดเพื่อนำไปแปรรูปเป็นยางดิบชนิดใดหรือต้องการรักษาน้ำยางขึ้นเพื่อให้มีอายุและการใช้งานใด (สุนิสา สุชาติ, 2550)

สมบัติของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives)

สารที่จะใช้รักษาสภาพน้ำยางควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ (Blackley, D.C., 1997 อ้างโดย วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549)

1. มีประสิทธิภาพในการทำลายหรืออย่างน้อยสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำยาง
2. ควรมีสภาพเป็นด่างเพื่อส่งเสริมสถานะสารแขวนลอยให้น้ำยาง
3. ทำให้อนุโมลโลหะหนักไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เพราะอนุโมลเหล่านี้จะส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์
4. สามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ที่ช่วยการเจริญของจุลินทรีย์
5. ไม่รบกวนต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และควรมีราคาเหมาะสม
6. ไม่เป็นพิษต่อสุขภาพของคนและต่อคุณภาพของยาง อีกทั้งยังสามารถขจัดออกจากรู้น้ำยางได้โดยง่ายและสะดวก เมื่อถึงช่วงเวลาที่ความต้องการ

ชนิดของสารรักษาสภาพน้ำยาง

สารชนิดแรกที่พบว่ามีประสิทธิภาพในการรักษาสภาพน้ำยางได้คือ “แอมโมเนีย” ซึ่งมีบันทึกการจดสิทธิบัตรโดย Johnson และ โดย Norris ในปี พ.ศ. 2396 จากนั้นเป็นต้นมา ก็พบว่าระบบการรักษาสภาพน้ำยางที่สำคัญประกอบด้วยการใช้แอมโมเนียจนทุกวันนี้ นอกจากแอมโมเนียยังมีสารอื่นๆ ที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ โซเดียมซัลไฟด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Blackley, D.C., 1997 อ้างโดย วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2549)

แอมโมเนีย (NH_3)

ปริมาณแอมโมเนียร้อยละ 0.2 ในน้ำยางโดยน้ำหนัก พอเพียงสำหรับการรักษาสภาพน้ำยางในช่วงเวลาสั้นๆ (short-term preservation) ถ้าต้องการรักษาสภาพน้ำยางในช่วงเวลายาวนานควรใช้ปริมาณร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก โดยไม่ต้องมีสารอื่นช่วยเสริม ปกติจะนิยมใช้แอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ anhydrous liquid บรรจุในถังมากกว่าการใช้ในรูปของแอมโมเนียเข้มข้น ทั้งนี้เพราะแอมโมเนียเข้มข้นจะมีความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายน้อยกว่าแอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ anhydrous liquid บรรจุถึง นอกจากนี้การใช้แอมโมเนียเข้มข้นโดยตรงจะทำให้น้ำยางจับตัวเป็นหย่อมๆ ได้

แอมโมเนียจัดเป็นสารที่มีสมบัติสอดคล้องกับสมบัติของสารรักษาสภาพน้ำยางตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (alkali) ช่วยส่งเสริมสถานะสารแขวนลอยให้น้ำยาง แอมโมเนียมีประสิทธิภาพทำลายแบคทีเรียได้ (bactericide) ถ้าเติมในปริมาณร้อยละ 0.35 ในน้ำยางโดยน้ำหนัก และแอมโมเนียสามารถ de-activate อีออนโลหะหนักโดยการโดยการฟอร์มแอมมีนอีออนหรือโดยการตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย หรือเป็นสาร hydroxides แล้วถูกแยกออกจากน้ำยางพร้อมๆ เศษทราย ดิน และสิ่งสกปรก เนื่องจากอีออนโลหะหนักเหล่านี้มีผลต่อความเสถียรของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย โดยเมื่อทำเป็นน้ำยางข้นที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียจะมีความเสถียรแนวโน้มต่ำและแปรปรวน ความเสถียรทางกลของน้ำยางจะต่ำ แต่ความหนืดจะสูง และมี pH ของการเกิดเจลสูง (Blackley, D.C., 1997 อ้างโดย วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2549)

แม้ว่าการแอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยางจะมีข้อดีหลายประการดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่ก็ยังมีข้อเสียหรือข้อบกพร่องอีกหลายประการ เป็นต้นว่า แอมโมเนียเป็นสารระเหยง่าย (จุดเดือดสารประมาณ 33 องศาเซลเซียส) และมีกลิ่นฉุนรุนแรง เมื่อสารระเหยสู่อากาศ นอกจากจะทำให้เกิดมลภาวะทางกลิ่นในสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังส่งผลโดยตรงต่อน้ำยางสดที่อยู่ระหว่างการเก็บรักษา เพราะแอมโมเนียระเหยง่าย ทำให้ปริมาณแอมโมเนียมีการเปลี่ยนแปลงตลอด ส่งผลให้น้ำยางมีสมบัติไม่คงที่ นอกจากนี้แอมโมเนียเป็นสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียไม่สูงนัก จึงต้องใช้เป็นปริมาณมาก เพื่อให้สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้สมบูรณ์ และแอมโมเนียมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อแอมโมเนียที่ระเหยออกจากน้ำยางลอยไปสัมผัสกับโลหะ หรือเมื่อน้ำยางที่รักษาสภาพโดยแอมโมเนียสัมผัสกับโลหะ จากจุดด้อยต่างๆ ดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาสารเคมีชนิดต่างๆ ขึ้นมาเพื่อใช้แทน หรือใช้ร่วมกับแอมโมเนีย เพื่อลดผลกระทบจากจุดด้อยของแอมโมเนีย ซึ่งสารเคมีชนิดอื่นที่นิยมใช้ร่วมกับ

แอมโมเนียในการรักษาสภาพน้ำยางสด (secondary preservatives) จะช่วยเสริมประสิทธิภาพการรักษา สภาพน้ำยางในการทำลายบั๊กเทรี น้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพโดยระบบนี้เรียกว่า Low-Ammonia Latex (LA) ซึ่งต่างจากระบบที่ใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียว ที่เรียกว่า High-Ammonia Latex (HA) สารต่างๆที่ใช้เป็นตัวเสริมในระบบ LA ได้แก่ Pentachlorophenates, Zinc Dialkyldithiocarbamates, Thiuram Sulphides, aminophenols และ Boric Acid ซึ่งปริมาณการใช้แอมโมเนียในระบบ LA นี้จะ ลดลงเหลือประมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก และใช้สารอื่นร่วมประมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักคือน้ำ ยางทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ไรก็ดีสารเคมีรักษาสภาพชนิดอื่นที่นิยมใช้ร่วมกับแอมโมเนียก็มีจุดด้อย เช่นกัน อย่าง สาร Zinc oxides จะทำลายเสถียรภาพของน้ำยาง ทำให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันง่ายขึ้น ขณะที่การใช้สาร Thiuram Sulphides จะทำให้เกิดสาร Nitrosoamine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง และทำให้เกิดสีในเนื้อยาง (บุญ รักษ์ กาญจนวราวิชย์, 2552)

โดยปกติการใช้ประโยชน์จากน้ำยางจะมีกระบวนการแปรรูปเบื้องต้นเพื่อให้ได้วัตถุดิบใน สภาพที่เหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สภาพของยางแห้ง (dry solid form) และสภาพ ของน้ำยางข้น (concentrated latex) สำหรับงานวิจัยนี้วัตถุดิบที่ใช้จะอยู่ในสภาพของน้ำยางข้น

6.2 น้ำยางข้น

น้ำยางข้นธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางหลายประเภท เช่น ถุงมือยาง ยางยานยนต์ ยางล้อ ยางปูพื้น ยางรองเท้า ยางสายพาน ยางสายพานลำเลียง ยางสายพานลำเลียง ยางสายพานลำเลียง นอกจากนั้นยังมีการส่งน้ำยางข้นธรรมชาติไป จำหน่ายยังต่างประเทศอีกด้วย (มอก. 980, 2533) โดยปกติน้ำยางสดจากต้นยาง มีปริมาณเนื้อยางแห้ง เฉลี่ยร้อยละ 35 จะมีส่วนที่ไม่ใช่ยางประมาณร้อยละ 5 นอกนั้นเป็นน้ำ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดใน การขนส่งน้ำยางไปทั่วโลก จึงมีวิธีการทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งระดับความเข้มข้นที่นิยม คือร้อยละ 60 ของเนื้อยางแห้ง โดยทั่วไปเรียกว่า “น้ำยางข้น (concentrated latex)” ซึ่งนอกจากเป็นการ ประหยัดในการขนส่งแล้ว การใช้น้ำยางข้นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าการใช้น้ำยางสด เนื่องด้วยสารที่ไม่ใช่ยางบางส่วนได้ถูกแยกออกจากน้ำยางขณะผ่านกรรมวิธีการทำให้น้ำยางข้นขึ้น การ กล่าวถึงน้ำยางธรรมชาติในความหมายของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูป โดยทั่วไปจะ หมายถึงน้ำยางในสถานะที่ทำให้ข้นแล้ว (วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2549)

การผลิตน้ำยางข้นที่สำคัญมี 4 วิธีคือ การระเหย (evaporation) การทำครีม (creaming) การแยก ด้วยไฟฟ้า (electrodecentration) และการปั่นแยก (centrifuging) วิธีการแรกเป็นการระเหยหรือแยกเอาแต่ ส่วนของน้ำเพียงอย่างเดียวออกจากน้ำยาง ดังนั้นปริมาณของสารที่ไม่ใช่ยาง (ที่นอกเหนือจากน้ำ) จึง ยังคงอยู่ในน้ำยางข้น และอนุภาคน้ำยางต่างๆของยางยังคงเหมือนก่อนการทำให้ข้น ส่วน 3 วิธีการหลัง นั้น เป็นวิธีที่มีการแยกเอาบางส่วนของสารอื่นๆที่ไม่ใช่ยางออกด้วย และอนุภาคน้ำยางขนาดเล็กๆ ก็ได้ถูก แยกออกในระหว่างกรรมวิธีการผลิต วิธีการผลิตน้ำยางข้นทั้ง 4 วิธีดังกล่าว วิธีการปั่นแยกน้ำยางเป็น วิธีการที่นิยมทำมากที่สุด ประมาณมากกว่าร้อยละ 90 ของการผลิตน้ำยางข้นทั้งหมด ส่วนวิธีอื่นๆ นั้นมี

ข้อจำกัด เพราะเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก สิ้นเปลืองเวลาและทรัพยากรต่างๆ จึงไม่ค่อยนิยมใช้ผลิตน้ำยางข้นเชิงพาณิชย์ (วารสาร ฌร ไซญล, 2549; สุนิสา สุชาติ, 2550)

วิธีการผลิตน้ำยางข้น

วิธีผลิตน้ำยางข้นในเชิงพาณิชย์มี 4 วิธี หลักการสำคัญมีดังต่อไปนี้

1. การระเหยน้ำ (evaporation) วิธีการผลิต เริ่มจากการเติมสารที่ทำให้น้ำยางสดคงตัว (stabilizers) เช่น Potassium soap ก่อนการระเหยน้ำออกจากน้ำยางที่จะเกิดภายในถังหรือในภาชนะที่หมุนได้รอบๆ แกน ตามแนวนอน คือให้ความร้อนโดยผ่านน้ำร้อนเข้าไปในถัง 2 ชั้น ที่มีน้ำยางสดอยู่ภายใน ในขณะที่ถังบรรจุน้ำยาง หมุนไปรอบๆ นั้น อากาศภายในถังจะถูกดูดออกไป พร้อมกับน้ำน้ำที่ระเหยออกไปด้วย น้ำยางส่วนที่เหลือจะกลายเป็นน้ำยางข้นซึ่งมีส่วนประกอบของของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 75 มีเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 60 น้ำยางข้นที่ได้จากวิธีการนี้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับการขนย้ายน้ำยางไปไกลๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องใส่สารตัวเติม (filler) จำนวนมาก ตัวอย่างเช่น การผลิตกาว latex cement เป็นต้น

2. การทำให้เกิดครีม (creaming) น้ำยางเป็นสารละลายคอลลอยด์แบบอิมัลชัน (colloid emulsion) อนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าเซรุ่ม มีการเคลื่อนไหวยังไม่เป็นระเบียบ (Brownian movement) อนุภาคยางเบากว่าเซรุ่มจึงมีแนวโน้มลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยาง และแยกชั้นเกิดเป็นลักษณะครีมอยู่ที่ผิวหน้าน้ำยาง ความเร็วของการแยกชั้นขึ้นอยู่กับขนาดหรือรัศมีของอนุภาค ถ้าอนุภาคยางใหญ่ขึ้นจะเกิดการแยกชั้นได้เร็วขึ้น ซึ่งการทำให้อนุภาคยางใหญ่ขึ้นนั้นทำได้โดยการเติมสารทำให้เกิดครีม (creaming agent) ตัวอย่างสารพวกนี้ได้แก่ Sodium หรือ Ammonium alginate, Locust bean gum, Karaya, Gum tragacanth เป็นต้น ลงไปผสมกับน้ำยางสด กวนให้เข้ากันทิ้งไว้ระยะหนึ่ง น้ำยางจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นของเหลวที่มีเนื้อยางอยู่น้อย เรียกว่าหางน้ำยาง ซึ่งจะถูกแยกออกไป ส่วนชั้นบนเป็นครีมที่มีเนื้อยางสูงเรียกว่าน้ำยางข้น การทำน้ำยางข้นด้วยวิธีการทำให้เกิดครีมเป็นวิธีการผลิตน้ำยางข้นที่เก่าแก่ที่สุด มีวิธีการที่ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองเวลา แต่มีข้อดีคือ สามารถทำให้น้ำยางข้นที่ผลิตด้วยวิธีนี้บริสุทธิ์และมีโปรตีนน้อยลงเมื่อผ่านกรรมวิธีการทำให้เกิดครีมหลายๆ ครั้ง

3. การแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecentration) เป็นวิธีการที่อาศัยหลักการจากที่อนุภาคยางแขวนลอยในเซรุ่มนั้นต่างถูกห่อหุ้มด้วย carboxylate ion, RCOO^- ที่มีประจุเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถอาศัยวิธีการทางไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากเซรุ่มได้ โดยวิธีการจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวก ลงในน้ำยางที่มีการเติมสารช่วยให้น้ำยางคงตัวไว้แล้ว เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในน้ำยางสด อนุภาคยางซึ่งมีประจุเป็นลบ จะเคลื่อนเข้าหาขั้วบวก ทำให้อนุภาคยางมาอยู่รวมกัน อย่างหนาแน่นจนเกิดเป็นน้ำยางข้นและลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยาง จากนั้นจึงคั่นน้ำยางข้นออกมา อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เป็นวิธีที่ยุ่งยาก และไม่ประหยัด จึงเป็นเพียงวิธีการสำหรับการค้นคว้าวิจัย และไม่เป็นที่นิยมในเชิงพาณิชย์

4. การปั่นแยก (centrifuging) ดังได้กล่าวมาแล้วว่า น้ำยางธรรมชาติเป็นสารที่อยู่ในระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยอนุภาคยาง (rubber particle) แขนวนลอยกระจายในตัวกลาง และมีการเคลื่อนที่แบบ Brownian และอนุภาคยางมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจึงลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยาง อัตราการแยกชั้นและอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ซึ่งหากสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้ก็จะช่วยเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางด้วย การปั่นสามารถเพิ่มแรงดึงดูดของโลกเป็น 2,000 - 3,000 เท่าของแรงดึงดูดโลก จึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้ จึงได้เกิดการพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อการผลิตน้ำยางข้น โดยเครื่องปั่นน้ำยางหรือเครื่องหมุนเหวี่ยงจะมีความเร็วรอบประมาณ 7,000 - 8,000 รอบต่อนาที หลังการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง แล้วน้ำยางจะถูกแบ่งออกเป็นสองชั้น คือชั้นของน้ำยางข้นและชั้นของหางน้ำยาง ซึ่งวิธีการปั่นแยกนั้นเป็นวิธีที่นิยมกันมากเนื่องจากน้ำยางประเภทนี้สามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปได้เกือบทุกชนิด

ชนิดของน้ำยางข้น

น้ำยางข้นชนิดที่ผลิตในประเทศไทย เป็นน้ำยางข้นจากกรรมวิธีการปั่น (centrifuge – concentrated latex) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนียร้อยละ 0.7 ร่วมกับกรดลอริกร้อยละ 0.035 น้ำยางข้นชนิดนี้มีข้อดีคือ มีอายุการเก็บน้ำยางได้นานเป็นปี ไม่เสียน้ำยาง จึงมักนำไปผลิตถุงมือยาง กาวยาง ถุงยางอนามัย เป็นต้น ยกเว้นยางฟองน้ำ เนื่องจากแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดเจลหรือเกิดฟองในน้ำยางทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำที่ด้อยคุณภาพ

2. น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia, LA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนียร้อยละ 0.2 ร่วมกับ TMTD ร้อยละ 0.013 ร่วมกับ Zinc oxide ร้อยละ 0.013 ร่วมกับกรดลอริกร้อยละ 0.035 ศัพท์วิชาการยางพาราเรียกน้ำยางข้นชนิดนี้ว่า LA – TZ (Low Ammonia – Tetramethyl – thiuram disulphide/Zinc oxide) สำหรับน้ำยางข้นชนิดที่ใช้ปริมาณแอมโมเนียน้อยในการรักษาสภาพน้ำยาง นอกจากการใช้สารช่วยกลุ่ม TMTD, Zinc oxide และกรดลอริกดังกล่าวข้างต้นแล้ว ผู้ผลิตน้ำยางข้นประเภทอื่น ๆ ได้มีการใช้สารช่วยกลุ่มอื่น ๆ เช่น ZDC ร่วมกับกรดลอริก หรือกรดบอริก ร่วมกับกรดลอริก เป็นต้น น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ ส่วนใหญ่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตยางฟองน้ำ แต่ทั้งนี้อายุการเก็บของน้ำยางชนิดนี้จะสั้นกว่าน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง

การควบคุมคุณภาพของน้ำยางข้น

การควบคุมคุณภาพน้ำยางข้น ควรยึดข้อกำหนดสมบัติและการทดสอบน้ำยางข้นตามมาตรฐาน ISO เป็นหลัก เพื่อการใช้และซื้อขายน้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีการต่างๆ ทั้งภายในและต่างประเทศ สำหรับประเทศไทยผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเพียงวิธีเดียว จึงนำข้อมูลข้อกำหนดของสมบัติต่างๆ ของน้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีการปั่น ตามมาตรฐาน ISO และมาตรฐานของประเทศไทยโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) แสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 มาตรฐาน ISO 2004 – 1997 และ มอก. 980 – 2533 สำหรับน้ำยางข้นที่ผลิตโดยการปั่น

Characteristics	ISO 2004 - 1997		มอก. 980 - 2533		Methods of test
	Limits		Limits		
	Type HA	Type LA	Type HA	Type LA	
Total solids content, 1)%(m/m), min.	61, 5	61, 5	61, 5	61, 5	ISO 124
Dry rubber content, 1)(m/m), min.	60, 0	60, 0	60, 0	60, 0	ISO 126
Non-rubber content, 2)%(m/m), max.	2, 0	2, 0	1, 8	1, 8	-
Alkalinity(as NH ₃), %(m/m), calculated with respect to the latex concentrate.	0, 60 min.	0, 29 max.	0, 60 min.	0, 29 max.	ISO 125
Mechanical stability, seconds, min.	650	650	650	650	ISO 35
Coagulum content, %(m/m), max.	0, 50	0, 50	0, 50	0, 50	ISO 706
Copper content, mg/kg of total solids, max.	8	8	8	8	ISO 8053
Manganese content, mg/kg of total solids, max.	8	8	8	8	ISO 7780
Sulldge content, %(m/m), max.	0, 10	0, 10	0, 10	0, 10	ISO 2005
Volatile fatty acid (VFA) number, max.	0, 20	0, 20	ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ ซื้อกับผู้ขาย แต่ต้องไม่เกิน 0.15		ISO 506
KOH number, max	1, 0	1, 0	ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ ซื้อกับผู้ขาย แต่ต้องไม่เกิน 1.0		ISO 127

1) The requirement is for either total solids content or dry rubber content.

2) The difference between the total solids content and dry rubber content.

ที่มา : วรากรณ์ ขจรไชยกุล (2549)

น้ำยางชั้นที่ผลิตจำหน่ายโดยทั่วไป อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำยางชั้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการทรีต (treated) กับสารเคมีหรือวิธีการใดๆ เพื่อให้โมเลกุลยางเปลี่ยนไป ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นน้ำยางชั้นที่ได้ผ่านกระบวนการทรีตด้วยสารเคมี หรือด้วยการฉายรังสีให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลง ประเภทหลังนี้เรียกว่า “น้ำยางคงรูป” หรือ “น้ำยางพรีวัลคาไนซ์” (Prevulcanised or Vulcanized latex) หรือบางครั้งอาจเรียกน้ำยางผสมเสร็จ (Compounded latex)

6.3 น้ำยางคงรูปหรือน้ำยางวัลคาไนซ์

น้ำยางวัลคาไนซ์ (Vulcanised latex) หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanised latex) หรือน้ำยางคงรูป หมายถึงน้ำยางชั้นที่ได้ผ่านกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลเกิดพันธะเคมี (chemical crosslink) อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนกับน้ำยางที่ได้ผสมสารที่จำเป็นแล้ว

น้ำยางผสมสาร (Compounded latex) หรือน้ำยางคัดแปร หมายถึงน้ำยางชั้นที่ได้ผสมสารต่างๆ แล้ว และส่วนใหญ่จะใช้สารตัวเร่งให้น้ำยางคงรูป (accelerator) กลุ่ม Dithiocarbamate โดยปกติจะทำการผสมสารต่างๆกับน้ำยางแล้วบ่มหรือเก็บไว้ (maturation) ก่อนการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำยางผสมสารส่วนใหญ่จะผสมสารในระบบการให้น้ำยางคงรูป (เช่น Sulphur + ZDC + ZnO) ไว้แล้ว ดังนั้น ขณะบ่มหรือเก็บน้ำยางอาจเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน (Vulcanisation) คือ โมเลกุลยางเกิดพันธะเคมีขึ้นได้ ซึ่งการเกิดยางคงรูปจะมาน้อยเพียงใดขึ้นขึ้นอยู่กับสถานะการเก็บน้ำยาง และความว่องไวของสารตัวเร่งที่ใช้ในการให้น้ำยางคงรูป ฉะนั้นอาจพิจารณาว่าการให้น้ำยางคงรูปเป็นกลไกที่เกิดขึ้นขณะทำการบ่มน้ำยางที่ผสมสารต่างๆที่จำเป็นไว้แล้ว

น้ำยางวัลคาไนซ์ มีบทบาทในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางประเภทจุ่มแบบพิมพ์ (dipping) และประเภทหล่อเบ้าพิมพ์ (casting) เพราะน้ำยางวัลคาไนซ์มีข้อได้เปรียบ คือ ขณะที่นำไปใช้อาจมีการเติมสารต่างๆบ้างอีกเพียงเล็กน้อย เช่น สารป้องกันยางเสื่อม หรือสารสีต่างๆ และไม่จำเป็นต้องทำให้น้ำยางคงรูปในภายหลังการขึ้นรูป (Post-vulcanisation)

วิธีการผลิตน้ำยางวัลคาไนซ์มีหลักการที่สำคัญคือ ผสมสารกลุ่มที่จำเป็นในการเกิดปฏิกิริยายางคงรูป ซึ่งได้แก่สารในระบบการเกิดยางคงรูป (Vulcanising system = Sulphur + accelerator + activator) กับน้ำยางที่ผ่านการเติมสารช่วยความเสถียรที่เป็นของเหลว แล้วให้ความร้อนประมาณ 50 – 70 องศาเซลเซียส หรืออาจทำน้ำยางวัลคาไนซ์โดยไม่ใช้กำมะถัน คือเป็นระบบ “Sulphurless” หรืออาจทำน้ำยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 28 – 30 องศาเซลเซียส โดยใช้สารตัวเร่งยางคงรูประบบที่ว่องไวมาก เช่น Sodium Dibutyldithiocarbamates (SBEC) หรือ Zinc Dibutyldithiocarbamates (ZBEC) นอกจากนี้ ยังอาจทำน้ำยางวัลคาไนซ์ได้โดยให้ความร้อนกับน้ำยางที่ได้ผสมสารอินทรีย์ Peroxide และ Hydroperoxide เช่น Cumene Hydroperoxide (วารกรณ์ ขจรไชยกูล, 2549)

วิธีการผลิตน้ำยางคงรูป (Vulcanization or Curing)

การทำให้ยางคงรูปหรือทำให้ยางสุกคือการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่าง สายโมเลกุล หรือที่เรียกกันว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ส่งผลให้ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากอ่อนขี้แง (มีความเป็นพลาสติกสูง) ไปเป็นยางที่มีความยืดหยุ่นดีและแข็งแรง มีสมบัติเชิงกลที่เสถียรและไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากนัก และทำให้ยางทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนและแสงแดดได้ดียิ่งขึ้น จึงสามารถนำยางไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันต้องอาศัยสารเคมีกลุ่มที่ทำให้ยางคงรูป (vulcanizing or curing agents) และความร้อนเพื่อให้สารดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาได้

1. ระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน (Sulphur vulcanization system)

เป็นระบบที่นิยมใช้ในการคงรูปยางแทบทุกชนิดที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ เช่น SBR IR และ NBR เป็นต้น ระบบนี้จำเป็นต้องมีสารตัวกระตุ้น (activator) เช่น ชิงค์ออกไซด์ และกรดสเตียริก สำหรับสารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาคงรูป สัดส่วนของการใช้กำมะถันและสารตัวเร่งมีความสำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดชนิดของพันธะเคมีที่เกิด ขึ้น เช่น ถ้าใช้ปริมาณกำมะถันมากและใช้สารตัวเร่งน้อย เรียกว่าระบบธรรมดาหรือ Conventional Vulcanization (CV system) ซึ่งจะมีพันธะเคมีแบบ polysulphide crosslinks และแบบ cyclic แต่ถ้าใช้ปริมาณกำมะถันน้อยและใช้สารตัวเร่งมากจะได้พันธะเคมีส่วนใหญ่เป็น แบบ monosulphide crosslinks เรียกกระบวนนี้ว่าระบบประสิทธิภาพ หรือ Efficient Vulcanization (EV system) นอกจากนี้ 2 ระบบดังกล่าวยังมีอีกระบบหนึ่งเรียกว่า ระบบกึ่งประสิทธิภาพ (Semi-EV system) ซึ่งจะอยู่กึ่งกลางระหว่าง 2 ระบบข้างต้นการทำให้ยางคงรูปด้วยกำมะถันจะทำให้ยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ ระบบนี้ประกอบด้วย

- กำมะถัน ซึ่งเป็นสารคงรูป

- สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) เช่น TMTD (tetramethyl thiuram disulphide) MBT (2-mercaptobenzothiazole) และ CBS (n-cyclohexylbenzothiazole-2-sulphenamide) เป็นต้น

- สารตัวกระตุ้น (activator) ได้แก่ สารอนินทรีย์พวกซิงค์ออกไซด์ (ZnO) สารอินทรีย์พวกกรด สเตียริก (stearic acid) และสารที่เป็นด่าง (นิยมใช้ในสูตรที่มีสารที่เป็นกรดหรือซิลิกาอยู่ด้วย) ได้แก่ สาร DEG (diethylene glycol)

2. ระบบการคงรูปด้วยสารประกอบที่สลายตัวให้กำมะถัน (Sulphur donor vulcanization system)

นอกจากการใช้กำมะถันเป็นสารคงรูปแล้ว บางกรณีอาจใช้สารเคมีในกลุ่มของสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (ที่สามารถแตกตัวให้กำมะถัน ณ อุณหภูมิของการคงรูป) แทน

การใช้ผงกำมะถันทั่วไปได้ เรียกสารเคมีเหล่านี้ว่าสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถให้กำมะถันได้ (Sulfur donor accelerator) ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ได้แก่ TMTD (tetramethyl thiuram disulphide) และอนุพันธ์ของ morpholine เช่น DTDM (dithio dimorpholine) การใช้สารประกอบพวกนี้เป็นสารคงรูปมีข้อดีคือลดปัญหาการเกิดการบลูม (bloom) และเนื่องจากปฏิกิริยาจะไม่เกิดจนกว่ากำมะถันจะสลายตัวออกมา ดังนั้นจึงลดปัญหาการเกิดยาง scorch สารพวกนี้ยังก่อให้เกิดพันธะเคมีแบบ monosulphide เป็นส่วนใหญ่ทำให้ยางทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้ดีมาก

3. ระบบการคงรูปด้วยสารที่ไม่มีกำมะถัน (Sulphurless vulcanization system)

- **เปอร์ออกไซด์ (Peroxide)** สามารถใช้ในการทำให้ยางเกือบทุกชนิดคงรูปโดยเฉพาะยางสังเคราะห์ที่ไม่มีหรือมีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำ ยางที่คงรูปด้วยระบบนี้จะมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก ต้นทุนสูงกว่าระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน และยางคงรูปที่ได้มักมีกลิ่นของ acetophenone ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by-product) จากการทำปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน แต่ว่ายางจะมีความทนทานต่อความร้อนสูง

- **ซีลีเนียม (Selenium) และ เทลลูเรียม (Tellurium)** สามารถนำมาใช้เป็นสารทำให้ยางคงรูปแทนกำมะถันได้ โดยจะนิยมใช้เฉพาะในกรณีที่ต้องการให้ยางคงรูปมีความทนทานต่อความร้อนสูงเท่านั้น ไม่นิยมนำสารทั้งสองชนิดนี้มาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากมีราคาแพงมากและมีความเป็นพิษสูง

- **โลหะออกไซด์** สำหรับยางคลอโรพรีน (CR) นั้น แม้ว่าจะเป็นยางที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลก็ตาม แต่ยางคลอโรพรีนไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถัน โลหะออกไซด์ที่นิยมใช้กันมากสำหรับยางคลอโรพรีน ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) และออกไซด์ของตะกั่ว (Pb_3O_4) เป็นต้น

- **สารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ (difunctional group compound)** เช่น ใช้ epoxy resin ในยางไนไตรล์ ใช้ quinone dioximes ในยางบิวไทล์และใช้ diamines ในยาง fluoroelastomer เป็นต้น

นอกจากการใช้สารเคมีดังกล่าวแล้ว การฉายรังสีที่มีพลังงานสูง เช่น รังสีแกมมา ก็สามารถทำให้ยางคงรูปได้เช่นกัน โดยเมื่อถูกรังสีโมเลกุลของยางจะแตกตัวให้เรดิคัล (radicals) และจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบคาร์บอน-คาร์บอนทำให้ยางที่ได้มีความเสถียรต่อความร้อน และมีความบริสุทธิ์สูง เพราะไม่มีสารเคมีอื่นใดเจือปน จึงเหมาะสำหรับการผลิตอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนยางที่ใช้ทางการแพทย์

วิธีการทำให้ยางคงรูป

การทำให้ยางคงรูปมีหลายวิธี ซึ่งการเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่าง และลักษณะของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น

1. การทำให้ยางคงรูปด้วยเครื่องอัด (vulcanization by hydraulic press) ใช้กับการทำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด หรือแบบกึ่งฉีด

2. การทำให้ยางคงรูปแบบเปิด (open cure) ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดที่ไม่ต้องการความแน่นของรูปร่างตามรูปร่างของแม่พิมพ์ การใช้คำว่า “เปิด” นี้ให้เห็นว่า ความร้อนที่ทำให้ยางคงรูปนั้น หมุนเวียนอย่างอิสระภายในตู้อบ (สำหรับ hot air curing) หรือหม้อน้ำความดัน (open steam curing) วิธีการที่จะยึดให้ยางที่ยังไม่คงรูปมีรูปร่างตามต้องการนั้นขึ้นอยู่กับ ลักษณะและชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้แกนอลูมิเนียมสอดยึดรูปร่างของท่อที่จะนำไปตัดเป็นยางวงรัดของ เป็นต้น

3. การทำให้ยางคงรูปโดยระบบต่อเนื่อง (continuous vulcanization) ซึ่งอาศัยความร้อนจากแหล่งต่างๆ เช่น จากไอน้ำที่มีความดันสูง (high pressure steam) ความร้อนจากอ่างเกลือหลอม (molten salt bath) ความร้อนจากลูกแก้วกลมขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศร้อน (fluidized bed) รวมถึงการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ เป็นต้น วิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวต่อเนื่องกันมากๆ เช่น ท่อยาง สายเคเบิล เป็นต้น

7. สารประกอบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง วัตถุดิบหลัก คือ น้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางสังเคราะห์ หรือน้ำยางที่ได้ ผ่านการทำให้คงรูปหรือวัลคาไนซ์แล้ว และวัตถุดิบประเภทสารประกอบต่างๆ ที่จำเป็น ซึ่งอาจจัดกลุ่มส่วนผสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์บางชนิดจากน้ำยางธรรมชาติ ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ส่วนผสมสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดจากน้ำยางธรรมชาติ

1. น้ำยาง (latex)	ก) น้ำยางธรรมชาติ ข) น้ำยางสังเคราะห์ ค) น้ำยางคงรูปหรือน้ำยางวัลคาไนซ์
2. สารเพิ่มความเสถียร (stabilizer)	ก) โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ข) สบู่ของกรดไขมัน
3. สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent)	ก) ซัลเฟอร์ หรือกำมะถัน ข) สารอื่นๆ (ขึ้นอยู่กับชนิดของยางที่ใช้)
4. สารตัวเร่งให้ยางคงรูป (accelerator)	ก) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาช้า ข) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเร็ว
5. สารตัวกระตุ้น (activator)	ก) อินทรีซาร์ ข) อินทรีซาร์
6. สารตัวเติม (filler)	ก) เชม่า - ช่วยเพิ่มความแข็งแรง - ไม่เพิ่มความแข็งแรง

	ข) ไม่เป็นสีดำ - ช่วยเพิ่มความแข็งแรง - ไม่เพิ่มความแข็งแรง ค) extender - เพื่อลดต้นทุน
7. สารช่วยในกรรมวิธีผลิต (processing aids)	ก) ช่วยฉีกขาดโมเลกุล ข) ช่วยหล่อลื่นในโมเลกุลยาง ค) ช่วยให้การเหนียวติดกันเองดีขึ้น ง) ช่วยให้เกิดฟอง
8. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective agent)	ก) เปลี่ยนสี (staining) ข) ไม่เปลี่ยนสี (non- staining)
9. สารอื่นๆ (miscellaneous ingredients)	ก) ช่วยให้อย่างแข็ง ข) ไม่ติดเปลวไฟ ค) สีต่างๆ ง) ช่วยการเชื่อมติด จ) ช่วยระงับกลิ่น ฉ) ช่วยชะลอไม่ให้ยางคงรูประหว่างบดผสม ช) ทำให้เกิดเจล ญ) ป้องกันแบคทีเรีย

ที่มา : ดัดแปลงจาก วราภรณ์ ขจรไชยกุล (2549)

1. น้ำยาง (Latex) โดยทั่วไปมักใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้นร้อยละ 60 ของเนื้อยางแห้ง (dry rubber content) สามารถเลือกใช้ได้น้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางสังเคราะห์ หรืออาจใช้น้ำยางคงรูป หรือน้ำยางวัลคาไนซ์ ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต สำหรับการกล่าวถึง “น้ำยาง” ของงานวิจัยนี้ จะหมายถึง น้ำยางชั้นที่ผลิตมาจากน้ำยางสดจากต้นยางพารา

2. สารเพิ่มความเสถียร หรือสารช่วยการคงตัว (Stabilizers) เป็นสารเคมีที่ปกติจะผสมลงไป ในน้ำยางเป็นอันดับแรก เพื่อรักษาสภาพความเป็นด่างของน้ำยางไม่ให้เสียสภาพไป สารนี้จึงมีฤทธิ์เป็นด่าง มีหน้าที่เพิ่มความเสถียรของน้ำยางทำให้สามารถเติมสารอื่นได้ โดยที่น้ำยางไม่เสียสภาพจับตัวเป็นเม็ดหรือเป็นก้อน ตัวอย่างสารที่นิยมใช้คือ potassium hydroxide (KOH) หรือที่นิยมใช้อีกชนิดหนึ่ง คือสบู่ของกรดไขมัน เช่น potassium laurate, potassium oleate, ammonium laurate, ammonium caseinate เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ potassium hydroxide และ potassium laurate เป็นสารเพิ่มความเสถียร

3. สารทำให้อย่างคงรูป หรือสารวัลคาไนซ์ (Vulcanising agents) เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง (crosslink) ตรงตำแหน่งที่วงไวต่อปฏิกิริยา สารทำให้อย่างคงรูปที่นิยมใช้ คือกำมะถัน (Sulpher) สามารถใช้ได้กับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ในกรณีที่ใช้น้ำยาง

จะต้องเป็นกำมะถันชนิดคุณภาพดี นอกจากนี้ยังมีสารที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน เช่น TMTD (tetramethyl thiuram disulfide) และสารอื่นที่ไม่ใช่กำมะถัน เช่น สารพวก peroxide เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ใช้กำมะถัน โดยเตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอย (sulfur dispersion) ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

4. สารตัวเร่งให้ยางคงรูป (Accelerators) โดยปกติการใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียวจะเกิดการวัลคาไนซ์ช้ามาก และต้องใช้กำมะถันในปริมาณที่มาก การใช้สารเร่งปฏิกิริยาของยางคงรูปจะช่วยลดเวลา และลดอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ และยังปรับปรุงสมบัติให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย สารเร่งปฏิกิริยามีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่มที่นิยมและใช้กันมาก คือ กลุ่ม dithiocarbamates, guanidine, thiazole, sulphenamide, thiuram เป็นต้น โดยสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้เกิดช้า ปานกลาง หรือเร็ว ได้ตามต้องการ สำหรับ ZDEC dispersion ที่ใช้ในงานวิจัยนี้นั้น เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความเสื่อมของยางที่ไม่ได้อบให้คงรูป และช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการ oxides อันเนื่องจากสารโลหะ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการขึ้นราอีกด้วย

5. สารตัวกระตุ้น หรือ สารเสริมตัวเร่ง (Activators) เป็นสารที่ช่วยเร่งอัตราการคงรูปยางให้เร็วขึ้นโดยการทำให้สารเร่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อจะได้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น เร่งอัตราการคงรูปยางให้เร็วขึ้น และปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น โดยทำให้ยางมีค่ามอดูลัสสูงขึ้น ได้แก่ กรดสเตียริก (stearic acid) และ zinc oxide โดยงานวิจัยนี้ใช้ zinc oxide ที่เตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอย (zinc oxide dispersion) ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

6. สารตัวเติม (Fillers) เป็นสารอื่นๆที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปในยาง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต หรือเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น โดยเพิ่มความแข็งของผลิตภัณฑ์แต่ไม่เพิ่มสมบัติด้านความทนแรงดึงหรือทนต่อการฉีกขาดส่วนมากเป็นสารพวกอนินทรีย์ ที่นิยมใช้คือ พวกรวมดำ (carbon black), calcium carbonate, เคลย์ (clay) และ silica เป็นต้น

7. สารช่วยในการแปรรูปยาง หรือสารพลาสติกไซเซอร์ (Plasticiser) เป็นสารตัวเติมที่ใส่ลงไป ในยางเพื่อเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดียิ่งขึ้น ลดความแข็งเปราะ ทำให้ยางนิ่ม เพิ่มสมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้น สารพลาสติกไซเซอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1) สารทำให้ยางนิ่มโดยทางเคมี (Chemical Plasticiser) เป็นสารเคมีที่เมื่อใส่เข้าไปในยางจะทำให้ยางนิ่มและลดเวลาของการบดยางลงการใช้งานมักใช้กับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ สารเคมีประเภทนี้ใช้เติมลงไปในยางเมื่อเริ่มต้นการผสมหรือบดในเครื่องบด 2 ลูกกลิ้งและปล่อยให้สารทำปฏิกิริยากับยางเป็นระยะเวลาสั้นๆก่อนที่จะใส่สารอื่นลงไป ได้แก่ sulphonic acid, xylyl mercaptan เป็นต้น

2) สารช่วยทำให้ยางนิ่มโดยทางกายภาพ (Physical Plasticiser) เป็นสารเคมีที่ใส่เข้าไปแล้วจะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลยาง ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่าย ยางจะนิ่มลง แปรรูปได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างสารที่สำคัญได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันเอสเทอร์

8. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective agent) ได้แก่ สารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) หรือ สารต้านทานปฏิกิริยาโอโซน (antiozonant) เป็นสารเคมีที่ป้องกันออกซิเจนในอากาศที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสภาพ จึงช่วยยืดอายุการใช้งานทำให้ยางมีอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยาวนานขึ้น แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- 1) กลุ่มอนุพันธ์เอมีน (ชนิดเปลี่ยนสี) มักเปลี่ยนแปลงสี เมื่ออายุการใช้งานนาน ๆ
- 2) กลุ่มอนุพันธ์ฟีนอล (ชนิดไม่เปลี่ยนสี)
- 3) กลุ่มอิมิดาซิด

ตัวอย่างของสารในกลุ่มป้องกันยางเสื่อมสภาพ ได้แก่ IPPD (N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylene diamine) TMQ (2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinoline, polymerized) และ BHT (2,6-Di-tert-Butyl (-p-cresol)) เป็นต้น อาจรู้จักในชื่อทางการค้าได้แก่ 6 PPD, Flectol H, Antioxidant 2246, Vulkanox MB, Wingstay L เป็นต้น

9. สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids) คือองค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การผสม (mixing) หรือการขึ้นรูป (shape forming) เป็นไปได้อย่างยิ่งขึ้น สารบางตัวในกลุ่มนี้ช่วยลดความหนืดของยางคอมพาวด์ ทำให้ยางไหลได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงลดระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการผลิต สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่เฉพาะตัวต่างๆ กัน เช่น สารที่ช่วยให้ยางนิ่มในระหว่างการบดผสม ได้แก่ พวกละออง (oils) และสารเคมีย่อยยาง (peptiser) เช่น peptone22 สารบางตัวช่วยควบคุมไม่ให้ยางมีความหยุ่นตัว (nerve) สูงมากเกินไปเพราะจะทำให้สารเคมีที่เป็นผงเข้าเนื้อยางได้ยากในระหว่างการบด ผสม เพราะยางจะพันลูกกลิ้งยาก สารพวกนี้ ได้แก่ factice เป็นต้น สารช่วยในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่นิยมใช้ ได้แก่

1) Peptiser สารที่ทำให้ยางนิ่ม จัดเป็นสารช่วยในกระบวนการผลิต ทำหน้าที่ฉีกขาดโมเลกุลยางโดยทางเคมี (chemical scission) ตัวอย่างสารพวกนี้ เช่น peptone22 (Di-ben-zamidophenyl) disulphide เป็นต้น

2) Tackifying agents สารช่วยให้เกิดความเหนียวติดกันดีขึ้น ได้แก่ พวกละออง wood resins, coumarone resins, pine tar เป็นต้น เป็นสารเคมีที่เติมลงในยางทำให้ยางมีความเหนียว (tack) เพิ่มขึ้น ทำให้ยางสามารถติดกับยางด้วยกัน หรือติดกับวัสดุอื่นได้ดียิ่งขึ้น เพื่อประโยชน์ในการนำบางส่วนต่างๆ มาประกอบกันได้ง่ายขึ้น

3) สารหล่อลื่น (Lubricants) เป็นสารที่ใส่เข้าไปในยางในปริมาณเล็กน้อยประมาณร้อยละ 3-5 ของน้ำหนักยาง ช่วยในการหล่อลื่นอนุภาคของยางให้เคลื่อนไหลผ่านไปมาได้ง่าย สารประเภทนี้จะไม่เข้าไปกับยางดีเกินไป แต่จะอยู่ระหว่างผิวอนุภาคของยาง (ไม่ละลายเข้าไปปนอยู่ในโมเลกุลแล้วทำให้ยางพองออกเหมือนกับ plasticizer หรือ softener) เป็นสารที่ช่วยลดความฝืดในเครื่องจักรทำให้ทำการผสมง่ายขึ้น ตลอดจนทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ติดแม่พิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. สารหล่อลื่นภายนอก (External Lubricants) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อลด

ความฝืดระหว่างผิวของยางกับผิวของวัตถุที่เป็นแม่พิมพ์ เรียกอีกอย่างว่าสารลอกแบบจากแม่พิมพ์ (mold releasing agent) ใช้สำหรับการดึงลอกผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ให้ง่ายขึ้น ส่วนใหญ่เป็นสารหล่อลื่นเช่น ไข หรือซิลิโคน ที่ใช้ทาบนแม่พิมพ์

2. สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricants) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อช่วยลดความฝืดภายในเนื้อยาง กล่าวคือ เป็นตัวช่วยลดความฝืดระหว่างโมเลกุลของยาง และเมื่อผ่านกระบวนการขึ้นรูป สารเหล่านี้จะแพร่ไปที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ลอกออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ตัวอย่างสารหล่อลื่นที่นิยมใช้ เช่น Zinc stearate, Magnesium stearate เป็นต้น

สารหล่อลื่นที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ Magnesium stearate ซึ่งมีสมบัติเป็นสารประกอบ hydrophobic ช่วยหล่อลื่นภายในอนุภาคยาง ทำให้ทำการผสมง่ายขึ้น และช่วยไม่ให้ผลิตภัณฑ์ติดแม่พิมพ์

4) Blowing agents สารที่ทำให้เกิดฟอง คือ สารที่มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง แต่จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงและปล่อยก๊าซออกมา โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี และ/หรือปฏิกิริยาทางความร้อน ทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนขึ้นในผลิตภัณฑ์ เช่น การผลิตยางฟองน้ำ (Sponge) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้แก่ sodium bicarbonate หรือ dinitrosopentamethylene tetramine เป็นต้น สารแต่ละชนิดจะให้ก๊าซต่างกันซึ่งมีผลต่อขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นในยาง เช่น sodium bicarbonate ให้ก๊าซ carbon dioxide และสารอินทรีย์บางชนิดจะให้ก๊าซ nitrogen ส่วน ammonia carbonate ชนิดเม็ด (pellets) ให้ก๊าซ ammonia

10. สารพิเศษอื่นๆ (Miscellaneous ingredient) ไม่ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องใช้สำหรับยางทั่วไปแต่บางครั้งจะใส่ลงไปในยางเมื่อมีความต้องการให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติพิเศษบางประการ สารในกลุ่มนี้ได้แก่

1) Stiffeners สารช่วยให้ยางมีความแข็ง อาจใช้เพียงเล็กน้อยเพื่อช่วยปรับความแข็ง โดยเฉพาะกับยางที่มี plasticity ต่ำ ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ได้แก่ dihydrazine sulphate ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงมาก จึงใช้ในปริมาณเพียงร้อยละ 1/8 – 1/4 ของปริมาณยาง

3) Flame retardants สารลดการติดไฟ เช่น พวก phosphates, antimony salts, halogenated organics, borates (antimony trioxide and chlorinated wax – มักใช้กับยางธรรมชาติ) อย่างไรก็ตามควรระมัดระวังในการใช้สารนี้ เพราะเป็นสารพิษ

3) Colours and Pigments สารที่ทำให้เกิดสีอาจเป็นสียอนินทรีย์ เช่น cadmium sulphide ให้สีแดงเข้ม-ส้มและเหลือง chromium oxide (ให้สีเขียวขุ่น) และ titanium dioxide (ให้ยางมีสีขาว มีความสว่าง หรือช่วยให้ยางสีต่างๆ มีสีที่สดขึ้น) ส่วนสีที่เป็นสียอนินทรีย์ จะให้สีสด ทนต่อความร้อนได้ดีกว่าสียอนินทรีย์

4) Bonding agents สารพวกเป็นตัวเชื่อม การใช้สารนี้จำกัดเฉพาะงานบางอย่าง เช่น

การใช้ manganese หรือ cobalt resinoleats เพื่อช่วยปรับปรุงการเชื่อมของยางกับแผ่นทองเหลือง หรือ สังกะสี และใช้ resorcinol-formaldehyde/latex เพื่อช่วยปรับปรุงการเชื่อมของยางติดกับเนื้อของ rayon, polyester เป็นต้น

5) สารหน่วง (retarder) จะใช้เมื่อต้องการชะลอไม่ให้ยางที่กำลังบดผสมคงรูปเสียก่อน (scorch) หรือที่เรียกว่า ยางตาย ตัวอย่างของสารหน่วงได้แก่ benzoic acid หรือ salicylic acid เป็นต้น

6) สารที่ทำให้เกิดเจล เป็นสารพวกอนินทรีย์เติมลงไปในน้ำยางเพื่อให้เกิดเจล ซึ่งมีลักษณะกึ่งของแข็งกึ่งของเหลว ส่วนมากใช้ในผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ ที่นิยมใช้คือ SSF (Sodiumsilicofluoride)

7) สารป้องกันแบคทีเรีย เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อช่วยป้องกันเชื้อราสำหรับผลิตภัณฑ์ ยาง เช่น สารพวก Chlorinated phenol เป็นต้น

8) สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้ว จะช่วยลดแรงตึงผิวของ น้ำ สารลดแรงตึงผิวอาจเป็นสารเคมีประเภท anionic, cationic หรือ nonionic ประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้ สารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติช่วยให้เกิดฟอง และยังช่วยให้พื้นผิว สกปรกเปียกน้ำ ตลอดจนสามารถดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวและกระจายอยู่ในน้ำ สำหรับงานวิจัยนี้ สารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือ nonionic surfactants สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เมื่อละลายน้ำ จะไม่มีประจุ ปัจจุบันมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ชำระล้างต่างๆ โดยเฉพาะที่ใช้ทำความสะอาด พื้นผิว เนื่องจากให้ฟองน้อย และมีสมบัติในการรวมตัวเป็นไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำ จึงป้องกันสิ่ง สกปรกกลับมาเกาะพื้นได้ดี สามารถทำงานได้ดีในทุกสภาพน้ำ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารที่ทำให้ น้ำอ่อน ดังเช่นสารลดความตึงผิวประเภท anionic surfactants ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวประเภท nonionic ได้แก่ Alkylphenol polyethylene glycol ether (APEO), Alkyl alcohol polyethyleneglycol ether เป็นต้น Nonidet P40 หรือก็คือ poly(ethylene glycol) เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีขั้ว (nonionic surfactant) ใช้เพื่อทำให้น้ำยางคงตัว (stabilize) และทำให้อนุภาคยางกระจายตัวในเจลแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำยางมีทั้งส่วนที่มีประจุบวก และส่วนที่มีประจุลบ

8. ไม้ยางพารา

ไม้ยางพารามีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae ซึ่งมีถิ่น กำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกา ในประเทศไทยปลูกมากทางภาคใต้ ภาคตะวันออก และในปัจจุบันขยายพื้นที่ ปลูกสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นประเภทเนื้ออ่อน เมื่อโตเต็มที่มีความสูงประมาณ 25 - 30 เมตร เปลือกนอกมีสีค่อนข้างคล้ำ ได้เปลือกมีสีชมพูไปจนถึงสีแดงหรือสีม่วงอ่อน เปลือกหนา ประมาณ 6.5 – 15.0 มิลลิเมตร ต้นอ่อนมีเปลือกบางกว่าต้นแก่ ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้เมื่อผ่าลำ ต้นตามขวางจะเห็นเป็นชั้นๆอย่างชัดเจน ชั้นในสุดเป็นเนื้อไม้ค่อนข้างแข็งเรียกว่าแกน (Central axis) ถัดออกมาเป็นเนื้อไม้ (Wood หรือ Xylem) ชั้นเยื่อเจริญ (Cambium) เปลือกอ่อน (Soft bark) และ

เปลือกแข็ง (Hard bark) เยื่อเปลือก (Cork cambium) และเปลือกแห้ง (Cork) ตามลำดับ ระหว่างเปลือกอ่อนและเปลือกแข็งมีท่อลำเลียง (Latex vessels) เป็นจำนวนมาก (กรมป่าไม้, 2547)

ในทางการค้าแบ่งไม้ออกเป็น 2 ชนิด คือ ไม้เนื้ออ่อน (Softwoods) และไม้เนื้อแข็ง (Hardwoods) โดยอาศัยวิชาการทางพฤกษศาสตร์เป็นรากฐานในการแบ่ง ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 6

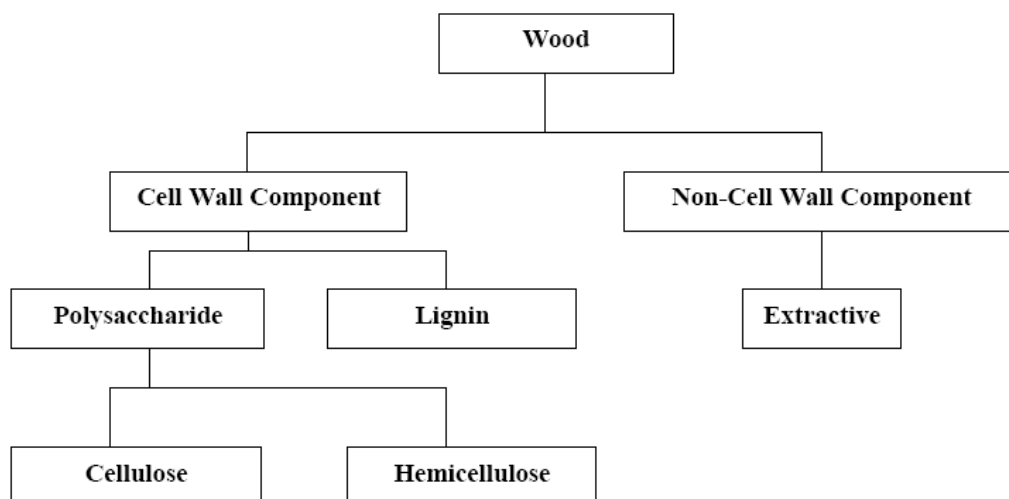
ตารางที่ 6 ส่วนประกอบต่างๆของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง

รายละเอียด	ชนิดของไม้ (% ของน้ำหนัก)	
	ไม้เนื้ออ่อน	ไม้เนื้อแข็ง
ส่วนประกอบทางเคมี (ไม้แห้ง)		
เซลลูโลส	43 - 61	43 - 64
เฮมิเซลลูโลส	28 - 32	15 - 35
ลิกนิน	29 - 37	22 - 35
การวิเคราะห์ธาตุ (ไม้แห้ง)		
H	6.1	6.2
C	53.0	51.0
O	38.3	39.0
S	-	-
N	0.1	0.2
ซีลีเนียม	1.7	2.5

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fung และคณะ (2004) อ้างโดย จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรกร และคณะ (2550)

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้

เนื้อไม้ประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ มากมาย ซึ่งจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยที่สำคัญได้ดังแสดงในภาพที่ 7

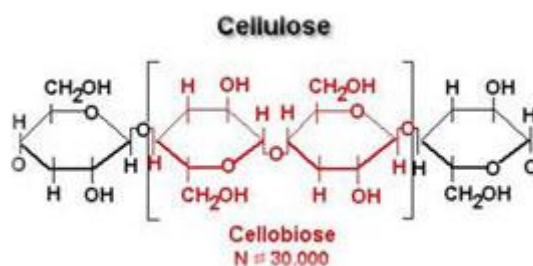


ภาพที่ 7 กลุ่มของสารประกอบต่างๆ ที่มีในเนื้อไม้

ที่มา : ปรีชา เกียรติกระจาย (2528)

1. เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดของเนื้อไม้ คือประมาณร้อยละ 40 ทั้งในไม้ใบแคบหรือไม้ตระกูลสน (softwood) และไม้ใบกว้าง (hardwood) มีโครงสร้างอัดกันแน่นเป็นเส้นตรงไม่มีกิ่ง สูตรโครงสร้างทางเคมี $(C_6H_{10}O_5)_n$ จะซ้ำกัน 2 ลักษณะ เรียกว่า cellobiose unit ซึ่งส่วนปลายของทั้งสองข้างคือ Reducing end group (C1) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยาได้ง่ายที่สุด และ Non-Reducing end group (C4) จะเป็นส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

ที่มา : ปรีชา เกียรติกระจาย (2528)

จำนวนโมเลกุลของหน่วย Glucose (Degree of Polymerization; DP) ของเซลลูโลสเท่ากับ 1000 – 3000 หรือ 4000 โดยแต่ละหน่วยจะยึดเกาะกันด้วยพันธะ “1,4-B-D-anhydroglucosidic bonding” เซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์สะเทิน (neutral organic solvent) เช่น เบนซีน แอลกอฮอล์และอีเธอร์ เป็นต้น แต่จะละลายได้ดีในกรดเกลือและกรดกำมะถันเข้มข้น เมื่อนำเซลลูโลส

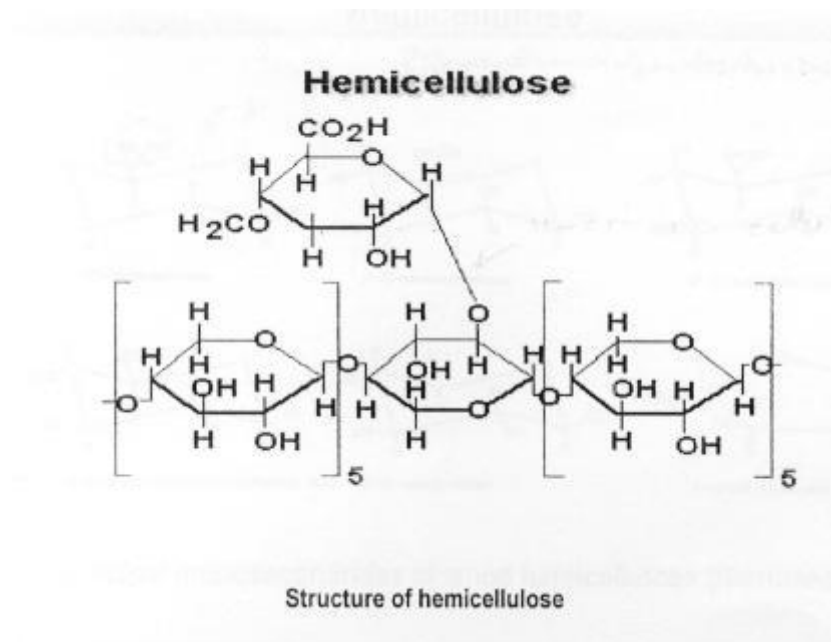
ไปทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะสามารถผลิตเป็น พลาสติก น้ำตาล เจล फिल्म เส้นใย ชนิดใหม่ สารเคลือบ ระเบิด เป็นต้น

2. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

ไม้ในไม้ใบแคบหรือไม้ตระกูลสน (softwood) จะมีเฮมิเซลลูโลสประมาณร้อยละ 25 - 30 ส่วน ในไม้ใบกว้าง (hardwood) จะมีประมาณร้อยละ 30 - 35 เฮมิเซลลูโลสมีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก สี ขาว มีโครงสร้างเป็นกิ่งจับกันอยู่แบบหลวมๆ ซึ่งประกอบด้วย น้ำตาล 5 ชนิด และกรดบางชนิด คือ

- Hexoses (จำนวน C = 6) : glucose, mannose, galactose
- Pentose (จำนวน C = 5) : xylose, arabinose
- Acid : 4-O-methyl-D glucuronic acid

จำนวนโมเลกุลของหน่วย Glucose (Degree of Polymerization; DP) ต่ำกว่า 200



ภาพที่ 9 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : ปรีชา เกียรติกระจาย (2528)

ประโยชน์ของเฮมิเซลลูโลส

1. ในรูป monomer สามารถแยกน้ำตาลโดยวิธี hydrolysis (การสลายโดยใช้น้ำเป็นตัวย่อยสลาย ทำให้โมเลกุลของสารเปลี่ยนแปลงไป คุณสมบัติก็เปลี่ยนแปลงไป) เรียกวิธีนี้ว่า wood saccharification (การทำน้ำตาลจากเนื้อไม้) และอีกวิธีคือ stream explosion แยกโดยใช้ไอน้ำ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีและได้น้ำตาลจำนวนมาก

2. ในรูป polymer มีผลทำให้ผลผลิตเยื่อมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของเยื่อและ

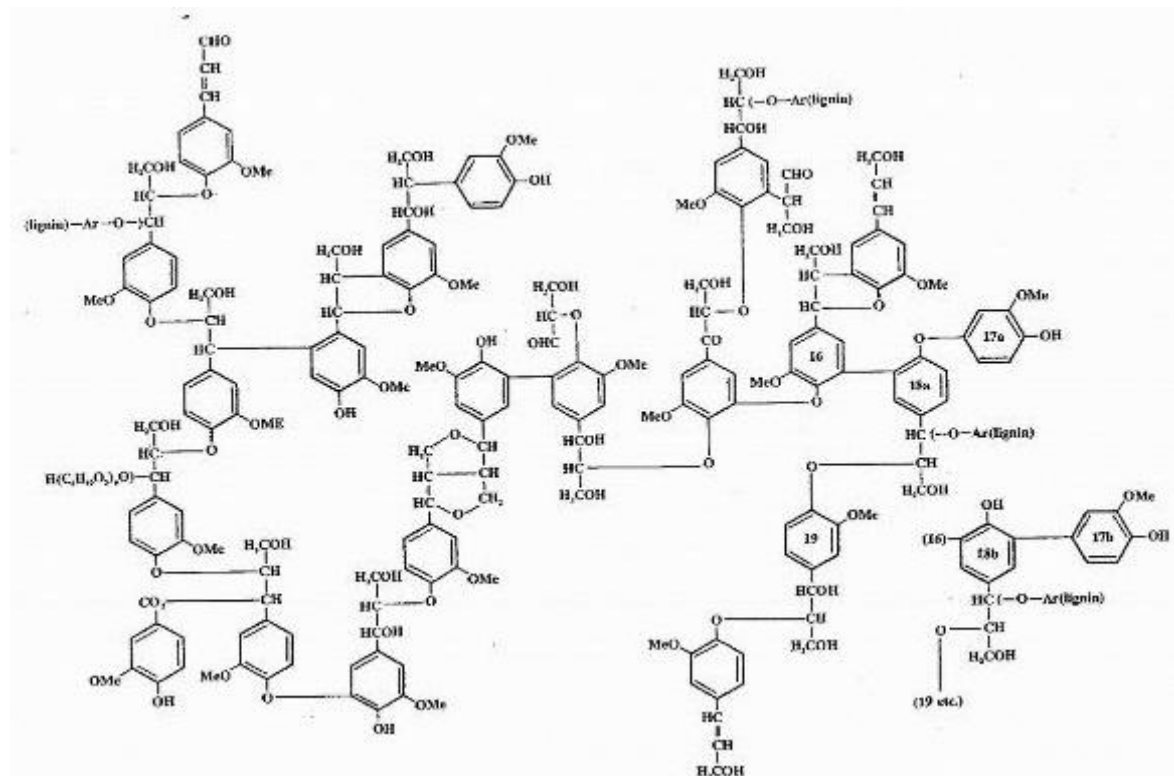
กระดาศเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีโครงสร้างเป็น Amorphous (อยู่รวมกันแบบหลวมๆ) น้ำจึงเข้าไปได้ง่าย และเกิดการพองตัว เยื่ออุ้มน้ำได้ดี มีประโยชน์ในการตีเชื้อ คือ ทำให้ผิวของเส้นใยแตกออก เกิดการประสานตัวด้วย H-bond ทำให้เยื่อมีความแข็งแรงมากขึ้น

3. เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาทางเคมีสังเคราะห์จะได้ food additive (สารแต่งเติมทำให้อาหาร ขึ้น) jelly agent (ใช้ในเครื่องสำอาง เป็นตัว absorbent) adhesive (ตัวเชื่อมประสาน) เป็นต้น

3. ลิกนิน (lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบที่มีมาก รองจากเซลลูโลส ในไม้ใบแคบหรือไม้ตระกูลสน (softwood) จะมีลิกนินประมาณร้อยละ 25 - 30 ส่วนในไม้ใบกว้าง (hardwood) มีลิกนินประมาณร้อยละ 20 - 25 โครงสร้างของลิกนินเป็นสารพอลิเมอร์ที่ซับซ้อนกว่าเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ชนิดหนึ่งพบในไม้ใบกว้าง (hardwood) ไม้ใบแคบ (softwood) พืชล้มลุก (grasses) และพืชชั้นต่ำทั่วไป แต่ไม่พบใน lichens, mosses, fungi, mushrooms

ลิกนินโมเลกุลใหญ่คำนวณหน่วย Glucose (Degree of Polymerization; DP) เยอะ ลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ 3 มิติ ลิกนินทำหน้าที่เป็น cell wall adhesives ยึดเส้นใยที่อยู่รวมกันให้เป็นโครงสร้างของเนื้อไม้ จึงสามารถพบลิกนินใน ผล, บาสท์ (bast), pith, เปลือก (bark) เช่นกัน



ภาพที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

ที่มา : ปรีชา เกียรติกระจาย (2528)

ประโยชน์ของลิกนิน

1. ลิกนินที่ได้จากการต้มเยื่อกระดาษสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
2. ลิกนินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเมื่อนำมาสังเคราะห์จะได้สารอินทรีย์ เช่น วานิลลิน (vanillin) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide; DMSO)
3. ลิกนินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักใช้ในรูปของแหล่งลิกนินที่ได้มาโดยตรง เช่น ลิกนินซัลโฟเนตหรือคราฟลิกนิน และลิกนินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั้น มักใช้กันมากในอุตสาหกรรม การขูดเจาะน้ำมัน ทำสี ยาฆ่าแมลง ซีเมนต์ ยาง และอาจใช้เป็นตัวเพิ่ม (Extenders) ในกาวยาฟีนอล

4. สารแทรก (extractives)

สารแทรกคือ สารที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างของผนังเซลล์ อาจเป็นกรดหรือเป็นกลาง ก็ได้ สารแทรกมีตั้งแต่ สารไอโซพรีน เทอร์พีน เฮตเตอโรไซคลิก กรดเรซิน สารโพลีฟีนอลต่างๆและอัลคาลอยด์ เป็นต้น และเป็นสารประกอบที่แสดงคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด โดยสารประกอบเหล่านี้จะทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และความแข็งที่แตกต่างกันออกไป สารพวกนี้มีประมาณร้อยละ 5 - 30 โดยมวล ซึ่งรวมไปถึง สารส่วนน้อย (minor constituent) ที่เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่นอันได้แก่ สารประกอบแคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสเฟส และซิลิกา เป็นต้น สารพวกนี้มีประมาณร้อยละ 0.1 - 3 โดยมวล

การใช้ประโยชน์ของสารแทรกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น เช่น สารแทรกพวกเทอร์พีนอาจใช้เป็นตัวทำละลาย ทำน้ำหอม ยา สบู่ กาว และใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ พวกโพลีฟีนอลใช้ในการฟอกหนัง สังกะสีกาว ส่วนพวกอัลคาลอยด์ส่วนใหญ่มีประโยชน์ทางเภสัชกรรม เป็นต้น

8.1 ขี้เลื่อยหรือผงไม้

โดยทั่วไปแล้วขี้เลื่อย (sawdust) หรือผงไม้ (wood flour) ซึ่งได้จากการแปรรูปไม้จะมีอยู่ราวร้อยละ 10 ถึง 16 ของเนื้อไม้ท่อนที่เข้าแปรรูป กรมป่าไม้แห่งสหรัฐอเมริกาประมาณไว้ว่าในปี ค.ศ. 1944 บรรดาโรงเลื่อยต่าง ๆ ของสหรัฐได้ผลิตขี้เลื่อย เศษผงจากไม้และชิ้นไม้เล็ก ๆ ออกมาถึง 37 ล้านลูกบาศก์เมตร นอกจากนั้นโรงงานเล็ก ๆ เช่น โรงงานเฟอร์นิเจอร์ โรงงานผลิตภัณฑ์จากไม้ ยังผลิตขี้เลื่อยออกมาอีกถึง 14 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อรวมกันแล้วก็คิดเป็นจำนวนถึงร้อยละ 24 ของเนื้อไม้ทั้งหมดที่สหรัฐอเมริกาคัดโค่นลงในปีนั้น ในจำนวนขี้เลื่อยที่สหรัฐผลิตออกมาแต่ละปีนั้น ไม่ได้ใช้ประโยชน์อะไรเลยร้อยละ 40 คงใช้ประโยชน์ได้เพียงร้อยละ 60 ส่วนมากจะใช้เป็นเชื้อเพลิง ในสหรัฐอเมริกาแยกประเภทของขี้เลื่อยออกตามชนิดของไม้ เช่น ขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน ขี้เลื่อยไม้เนื้อแข็ง ขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อนผสมไม้เนื้อแข็ง นอกจากแยกเป็นประเภทดังกล่าวแล้วยังแบ่งเป็นชนิดเปียกและชนิดแห้งอีก ขี้เลื่อยเปียกคือ ขี้เลื่อยซึ่งได้จากโรงงานที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง ส่วนมากใช้ทำเป็นเชื้อเพลิง

เกือบทั้งหมดสำหรับจี้เลื่อยซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรมนั้นเป็นจี้เลื่อยชนิดแห้งซึ่งผ่านการตากหรืออบแล้ว (องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้, 2552)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก โดยมีการปลูกยางพาราในพื้นที่ประมาณ 13 ล้านไร่ ให้ผลผลิตเป็นยางพาราส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยเมื่อครบอายุการกรีดยางพารา จะทำการโค่นไม้ยางพาราเพื่อเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ส่งโรงงานอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ต่อไป ซึ่งในกระบวนการแปรรูปไม้ยางพาราจะมีวัสดุเหลือทิ้งซึ่งประกอบด้วย กิ่ง ก้าน ใบ เปลือกไม้ และจี้เลื่อย ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ตามปกติโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราได้ใช้เศษไม้ และจี้เลื่อย เป็นเชื้อเพลิงเพื่อเผาไหม้ให้ความร้อนในกระบวนการอบไม้ยางพาราแปรรูป โดยมีส่วนหนึ่งที่เหลือจำหน่ายและมีศักยภาพที่จะรวบรวมนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้ (วิชาวกร จารุศิริ และคณะ, 2550)

การใช้ประโยชน์จากจี้เลื่อยสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. **เชื้อเพลิง** โรงงานจะมีท่อนจี้เลื่อยส่งเข้าเตาเผาเพื่อให้เกิดกำลังงานไปหมุนเครื่องยนต์ โรงเลื่อยส่วนใหญ่ใช้จี้เลื่อยและเศษไม้เป็นเชื้อเพลิงแทบทั้งสิ้น ในอเมริกา ตามบ้านเรือนและโรงงานนิยมใช้จี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาสำหรับให้ความอบอุ่นภายในอาคาร ในยุโรปบางประเทศนิยมใช้จี้เลื่อยอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง จี้เลื่อยมีค่าความร้อนของการเผาไหม้สูง และมีความชื้นสูงเช่นกัน จึงมีการนำมาตากแห้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

2. **จี้เลื่อยละเอียดหรือผงไม้ (wood flour)** หรือ ไม้บด จากการแปรรูปจี้เลื่อยโดยโรงงานหลายประเภท เช่น โรงงานป่น (pulverizing mill) โรงงานขัดสี (attrition mill) โรงงานทุบหรือตำ (hammer mill) และโรงงานบด (roller mill) ส่วนใหญ่ได้มาจากไม้เนื้ออ่อนพวกตระกูลสน ผงไม้หรือไม้บด มีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้ง ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 40 – 80 Mesh ไม้บดนั้นเอาไปทำประโยชน์หลายอย่าง เช่น ทำเครื่องขัดมันและทำความสะอาดขนสัตว์ ปูทับพื้นโรงงานทำพรมน้ำมัน ทำวัตถุระเบิด ทำพลาสติก ทำอิฐเทียม หล่อทำไม้เทียมและหล่อเป็นรูปต่าง ๆ ฯลฯ

3. **จี้เลื่อยหยาบ** ส่วนใหญ่นำไปผสมกับกาว (Phenol formaldehyde resin) ร้อยละ 8 ถึง 10 ในการนำไปทำชิ้นไม้อัด (particle board) จะผสมจี้เลื่อยได้ไม่เกินร้อยละ 50 เพราะจี้เลื่อยจะเป็นชิ้นไม้ขนาดเล็กและสั้น ไม่สามารถจะยึดเหนี่ยวให้ติดกันได้ง่ายเหมือนไม้ที่สับหรือฟานออกมาเป็นชิ้น ๆ นอกจากนั้นจี้เลื่อยหยาบยังใช้ในการทำเส้นใยไม้อัด (fiber board) ได้ด้วย สำหรับทำฝ้าเพดานทำห้องเก็บเสียง ทำไส้ของไม้อัด และอื่นๆ กรรมวิธีของการทำเส้นใยไม้อัดที่ใช้จี้เลื่อยหยาบนั้นมี หลากหลายวิธีทั้งกระบวนการแห้งหรือกึ่งแห้ง (dry and semi-dry processes) และกระบวนการเปียก (wet process)

เนื่องจากจี้เลื่อยมีคุณสมบัติดูดซึมน้ำได้ดี ฉะนั้นจึงมีผู้นำไปใช้ในการโรยพื้นโรงม้าและ โรยพื้นคอกปศุสัตว์ สำหรับจี้เลื่อยแห้ง ก็จะมีผู้นำไปโรยพื้นโรงงาน พื้นตลาด โรงฟอกหนัง โกดังสินค้าและ โรงงานซ่อมเครื่องยนต์ด้วย (องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้, 2552) จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าผงจี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารามีส่วนประกอบของสารที่ทำให้เกิดองค์ประกอบของการเชื่อมประสานอุดแน่นใน

เมตริกซ์ที่เป็นคอนกรีต มีศักยภาพสูงในการนำมาเป็นมวลรวมประสานเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงทดแทนการใช้ผงปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งาน โดยเฉพาะงานคอนกรีตเบาที่ต้องการการลดน้ำหนักจากตัวโครงสร้างเองและลดต้นทุนในการใช้วัสดุผสมแต่ยังคงความแข็งแรงของคอนกรีต ซึ่งจะส่งผลโดยทางอ้อมในการลดกำลังการผลิตและลดการทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างถาวรในขั้นตอนการผลิตวัสดุผสมที่ใช้ผสมในการผลิตคอนกรีต (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2545)

ซีลี้อย สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุร่วมในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (activated carbon) โดยใช้ร่วมกับวัสดุอื่นๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเช่น ไม้ ถ่านหิน กะลามะพร้าว ขากรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์มี 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Reactivation) และการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation) ได้เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกรองน้ำ กรองสารเคมี และเป็นวัสดุดูดซับในอุตสาหกรรมต่างๆ (บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์, 2552)

ผงซีลี้อยไม้สัก นำมาร่อนด้วยตะแกรงเพื่อคัดขนาดที่หยาบทิ้ง จากนั้นนำมาผสมกับดินเหนียว เหลือง ผงหินปูนละเอียด ผงซีเมนต์ขาว และน้ำ สามารถนำมาใช้ในการอุดยาแนวตามร่องไม้ที่ติดปุ๋ยคอกให้แน่น เป็นสูตรยาแนวร่องไม้ ที่มีซีลี้อยเป็นไฟเบอร์ เสริมแรงและยึดเหนี่ยวป้องกันการแตกร้าวของยาแนวหลังแข็งตัว และยังทำให้รู้สึกเหมือนเป็นเนื้อไม้ในยาแนว เพื่อให้สวยงามสอดคล้องกับรอยต่อไม้สัก (สมหวัง วิทยปัญญาพนธ์, 2551)

ซีลี้อยที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้เป็นเศษไม้ที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตของเล่นที่ทำมาจากไม้ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) โดยนำมาใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือสารเสริมแรงในวัสดุคอมพอสิต เนื่องจากมีข้อดี คือ ช่วยลดการหดตัว เพิ่มโมดูลัส และเพิ่มความแข็งแรงให้ผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อเสีย คือ ทำให้กระบวนการขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น ไม่สามารถขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส เสถียรภาพทางความร้อน ความทนทานต่อสภาพอากาศ และความสามารถในการรับแรงกระแทกลดลง

8.2 สมบัติผิวหน้า (Surface properties)

การนำซีลี้อยหรือผงไม้มาใช้ในวัสดุคอมพอสิตนั้นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือการยึดเกาะระหว่างผิวหน้าของซีลี้อยกับเมตริกซ์ เนื่องจากซีลี้อยหรือผงไม้นั้นเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีองค์ประกอบหลักได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน องค์ประกอบเหล่านี้มีโครงสร้างที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นไฮดรอกซิล (R-OH) เป็นส่วนใหญ่ หมู่ไฮดรอกซิลจะมีสภาพขั้ว (Polarity) สูง ส่งผลให้ซีลี้อยมีสภาพขั้วสูงและแสดงพฤติกรรมที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) สามารถที่จะดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีกว่าสารที่ไม่มีขั้ว ซึ่งทำให้ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatible) กับเมตริกซ์ (Morreale *et al.*, 2007)

การที่วัสดุสองสิ่งสามารถยึดติดกันได้เนื่องจากพลังงานผิวหน้า (surface energy) มีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน ซึ่งพลังงานผิวนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบส่วนที่มีสภาพขั้ว (polar component) และองค์ประกอบส่วนที่ไม่มีสภาพขั้ว (non-polar component) การวัดค่าพลังงานผิวหน้าทำได้โดยใช้ Dynamic contact angle พบว่าซีลี้อยมีค่าพลังงานผิวหน้าที่สูง ดังนั้นเพื่อลดค่าพลังงาน

ผิวหน้า จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงผิวหน้าของซีลื้อซึ่งสามารถทำได้ทั้งวิธีทางกายภาพ (Physical treatment) และทางเคมี (Chemical treatment) ซึ่งทำให้ซีลื้อมีค่าพลังงานผิวหน้าที่ต่ำเพียงพอ ที่จะสามารถเข้ากันได้ (Compatible) และสามารถยึดเกาะระหว่างผิวหน้าของซีลื้อ (Interfacial adhesion) กับเมตริกซ์ในวัสดุคอมพอสิตได้ (Baley *et al.*, 2006)

กระบวนการปรับปรุงผิวหน้าซีลื้อแบ่งได้เป็น

1. กระบวนการทางฟิสิกส์ (Physical methods)

การปรับปรุงผิวหน้าของซีลื้อด้วยวิธีทางกายภาพอาจใช้สารเคมีหรือความร้อน ไฟฟ้า และรังสี โดยจะไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผิวหน้าของซีลื้อซึ่งมีผลต่อการเชื่อมประสานพันธะแบบเชิงกล (Mechanical bonding) ระหว่างซีลื้อกับเมตริกซ์ได้ ตัวอย่างการปรับปรุงด้วยเทคนิคนี้ ได้แก่

- **Corona treatment** เป็นวิธีการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) บนผิวหน้า ซึ่งจะไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานผิวหน้าให้มีค่าต่ำเพียงพอ เพื่อเพิ่มความสามารถเข้ากันได้กับเมตริกซ์ (Gassan and Gutowski, 2000)

- **Plasma treatment** การทำ Cold plasma บนผิวหน้าเป็นวิธีการดัดแปรผิวหน้าโดยใช้ พลาสมา (Plasma) ซึ่งโมเลกุลภายใน gas phase ของพลาสมาจะเกิดการแตกตัวออก กลายเป็นอนุภาคซึ่งสามารถเข้าไปกระตุ้นบริเวณผิวหน้าของซีลื้อ เทคนิคนี้ได้มีการนำไปใช้กับเส้นใยเซลลูโลส เพื่อปรับปรุงสมบัติการเปียก (Wettability) ของเส้นใยเซลลูโลส และเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างกระดาษกับพอลิเอเลฟินส์ (Polyolefin) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในการดัดแปลงผิวหน้า โดยประสิทธิภาพของเทคนิคนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและธรรมชาติของก๊าซที่ใช้ เช่น ถ้าใช้ออกซิเจนพลาสมา (Oxygen plasma) หรือไฮโดรเจนพลาสมา (Hydrogen plasma) จะเป็นเทคนิคสำหรับการทำให้เกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) หรือรีดักชัน (Reduction) บนผิวเส้นใยซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มสมบัติการเปียกบนเส้นใย (Vander Wielen *et al.*, 2006)

- **Vacuum-ultraviolet treatments** วิธีการนี้ใช้สำหรับปรับปรุงผิวหน้าโดยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตในสภาวะสุญญากาศ เพื่อให้เกิดการออกซิเดชันบนผิวหน้าซีลื้อ (Gassan and Gutowski, 2000)

นอกเหนือจากวิธีการปรับปรุงผิวหน้าด้วยกระบวนการทางกายภาพดังกล่าวแล้ว ยังมีอีกหลายเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงผิวหน้าซีลื้อได้เช่น การใช้เลเซอร์ หรือการใช้รังสีเอ็กซ์เรย์ เป็นต้น

2. กระบวนการทางเคมี (Chemical methods)

การปรับปรุงสมบัติผิวหน้าด้วยสารเคมีนั้น โดยทั่วไปพบว่าการใช้สารเคมีที่เหมาะสมสามารถลดสภาพขั้วทางเคมีของซีลื้อซึ่งมีผลต่อการเกาะประสานที่มากขึ้นระหว่างซีลื้อกับเมตริกซ์ เนื่องจากซีลื้อมีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ดังนั้นจึงดูดซับความชื้นได้ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอม

พอลิไท เนื่องจากปริมาณความชื้นทำให้ความสามารถในการผลิตแรงแรงและผลิตภัณฑ์เกิดเป็นรู ดังนั้น เพื่อเป็นการลดการดูดซับความชื้นของจีลีโอ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติผิวหน้า ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่

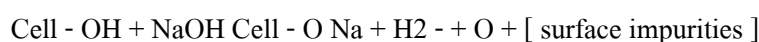
- **Esterification reaction** หลักการของเทคนิคนี้คือ การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของ จีลีโอโดยการเพิ่มหมู่เอสเตอร์ซึ่งมีสมบัติไฮโดรโฟบิก ให้กับผิวหน้าเส้นใย ซึ่งจะช่วยให้สามารถเข้า กันได้กับเมตริกซ์ สารเคมีซึ่งทำหน้าที่เป็นรีเอเจนต์ในเทคนิคนี้มีหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารเคมี จำพวก เอซิดแอนไฮไดรด์ เช่น acetic anhydride, propionic anhydride หรือ maleic anhydride ซึ่งจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวจีลีโอ (Mwaikambo and Ansell, 1999)

- **Treatments with isocyanates** เทคนิคนี้เป็นการดัดแปรจีลีโอโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสกับสารประกอบไอโซไซยาเนต (isocyanate) เพื่อเพิ่มสมบัติการยึดเกาะระหว่างจีลีโอกับเมตริกซ์ชนิดพอลิไธรีน หรือพอลิไวนิลคลอไรด์ ในวัสดุคอมพอสิต (Karmarkar *et al.*, 2007)

- **Chemical coupling** เป็นการใส่สารเคมี เช่น ซิลเลน (Silane coupling agent) เป็นสารเชื่อมโยงระหว่างจีลีโอกับเมตริกซ์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างจีลีโอกับเมตริกซ์ โดยหมู่ปลายข้างหนึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับผิวของจีลีโอที่มีสมบัติ Hydrophilic และหมู่ปลายอีกข้างหนึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับผิวของเส้นใยที่มีสมบัติ Hydrophobic ได้ ผลที่ได้ก็คือ จีลีโอดูดความชื้นลดลง พร้อมกับสมบัติ Hydrophilic ที่ลดลงด้วย ส่งผลให้ผิวหน้าจีลีโอเกิดการยึดเกาะกับเมตริกซ์ดีขึ้น

- Alkali or NaOH Treatments

การปรับปรุงผิวจีลีโอที่เรียกว่า alkali treatment หรือ Mercerisation เป็นการปรับปรุงผิวหน้าของจีลีโอโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดี ง่าย รวดเร็ว และประหยัด หลักการของเทคนิคนี้คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะชะล้างสารพวกแว็กซ์ (wax) สิ่งเจือปนที่บริเวณผิว และสารประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non-cellulose matters) ของจีลีโอออกไป สารเหล่านี้จะเคลือบบนผิวหน้าจีลีโอซึ่งเป็นการขัดขวางการทำปฏิกิริยาระหว่างจีลีโอกับเมตริกซ์ ดังนั้นเพื่อเพิ่มการยึดติดกับเมตริกซ์จึงต้องกำจัดสารเหล่านี้ออกไป ซึ่งในระหว่างการแช่จีลีโอในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 11

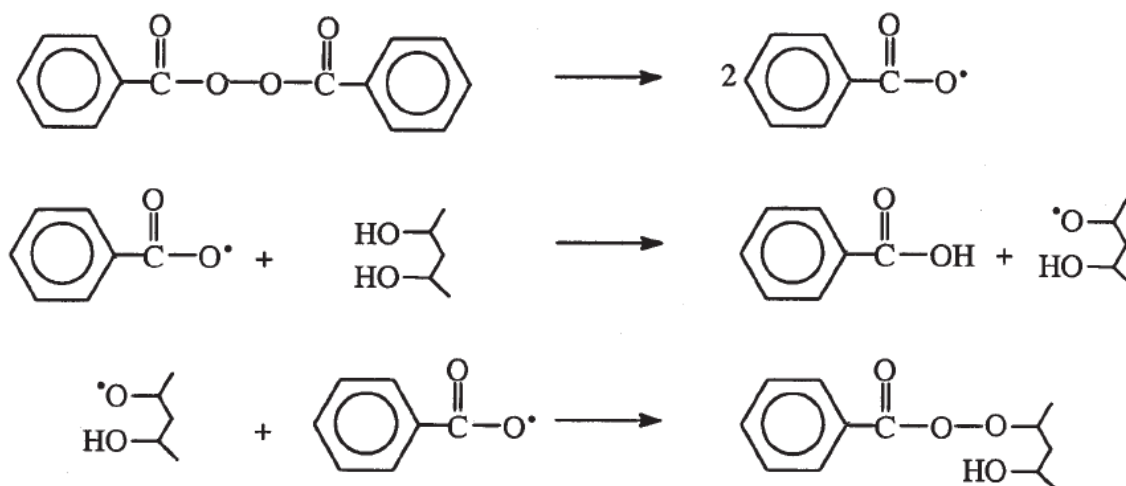


ภาพที่ 11 ปฏิกิริยาการปรับปรุงผิวจีลีโอด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ที่มา : Lopattananon (2006)

จากภาพที่ 11 เมื่อขี้เลื่อยดูดซับไอออนของโซเดียม (Na^+) หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) บนโครงสร้างของเซลลูโลสจะทำปฏิกิริยากับไอออนของโซเดียมเกิดเป็น $-\text{ONa}$ groups ทำให้ช่องว่างในโครงสร้างผลึกเกิดการขยายตัวขึ้น ดังนั้นเรซินจึงสามารถซึมผ่าน (Penetrate) เข้าสู่ขี้เลื่อยและการเชื่อมโยงระหว่างกันเกิดได้มากขึ้น นอกจากสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตที่ดีขึ้นแล้ว หลังการปรับสภาพผิว ขี้เลื่อยจะมีความต้านทานต่อความชื้นเพิ่มมากขึ้น (Mwaikambo and Ansell, 1999)

- Peroxide Treatments การปรับปรุงผิวด้วยเปอร์ออกไซด์ หรือ Benzoylation จะทำการกระตุ้นขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) หรือที่เรียกว่า mercerization จากนั้นจึงปรับสภาพด้วยสารละลายเบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide; BPO) ในอะซิโตน การปรับสภาพจะเป็นการชะแว็กซ์ (wax) และสารเพกติน เพื่อลดสภาพความเป็นขี้ทางเคมี (hydrophilicity) ของขี้เลื่อย ทำให้ดูดซับน้ำได้ลดลง และเข้ากับเมตริกซ์ได้มากขึ้น โดยปฏิกิริยาระหว่างเปอร์ออกไซด์และขี้เลื่อยแสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ปฏิกิริยาการปรับปรุงผิวขี้เลื่อยด้วยเปอร์ออกไซด์

ที่มา : Lopattananon (2006)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการเตรียม และสถานะที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุกันกระแทกจากขี้เลื่อย น้ำยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการอัดร้อน
2. เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้าง และคุณสมบัติทางกลของวัสดุกันกระแทกที่เตรียมจากขี้เลื่อย น้ำยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง

ขอบเขตการวิจัย

เตรียมวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากองค์ประกอบหลักสามส่วน คือ ขี้เลื่อยหรือผงไม้ น้ำยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกด้วยวิธีอัดร้อน (Hot compression forming) โดยแบ่งวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้นออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ผลิตภัณฑ์โฟมแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำยางพาราโดยมีขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรง และ 2) ผลิตภัณฑ์ขี้เลื่อยขึ้นรูปที่มีแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราเป็นสารเชื่อมประสาน โดยจะศึกษาสมบัติทางกลและลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น รวมถึงความสามารถในการรับแรงกระแทก และความต้านทานการดูดซับความชื้นของวัสดุกันกระแทก

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

1. วัสดุและสารเคมี

1. จี๊เลื่อยหรือผงไม้จากโรงงานผลิตของเล่นไม้ยางพารา จากบริษัทแปปนครีเอชันส์ จำกัด
2. แป้งมันสำปะหลังจาก บริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด
3. น้ำยางข้น ชนิด High Ammonia Latex (HA) จากบริษัททดลองน้ำยางข้น
4. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาเซลลูโลสและลิกนิน
5. พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) ชนิด Fully hydrolyzed PVA No.26 (BF-26)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH)
7. เบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide; $C_{14}H_{10}O_4$)
8. โทลูอีน (toluene; C_7H_8 ($C_6H_5CH_3$))
9. แมกนีเซียม สเตียเรท (magnesium stearate; $[CH_3(CH_2)_{16}COO]_2Mg$)
10. กวักม (Guar gum)
11. สารลดแรงตึงผิว (non-ionic surfactant; Nonidet P40)
12. สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติสำหรับผลิตเป็นสารเคลือบผิว
 - 10% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
 - 20% โปแตสเซียมลอเรต
 - 50% sulfur dispersion
 - 50% ZDEC dispersion
 - 50% Wingstay L dispersion
 - 50% Zinc oxide dispersion

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องนวดผสมแป้งยี่ห้อ Imarflex รุ่น IF-309
2. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน
3. เตาเผา ยี่ห้อ FISHER SCIENTIFIC
4. เครื่องทดสอบแรงทางกลของวัสดุและผลิตภัณฑ์ Universal Tester รุ่น LLOYD LR 30 KN
5. แม่พิมพ์กดขึ้นรูป (compression molding)
6. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
7. เครื่องมือในการทดสอบความต้านทานการดูดซับน้ำ (Cobb test)
8. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

9. เครื่องวัดความหนา (Thickness gauge)

3. การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขี้เลื่อยและการเตรียมขี้เลื่อย

วิธีการทดลอง

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของขี้เลื่อยเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปแปรรูปเป็นวัสดุกันกระแทก เช่น ปริมาณเซลลูโลส ลิกนิน ความชื้น เถ้า และขนาดของขี้เลื่อย เป็นต้น

2. ปรับสภาพพื้นผิวของขี้เลื่อยเพื่อช่วยในการยึดเกาะกับน้ำยางได้ดีขึ้น โดยมีวิธีการดังนี้

2.1 การปรับสภาพผิวด้วยด่าง (Alkali treatment)

นำขี้เลื่อยไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ (ร้อยละ 1, 3 และ 5 น้ำหนัก/ปริมาตร) แล้วนำไปกวนเป็นเวลา 18 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนหมดด่างแล้วล้างด้วยอะซิโตน นำไปทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และเก็บในเคซิเคเตอร์

2.2 การปรับสภาพผิวด้วยเบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (Benzoylation)

นำขี้เลื่อยไปแช่ในสารละลายผสมระหว่างเบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) และโทลูอีน (toluene) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ (ร้อยละ 1, 3 และ 5 ของน้ำหนักเส้นใย) แล้วนำไปกวนที่อุณหภูมิ 80 °ซ. เป็นเวลา 24 ชั่วโมงภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน หลังจากนั้นนำมาล้างด้วยโทลูอีนแล้วนำไปทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °ซ. และเก็บในเคซิเคเตอร์

หมายเหตุ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง จะใช้องค์ความรู้ด้านการปรับสภาพผิวของวัสดุเพื่อให้วัสดุสามารถผสมเข้ากันได้

ตอนที่ 2 การผลิตโฟมเป่าจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพารา (starch/rubber foam) โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรง

2.1 การศึกษาหาอัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตโฟมเป่า

วิธีการทดลอง

1. นำแป้งมันสำปะหลังผสมกับกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol ; PVA) ในอัตราส่วนต่างๆ แล้วเติมแมกนีเซียม สเตียเรท (magnesium stearate) และกัวกัม (Guar gum) ร้อยละ 2 และร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ แล้วนำมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมเป่า ทำการขึ้นรูปเป็นโฟมเป่าโดยเครื่องกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

2. นำน้ำยาธรรมชาติมาเติมสารลดแรงตึงผิว (non-ionic surfactant; Nonidet P40) แล้วผสมกับโดแป้งที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 1 ทำการขึ้นรูปเป็นโฟมแป้งโดยเครื่องกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำยาที่เติมลงในโฟมแป้ง

3. เติมแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate; CaCO_3) ลงในโดแป้งที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 2 ทำการขึ้นรูปเป็นโฟมแป้งโดยเครื่องกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงในโฟมแป้ง

4. ผสมขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีการในตอนที 1 ลงในโดแป้งที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3 ทำการขึ้นรูปเป็นโฟมแป้งโดยเครื่องกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อหาชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณขี้เลื่อยที่เติมลงในโฟมแป้ง

5. ทดสอบคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้น เช่น ความต้านทานแรงกด (ASTM D 642), ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (TAPPI T819 om-84), ความต้านทานแรงดันทะลุ (ASTM D774), ความต้านทานการทิ่มทะลุ (ASTM D 781), ความต้านทานการฉีกฉีก (ASTM D790), การต้านทานการตกกระแทก เป็นต้น

การศึกษาหาองค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตโฟมแป้งจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพารา (starch/rubber foam) โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรง มีปัจจัยที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปัจจัยศึกษาในการหาอัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตโฟมแป้งจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพารา โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรง

ปัจจัยศึกษา	ระดับ		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
1. อัตราส่วนแป้งต่อกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (โดยน้ำหนัก)	60:40	70:30	80:20
2. ปริมาณน้ำยางพารา (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	10	20	30
3. ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	5	10	15
1.4 ปริมาณขี้เลื่อย (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	10	20	30
1.5 ชนิดของขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพผิว			
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)	1	3	5
- สารละลายเบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	1	3	5

2.2 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตโฟมแป้ง

1. นำส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งคัดเลือกแล้วจากตอนที่ 2.1 มาศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโดยเครื่องกดอัดด้วยความร้อนที่สามารถควบคุมความดันและอุณหภูมิได้ โดยศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาและอุณหภูมิในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โฟมแป้ง (แสดงดังตารางที่ 8)

2. ทดสอบคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้น เช่น ความต้านทานแรงกด (ASTM D 642), ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (TAPPI T819 om-84), ความต้านทานแรงดันทะลุ (ASTM D774), ความต้านทานการทิ่มทะลุ (ASTM D 781), ความต้านทานการตัดโค้ง (ASTM D790) การต้านทานการตกกระแทก เป็นต้น เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์โฟมแป้งที่แข็งแรงที่สุด

ตารางที่ 8 ปัจจัยศึกษาในการหาสถานะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโฟมแป้งจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางข้น โดยมีขีด้อยู่เป็นสารเสริมแรง

ปัจจัยศึกษา	ระดับ		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
1. ระยะเวลาในการขึ้นรูป (วินาที)	120	210	300
2. อุณหภูมิในการขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	150	170	190

ตอนที่ 3 การผลิตขี้เลื่อยหรือผงไม้ขึ้นรูป (Molded pulp) โดยมีแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราเป็นสารเชื่อมประสาน

การผลิตวัสดุกันกระแทกโดยการขึ้นรูปขี้เลื่อยด้วยกระบวนการอัดร้อน จะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1. การอัดขึ้นรูปวัสดุคอมพอสิตระหว่างขี้เลื่อย แป้งมันสำปะหลังและน้ำยางด้วยกระบวนการอัดร้อน

รูปแบบที่ 2. การอัดขึ้นรูปวัสดุคอมพอสิตระหว่างขี้เลื่อย แป้งมันสำปะหลังและน้ำยางด้วยกระบวนการอัดร้อนและเคลือบด้วยน้ำยางคัดแปร

รูปแบบที่ 1

วิธีการทดลอง

1. นำกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์¹ และกาวแป้งมันสำปะหลัง² มาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 1:2 2:1 0:1 และ 1:0 เพื่อใช้เป็นสารเชื่อมประสานในการผลิตขี้เลื่อยขึ้นรูป โดยนำมานวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันตัวอย่างขี้เลื่อยหรือผงไม้ที่ผ่านการปรับสภาพผิว (ตอนที่ 1) และไม่ผ่านการปรับสภาพผิว

2. ปรับความชื้นของตัวอย่างให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 30

3. นำไปกดขึ้นรูปเย็น (preforming) โดยเครื่องกดอัด

4. นำไปกดขึ้นรูปร้อน (hot compression) โดยเครื่องกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิและระยะเวลาในการขึ้นรูป

5. ทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้น เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารเชื่อมประสานระหว่างกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลัง

6. นำน้ำยาธรรมชาติมาเติมสารลดแรงตึงผิว (non-ionic surfactant; Nonidet P40) แล้ว ผสมกับผงขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพผิว (ตอนที่ 1) และสารเชื่อมประสานที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 1-5 ในอัตราส่วนร้อยละ 20 35 และ 50 ของน้ำหนักขี้เลื่อย

7. ขึ้นรูปโดยกระบวนการอัดด้วยความร้อนและทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพตามวิธีข้อ 2-5

8. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน โดยนำส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งคัดเลือกแล้วจากข้อ 1-7 มาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโดยศึกษาปัจจัยเรื่องระยะเวลาและอุณหภูมิในการขึ้นรูปแสดงดังตารางที่ 9

9. ทดสอบคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้น เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ขี้เลื่อยขึ้นรูปที่แข็งแรงที่สุด

ตารางที่ 9 ปัจจัยศึกษาในการผลิตขี้เลื่อยขึ้นรูปที่มีการเติมน้ำยาพารา โดยมีกาวแป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเชื่อมประสาน

ปัจจัยศึกษา	ระดับ		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
1. องค์ประกอบ			
1.1 อัตราส่วนกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลัง	1:2	1:1	2:1
1.2 ชนิดของขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพผิว			
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)	1	3	5
- สารละลายเบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	1	3	5
1.3 ปริมาณน้ำยาขึ้น (ร้อยละของน้ำหนักขี้เลื่อย)	20	35	50
2. สภาวะในการผลิต			
2.1 ระยะเวลาการกดอัดด้วยความร้อน (วินาที)	120	210	300
2.2 อุณหภูมิในการกดอัดด้วยความร้อน (องศาเซลเซียส)	160	180	200

หมายเหตุ ¹ กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เตรียมจาก PVA ชนิด Fully Hydrolysis (PVA BF26) ความเข้มข้นร้อยละ 15

² กาวแป้งมันสำปะหลัง ความเข้มข้นร้อยละ 15

รูปแบบที่ 2

วิธีการทดลอง

1. คัดเลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขี้เลื่อยขึ้นรูปที่ดีที่สุด ในข้อ 9 ของรูปแบบที่ 1 มาเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรที่มีสูตรการผสมดังนี้

น้ำยางขึ้น (ร้อยละ 60)	167	กรัม
10% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	3	กรัม
20% โปแตสเซียมลอเรต	1	กรัม
50% sulfur dispersion	1	กรัม
50% ZDEC dispersion	1.5	กรัม
50% Wingstay L dispersion	1	กรัม
50% Zinc oxide dispersion	0.8	กรัม

2. ทดสอบคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้น เช่น ความต้านทานแรงดึง และระยะยืดเมื่อขาด (ASTM D3039), ความต้านทานแรงกด (ASTM D 642), ค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (G value) และลักษณะโครงสร้าง เป็นต้น

หมายเหตุ ขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปจากขี้เลื่อยจะใช้องค์ความรู้เรื่องการขึ้นรูปโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนซึ่งมีสารเชื่อมประสานช่วยในการยึดติดและการใช้น้ำยางดัดแปรเป็นสารเคลือบผิวในการปรับปรุงสมบัติของวัสดุกันกระแทก

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของจีเลื้อยและการเตรียมจีเลื้อย

1.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของจีเลื้อย

การวิจัยครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จีเลื้อยไม้ยางพาราจากบริษัทแปปนครีเอชั่น จำกัด จังหวัดตรัง ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะให้ผลแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของจีเลื้อย

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	6.7759 $\pm$ 0.0462
เถ้า	1.8217 $\pm$ 0.0100
เซลลูโลส	54.9300 $\pm$ 1.6980
ลิกนิน	12.3400 $\pm$ 0.1910

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของจีเลื้อยพบว่า องค์ประกอบหลักของจีเลื้อยคือ เส้นใยไม้ (Acid detergent fiber) ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส ร้อยละ 54.93 และลิกนิน ร้อยละ 12.34 ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของไม้ แต่เนื่องจากการทดลองนี้จีเลื้อยทั้งหมดได้จากไม้ยางพารา ดังนั้น องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบจึงมีความแปรปรวนค่อนข้างน้อย

องค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งของจีเลื้อยซึ่งมีผลต่อการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ คือ ความชื้น จากการทดลองพบว่า จีเลื้อยที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีความชื้นประมาณ ร้อยละ 6.78 ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน ถ้าความชื้นของจีเลื้อยมีค่าสูงกว่าร้อยละ 10 เมื่อนำมาขึ้นรูปโดยการกดอัดด้วยความร้อนอาจทำให้เกิดการระเบิดของไอน้ำในขณะที่ทำการขึ้นรูปได้

จีเลื้อยที่จะนำมาใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จะต้องผ่านการคัดแยกขนาดเพื่อหาขนาดของจีเลื้อยที่เหมาะสมโดยนำจีเลื้อยมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (mesh no.10) เบอร์ 20 (mesh no. 20) และเบอร์ 35 (mesh no.35) ซึ่งจะสามารถจำแนกขนาดและปริมาณของจีเลื้อยได้ดังนี้

- 1) จีเลื้อยขนาดมากกว่า 2.000 มิลลิเมตร มีปริมาณร้อยละ 27.6
- 2) จีเลื้อยขนาด 0.841-2.000 มิลลิเมตร มีปริมาณร้อยละ 37.9

- 3) จี๊เลื้อยขนาด 0.500-0.841 มิลลิเมตร มีปริมาณร้อยละ 22.0
- 4) จี๊เลื้อยขนาดน้อยกว่า 0.841 มิลลิเมตร มีปริมาณร้อยละ 12.5

จากผลการคัดแยกขนาดของจี๊เลื้อยพบว่า จี๊เลื้อยที่มีขนาด 0.841-2.000 มิลลิเมตร (mesh no.20) จะมีปริมาณสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 37.9) รองลงมาคือ จี๊เลื้อยที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.000 มิลลิเมตร (ร้อยละ 27.6) จี๊เลื้อยขนาด 0.500-0.841 มิลลิเมตร (ร้อยละ 22.0) และจี๊เลื้อยที่มีขนาดเล็กกว่า 0.841 มิลลิเมตร (ร้อยละ 12.5) ตามลำดับ ซึ่งการคัดแยกขนาดของจี๊เลื้อยจะมีผลต่อความสม่ำเสมอในการอัดขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทก ทั้งนี้เนื่องจากขนาดที่สม่ำเสมอจะทำให้จี๊เลื้อยสัมผัสกับกาวและน้ำยางซึ่งใช้เป็นสารเชื่อมประสานได้อย่างทั่วถึงสม่ำเสมอ อีกทั้งยังมีผลต่อความหนาแน่นของวัสดุกันกระแทกที่จะผลิตขึ้นเนื่องจากขนาดที่สม่ำเสมอของจี๊เลื้อยจะช่วยลดช่องว่างที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์วัสดุอัดขึ้นรูป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดแยกขนาดของจี๊เลื้อยก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุกันกระแทก ซึ่งลักษณะของจี๊เลื้อยที่ผ่านการคัดขนาดแล้วแสดงดังภาพที่ 13



< 0.500 mm.



0.500-0.841 mm.



0.841-2.000 mm.

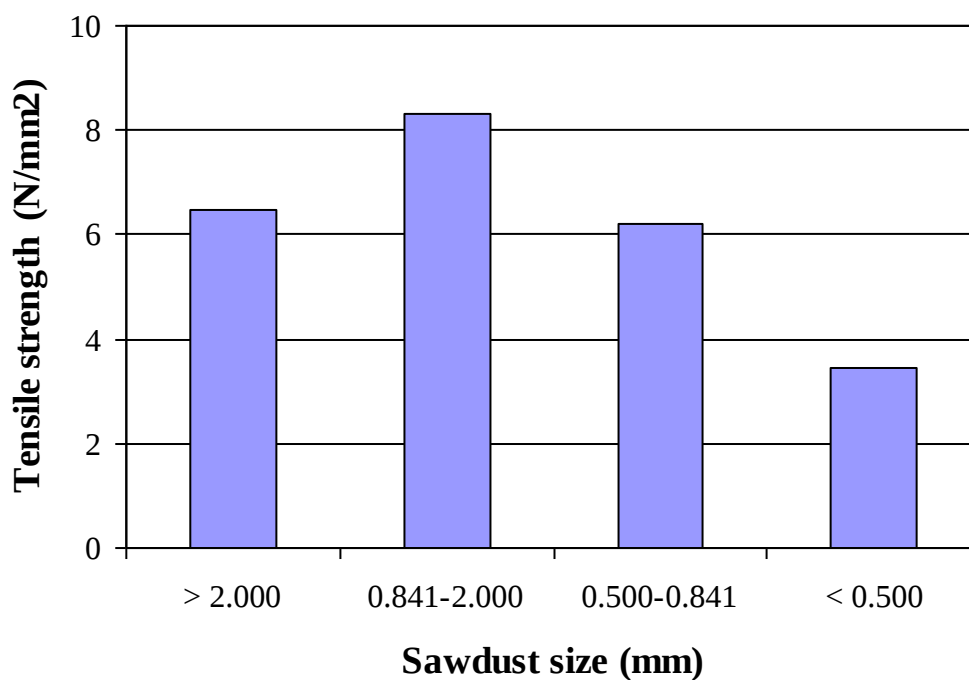


> 2.000 mm.

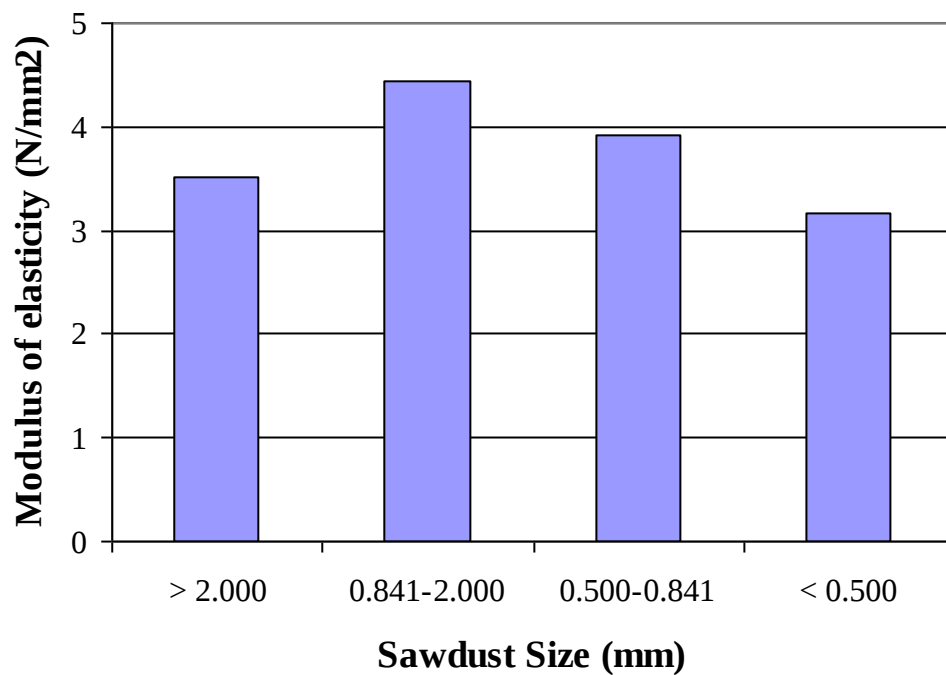
ภาพที่ 13 ตัวอย่างจี๊เลื้อยขนาดต่างๆ

1.2 การคัดเลือกขนาดของขี้เลื่อยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทก

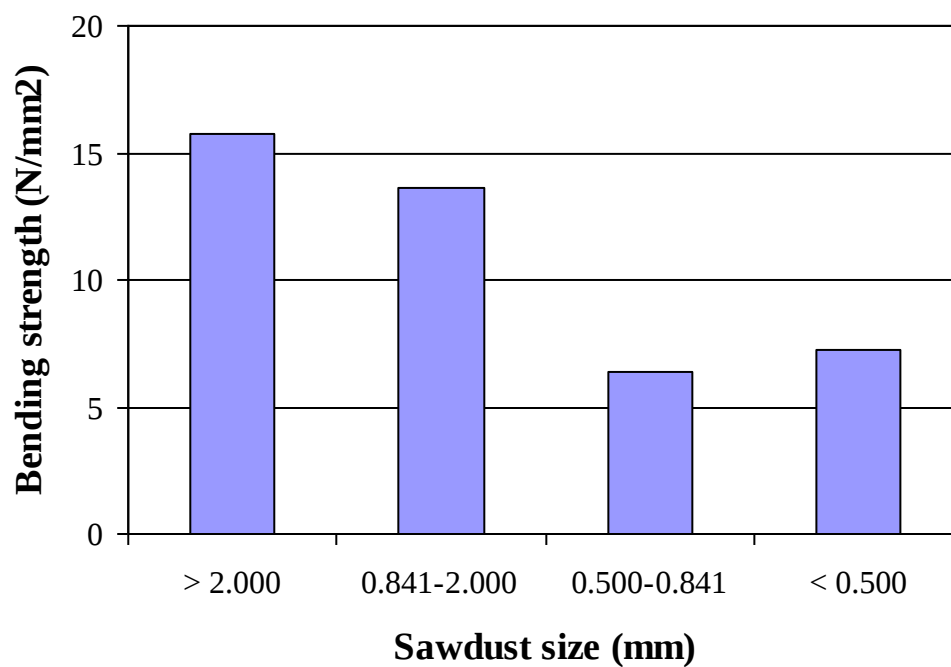
การคัดเลือกขนาดที่เหมาะสมของขี้เลื่อยเพื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทก สามารถทำได้โดยการผสมกาวแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 15 กับขี้เลื่อยที่มีขนาดต่างๆ ตามที่คัดแยกไว้แล้วนำมาวิเคราะห์ผลของขนาดขี้เลื่อยต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 14 - 16 โดยใช้ปริมาณกาวแป้งร้อยละ 20 ของน้ำหนักขี้เลื่อย พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขี้เลื่อยขนาด 0.841 – 2.000 มิลลิเมตร จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 8.31 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรซึ่งมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ วัสดุผสมที่ใช้ขี้เลื่อยขนาดใหญ่กว่า 2.00 มิลลิเมตร ขี้เลื่อยขนาด 0.500 – 0.841 มิลลิเมตรและขี้เลื่อยขนาดเล็กกว่า 0.500 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นพบว่า มีค่าสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ นั่นคือ วัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขี้เลื่อยขนาด 0.841 – 2.000 มิลลิเมตร จะให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น เท่ากับ 4.44 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรซึ่งมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ วัสดุผสมที่ใช้ขี้เลื่อยขนาดใหญ่กว่า 2.00 มิลลิเมตร ขี้เลื่อยขนาด 0.500 – 0.841 มิลลิเมตรและขี้เลื่อยขนาดเล็กกว่า 0.500 มิลลิเมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงและขนาดอนุภาคขี้เลื่อย



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นกับขนาดอนุภาคของขี้เลื่อย



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดัดโค้งและขนาดอนุภาคของขี้เลื่อย

เมื่อพิจารณาแรงดัดโค้งพบว่า ขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.000 มิลลิเมตร จะมีค่าความต้านทานแรงดัดโค้ง 15.76 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรซึ่งมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ วัสดุผสมที่ใช้ขี้เลื่อยขนาด 0.841 – 2.000 มิลลิเมตร ขี้เลื่อยขนาด 0.500 – 0.841 มิลลิเมตรและขี้เลื่อยขนาดเล็กกว่า 0.500 มิลลิเมตร ตามลำดับ

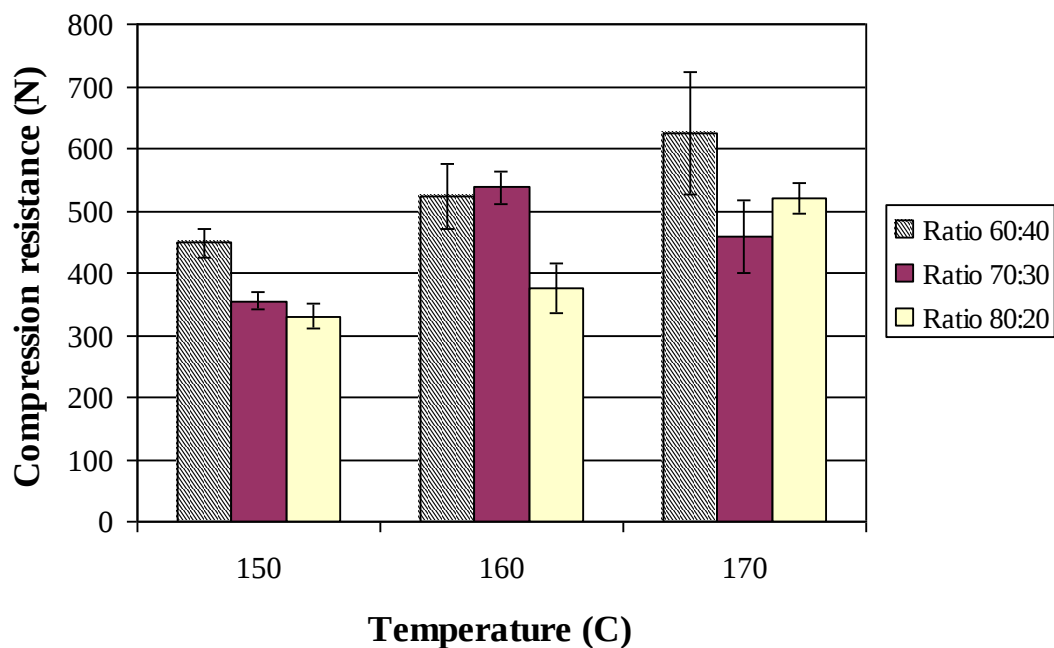
จะเห็นได้ว่าค่าแรงทั้งสองให้ผลการทดสอบต่างกันทั้งนี้อาจเป็นเพราะแนวแรงที่ใช้ทดสอบต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานต่างกัน โดยการทดสอบแรงดัดจะมีแรงตั้งฉากกับแนวการจัดเรียงตัวของขี้เลื่อยซึ่งจะรับแรงได้มากกว่าการทดสอบแรงดึงที่ให้แรงขนานกับแนวการจัดเรียงตัวของขี้เลื่อย สำหรับวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ขี้เลื่อยขนาดเล็กคือ 0.500 – 0.841 มิลลิเมตร และขนาดเล็กกว่า 0.500 มิลลิเมตร จะให้สมบัติเชิงกลต่ำ เนื่องจากกาบแปงมีการกระจายตัวในขี้เลื่อยขนาดเล็กได้ไม่ดี อย่างไรก็ตามวัสดุเชิงประกอบซึ่งผลิตจากขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็กจะให้ลักษณะปรากฏที่ดีกว่าขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้เป็นการผลิตวัสดุกันกระแทกที่ต้องการความยืดหยุ่นและสามารถรับแรงกดที่ดีจึงเลือกขี้เลื่อยขนาด 0.841 – 2.000 มิลลิเมตร

ตอนที่ 2 การผลิตโฟมแข็งจากแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราโดยมีขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรง

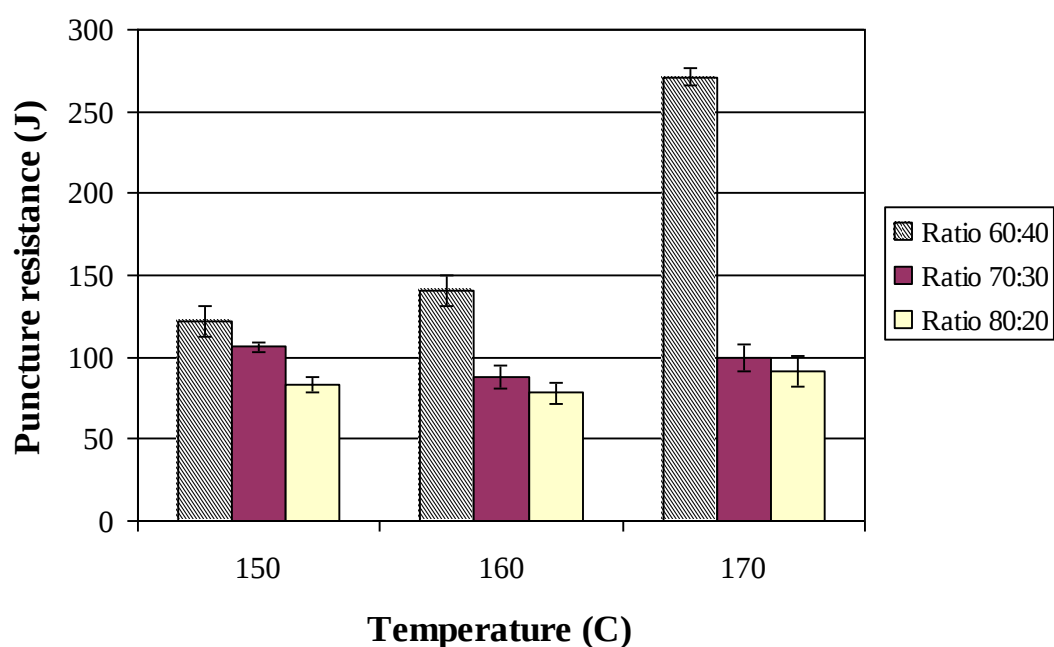
การผลิตโฟมแข็งจากแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำยางพาราสามารถทำได้โดยนำแป้งมันสำปะหลังมาผสมน้ำในปริมาณต่างๆแล้วนวดจนแป้งมันมีลักษณะเป็นโคแล้วนำน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia concentrated natural latex, HA TZ type) จากบริษัท ฉลองน้ำยางข้น จังหวัดสงขลา ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำยาง(Total Solid Content ; %TSC) เท่ากับร้อยละ 62.4 ± 0.1 และปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content ; %DRC) เท่ากับ ร้อยละ 60.6 ± 0.1 มาผสมในอัตราส่วนต่างๆ นวดให้เข้ากับโคแป้งมันสำปะหลัง หลังจากนั้นนำมาเติมขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิว (surface treatment) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเบนโซิล เปอร์ออกไซด์ แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆซึ่งจะให้ผลการทดลองดังนี้

2.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการขึ้นรูปโฟมแข็ง

การศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เติมลงในแป้งมันสำปะหลังแล้วนำไปขึ้นรูปเป็นโฟมแข็งโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน ซึ่งจะใช้สารละลายพอลิไวนิลความเข้มข้นร้อยละ 15 เติมนลงในโคแป้งในอัตราส่วนแป้งต่อกวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่ากับ 60:40 70:30 และ 80:20 ตามลำดับแล้วนำมาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 160 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกลของโฟมแข็ง เพื่อคัดเลือกสูตรและสภาวะการผลิตที่ดีที่สุด (แสดงดังภาพที่ 17 และ 18 ตามลำดับ)



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานแรงกดของโฟมแป้นรูปถ้วยที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนต่างๆ



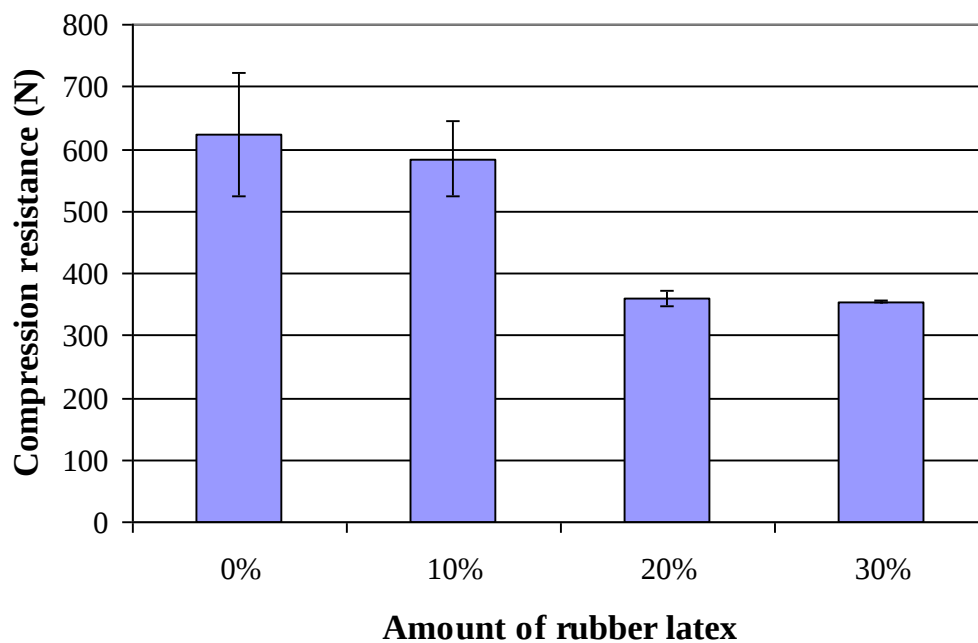
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานแรงทิ่มทะลุของโฟมแป้นรูปถ้วยที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนต่างๆ

จากการทดลองพบว่า โฟมแข็งที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 60:40 เมื่อนำมาขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที จะให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงถึง 623.9 นิวตันและค่าความต้านทานแรงทึงทะลุสูงถึง 271.1 จูล

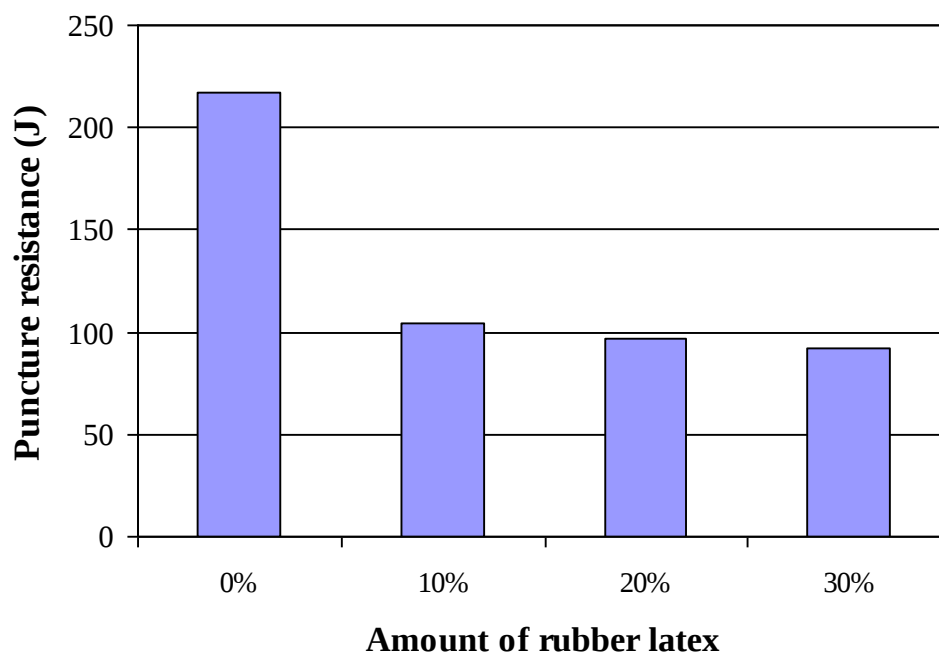
2.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำยางชันในการขึ้นรูปโฟมแข็ง

การทดลองในตอนนี้จะนำผลของอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ดีที่สุดในตอนที่แล้วมาศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำยางชันที่เติมลงไปในโฟมแข็ง จากการทดลองพบว่า การเติมน้ำยางชันลงในโฟมแข็งจะลดสมบัติด้านความแข็งแรงของโฟมแป้งมันสำปะหลังที่ใช้กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเชื่อมประสาน (แสดงดังภาพที่ 19-21) ค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงทึงทะลุของโฟมแป้งมันสำปะหลังจะมีค่าลดลง เมื่อใดแป้งมีปริมาณน้ำยางชันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้นจะไปลดสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการให้ความแข็งแรงกับโครงสร้างของโฟมแป้งลง ความแข็งแรงของโฟมแป้งจึงลดลงตามอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำยางชัน นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำยางจะมีผลต่อการเกิดโฟมของแป้งเมื่อแป้งได้รับความร้อนในระดับหนึ่งจะเกิดการพองตัว ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิมแตกออกและเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำและน้ำยางแทน (ดัดแปลงจาก: สมศักดิ์ ดำรงเลิศ, 2529) เมื่อเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จนแตกทำให้เกิดการกระจายตัวมากขึ้นส่งผลให้โมเลกุลของน้ำยางกระจายตัวเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้นเกิดการจับตัวระหว่างเม็ดแป้งและน้ำยางซึ่งจะมีผลให้ความแข็งแรงของโฟมแป้งลดลง

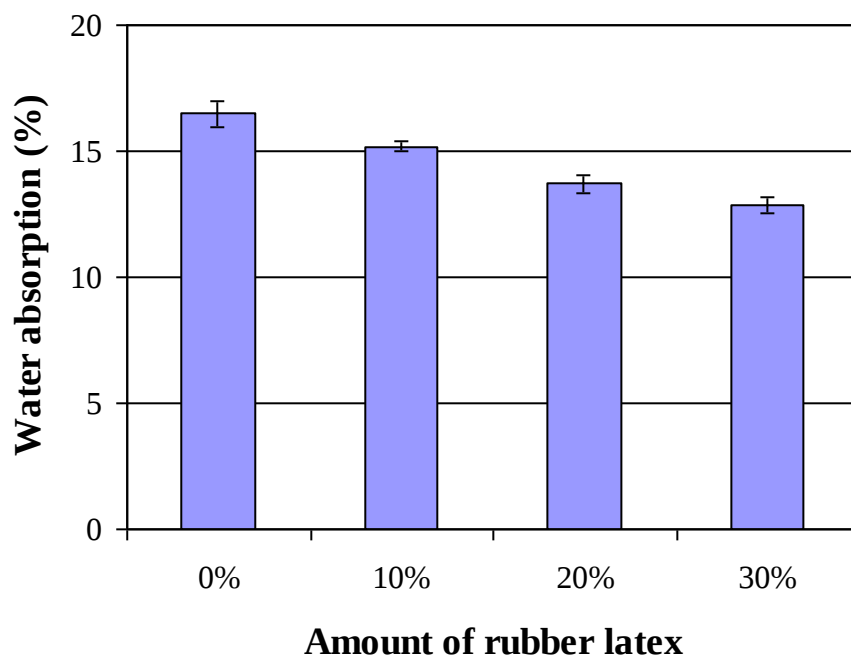
อย่างไรก็ตามการเติมน้ำยางชันลงในโดแป้งก่อนทำการขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จะช่วยลดการดูดซับน้ำของตัวอย่างโฟมแป้งลง น้ำยางชันที่ผสมอยู่ในบรรจุภัณฑ์มีส่วนช่วยให้โครงสร้างของบรรจุภัณฑ์มีความเหนียวและยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นส่งผลให้บรรจุภัณฑ์ทนต่อการฉีกขาดได้ดีขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำยางจะทำให้โครงสร้างของโฟมแป้งมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 19 ค่าความต้านทานแรงกดของโฟมเป้งเมื่อเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณต่างๆ



ภาพที่ 20 ค่าความต้านทานแรงทิ่มทะลุของโฟมเป้งเมื่อเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณต่างๆ

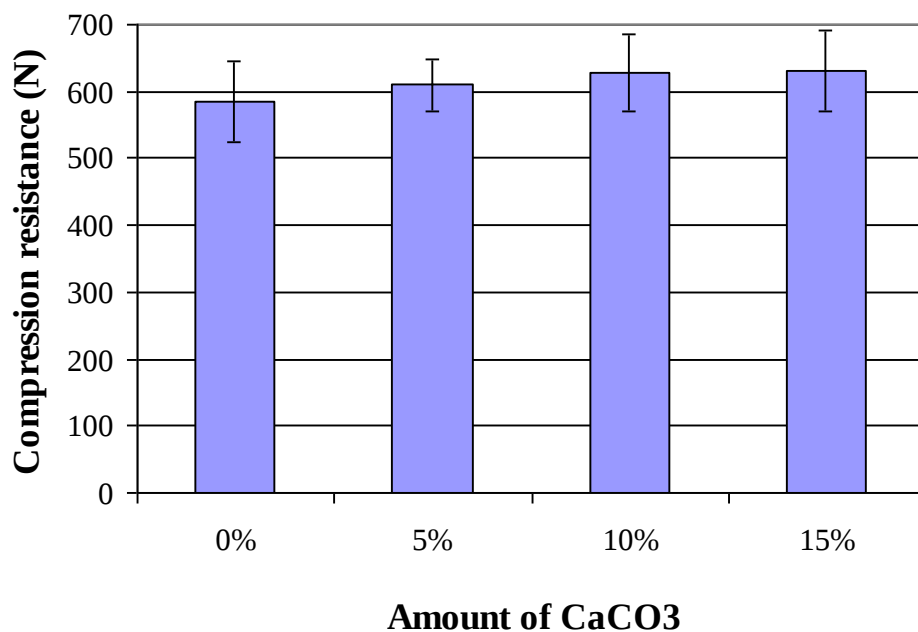


ภาพที่ 21 ความสามารถในการดูดซับน้ำของโฟมแข็งที่มีการเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณต่างๆ

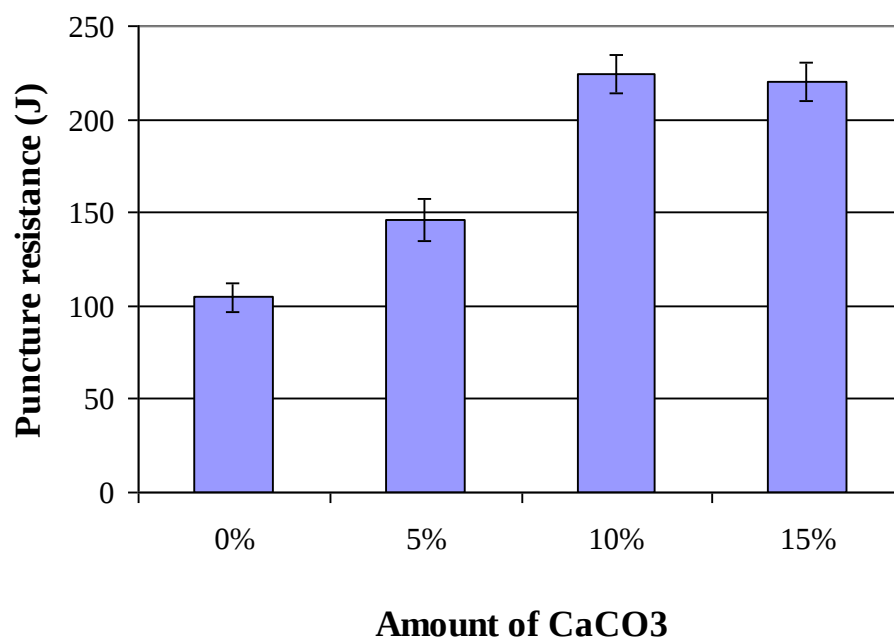
2.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในการขึ้นรูปโฟมแข็ง

สำหรับการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในโฟมแข็งซึ่งเตรียมจากแป้งมันสำปะหลังและกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 60:40 ที่มีการเติมน้ำยางขึ้นลงไปเป็นปริมาณร้อยละ 10 จะช่วยเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานน้ำให้กับโฟมแข็ง โดยความต้านทานแรงกดและความต้านทานแรงทิ่มทะลุของโฟมแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต หลังจากนั้นค่าความแข็งแรงของโฟมแข็งจะลดลงหากยังมีการเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตลงในโฟมแข็ง ทั้งนี้เพราะแคลเซียมคาร์บอเนตจะไปลดปริมาณช่องว่างภายในโฟมแข็งลงทำให้โฟมแข็งมีความแน่นและแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปอีกปริมาณเนื้อแป้งมันสำปะหลังจะมีลดลงอีกทั้งผงแคลเซียมก็จะไปขัดขวางการเกิดเจลและพองตัวเป็นโครงสร้างของโฟมแข็งทำให้ความแข็งแรงของโฟมแข็งมีค่าลดลง

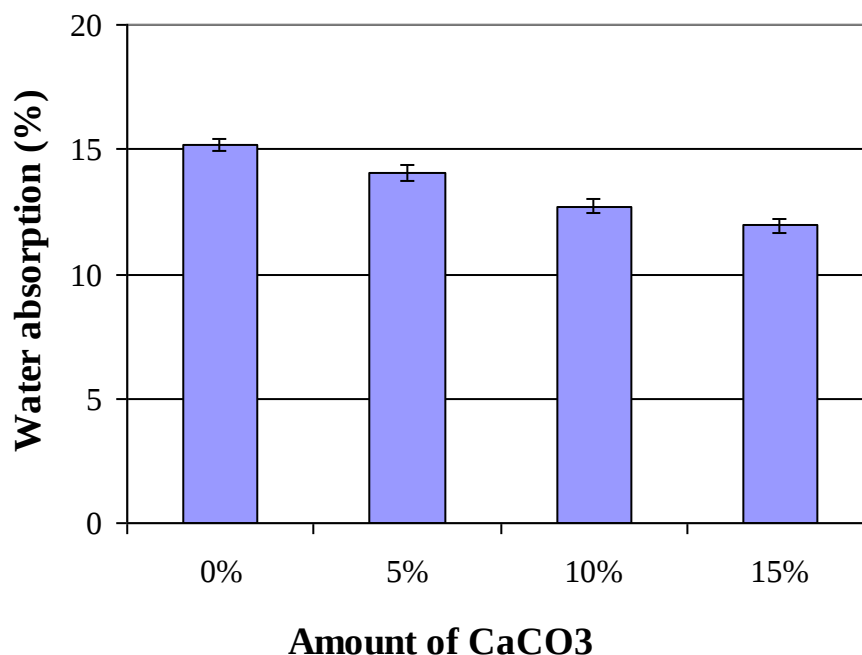
เมื่อทดสอบการต้านทานการดูดซับน้ำ พบว่า น้ำยางมีส่วนช่วยในเรื่องการป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ (แสดงดังภาพที่ 24) เนื่องจากค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ถึงร้อยละ 30 (สมศักดิ์ ดำรงเลิศ, 2542) จึงทำให้บรรจุภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่มากสามารถดูดซับน้ำได้มากด้วย และเมื่อปริมาณของน้ำยางขึ้นในโฟมแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และน้ำยางช่วยปรับปรุงความยืดหยุ่นของโฟมที่ได้ สารรักษาสภาพของน้ำยางทำให้ยางจับตัวกันน้อยลงและผลิตภัณฑ์โฟมแข็งที่ได้มีผิวเรียบมากขึ้น (Shey และคณะ 2006)



ภาพที่ 22 ความต้านทานแรงกดของโฟมเป่าผสมน้ำยางข้นร้อยละ 10 ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ



ภาพที่ 23 ความต้านทานแรงทิ่มทะลุของโฟมเป่าผสมน้ำยางข้นร้อยละ 10 ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ

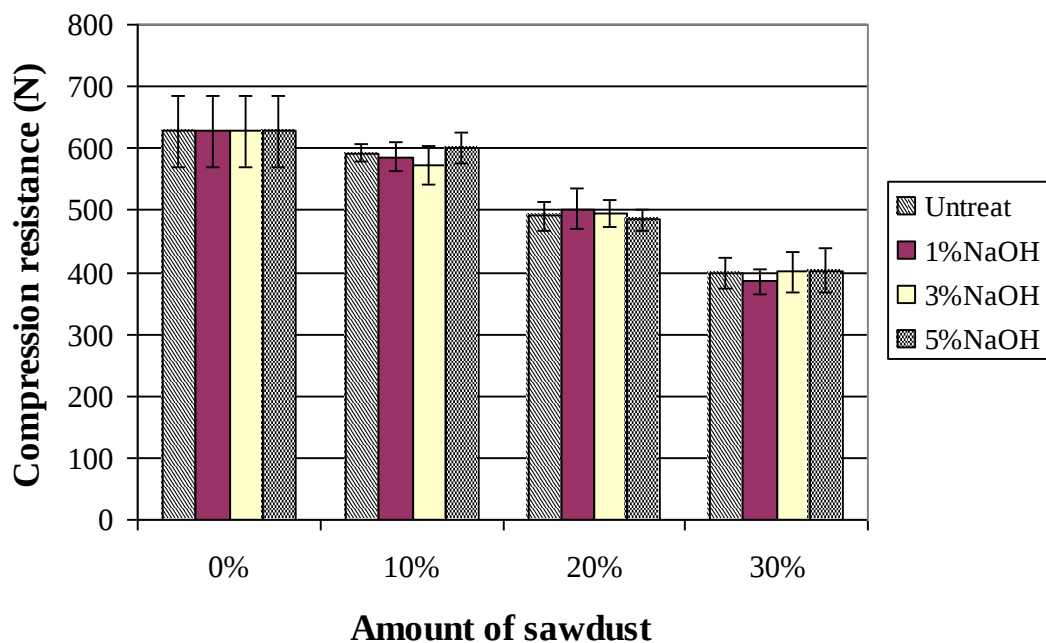


ภาพที่ 24 ความสามารถในการดูดซับน้ำของโฟมแข็งผสมน้ำยางชันร้อยละ 10 ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ

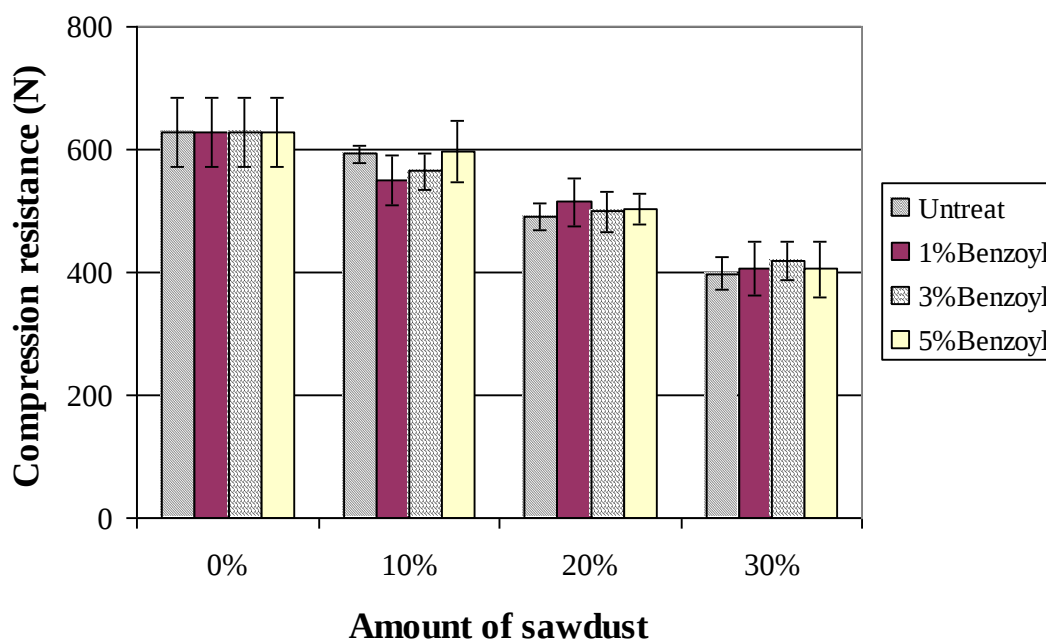
2.4 การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณขี้เลื่อยในการขึ้นรูปโฟมแข็ง

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า โฟมแข็งผสมน้ำยางที่เหมาะสมควรมีอัตราส่วนของเป้งมันสำปะหลังต่อกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วน 60 :40 และมีปริมาณน้ำยางชันและแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

การศึกษานี้หาชนิดและปริมาณของขี้เลื่อยที่เหมาะสมเพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโฟมแข็งสามารถทำได้โดยการผสมขี้เลื่อยลงในโดเป้งผสมน้ำยาง โดยขี้เลื่อยที่ผสมลงในโดเป้งจะเป็นขี้เลื่อยปกติและขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายผสมระหว่างเบนโซิลเปอร์ออกไซด์และโทลูอินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 3 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่า การเติมขี้เลื่อยลงในโฟมแข็งผสมน้ำยางทำให้โฟมแข็งผสมน้ำยางมีสมบัติเชิงกลที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมแข็งผสมน้ำยางที่ไม่มีการเติมขี้เลื่อย โดยค่าความต้านทานแรงกดของถ้วยโฟมแข็งผสมน้ำยางที่มีสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเชื่อมประสาน และมีแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 เป็นสารตัวเติมจะมีค่าเท่ากับ 627.76 นิวตัน เมื่อเติมขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ลงไปในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักน้ำยาง จะมีค่าความต้านทานแรงกดลดลงเป็น 600.42 นิวตัน และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยมากขึ้น ซึ่งให้ผลเป็นไปในลักษณะเดียวกับค่าความ

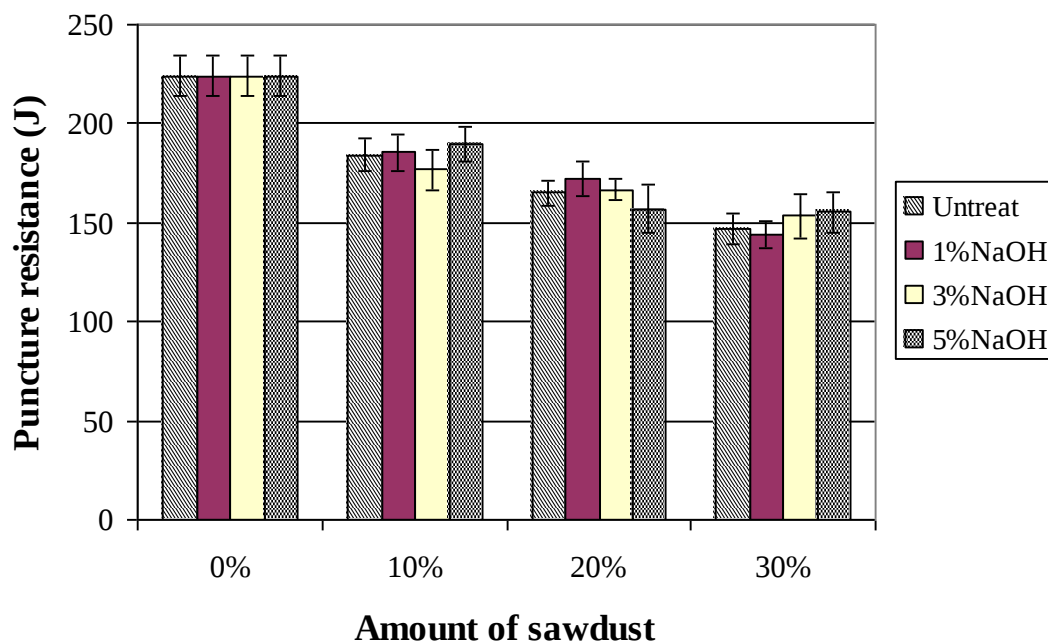


(A)

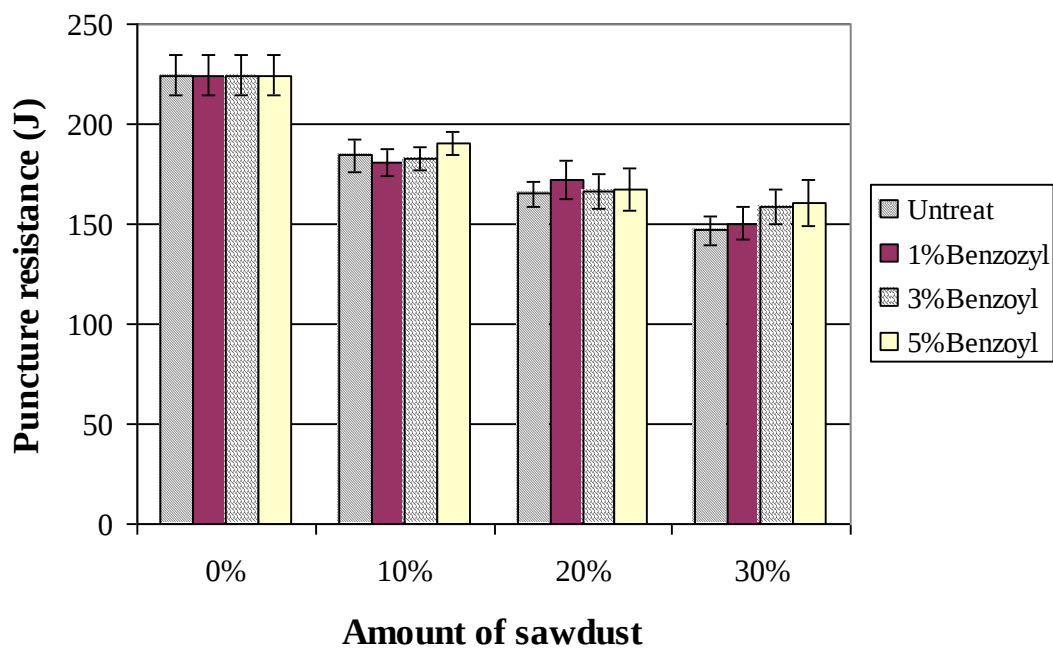


(B)

ภาพที่ 25 ค่าความต้านทานแรงกดของโฟมแป้งผสมน้ำยางขึ้นและแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 ที่เติมขี้เลื่อยซึ่งปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ ขี้เลื่อยที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ในปริมาณที่แตกต่างกัน

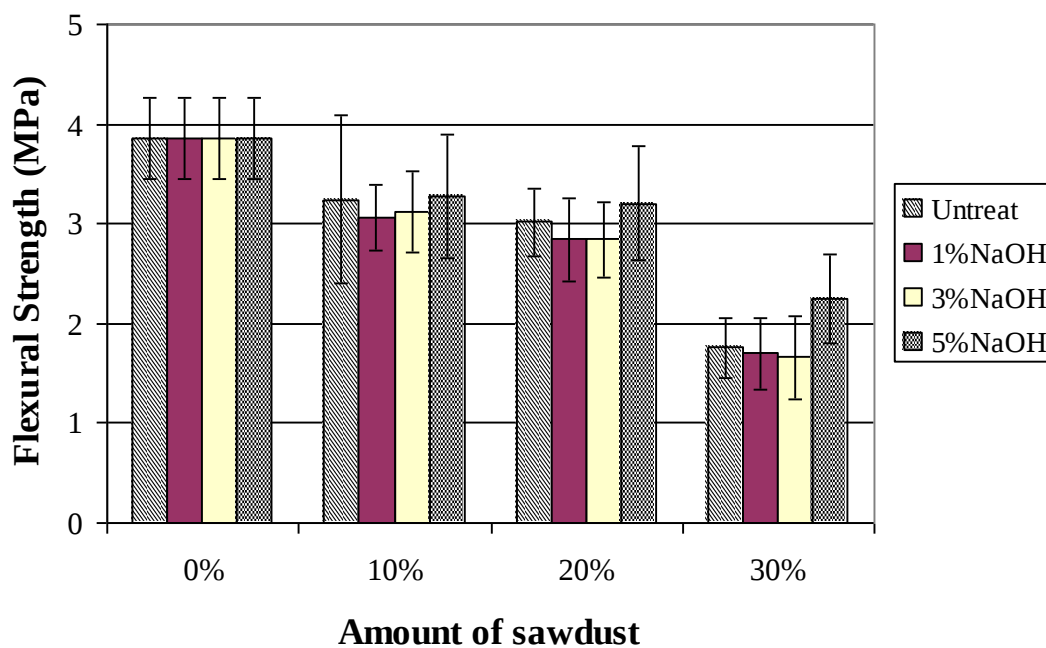


(A)

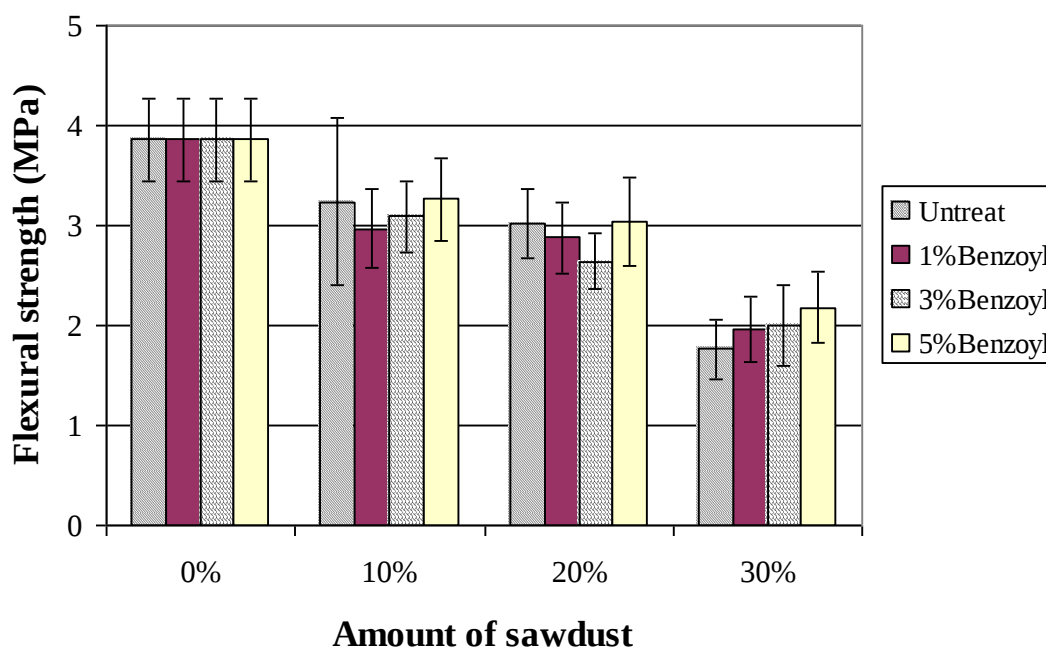


(B)

ภาพที่ 26 ค่าความต้านทานแรงที่มทะลุของโฟมแป้งผสมน้ำยางขึ้นและเคลือบคาร์บอนทร้อยละ 10 ที่เติมขี้เลื่อยซึ่งปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ ขี้เลื่อยที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ในปริมาณที่แตกต่างกัน

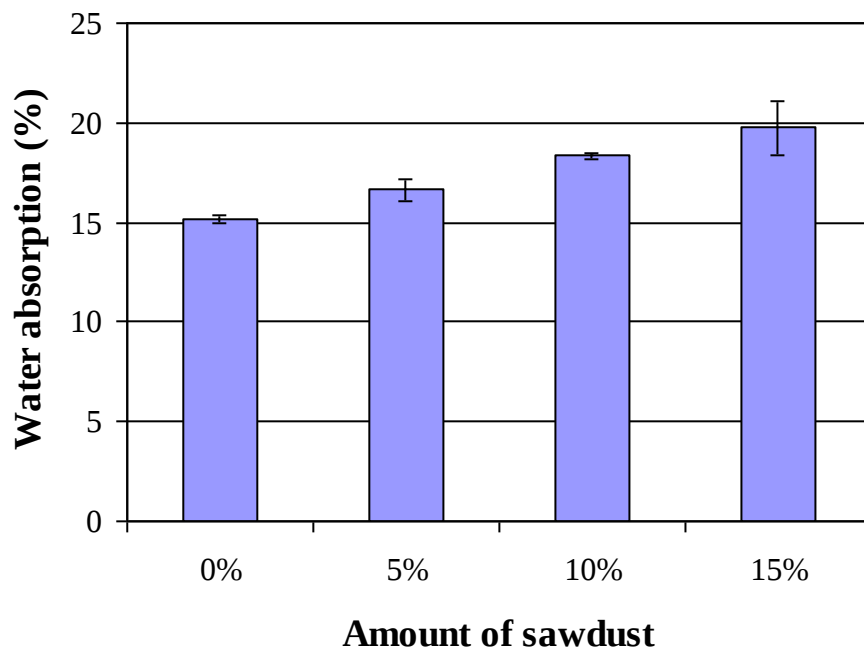


(A)

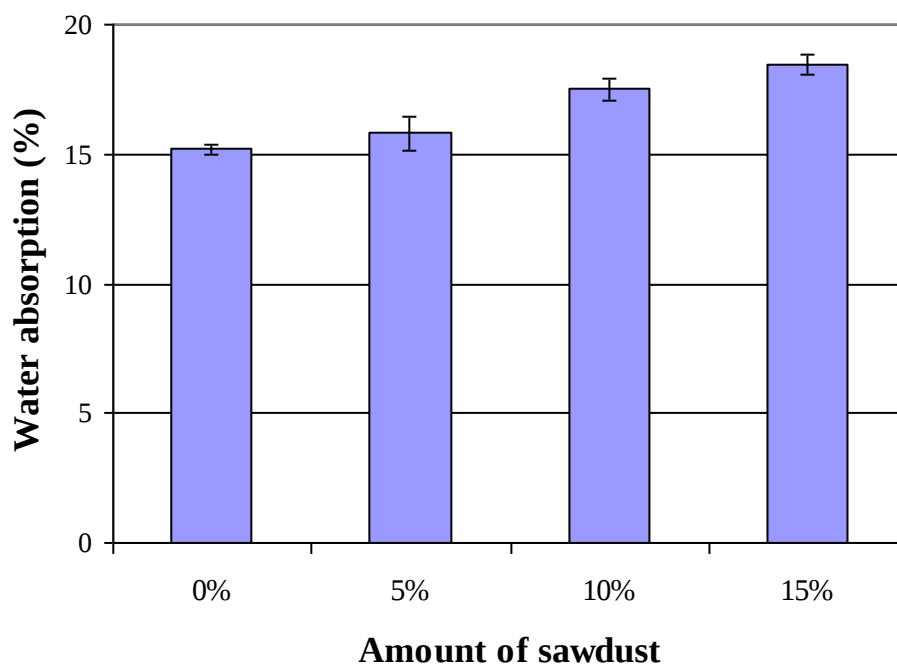


(B)

ภาพที่ 27 ค่าความต้านทานแรงโค้งงอของโฟมเป่าผสมน้ำยางข้นและแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 ที่เติมขี้เลื่อยซึ่งปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ ขี้เลื่อยที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ในปริมาณที่แตกต่างกัน



(A)



(B)

ภาพที่ 28 ความสามารถในการดูดซับน้ำของโฟมแป้งผสมน้ำยางข้นและแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 ที่เติมขี้เลื่อยซึ่งปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ ขี้เลื่อยที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ในปริมาณที่แตกต่างกัน

ด้านทานแรงที่ม้ทะเลและค่าความต้านทานการโค้งงอของโฟมแข็ง คือ เมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยจะทำให้ค่าความแข็งแรงของโฟมแข็งมีค่าลดลง

นอกจากนี้ยังพบว่า ขี้เลื่อยปกติและขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายผสมระหว่างเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์และโทลูอินทุกระดับความเข้มข้นจะให้ค่าความต้านทานแรงกด ค่าความต้านทานแรงที่ม้ทะเลและค่าความต้านทานแรงโค้งงอของโฟมไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2.5 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโฟมแข็งด้วยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน

การศึกษาหาสภาวะการกดอัดด้วยความร้อนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโฟมแข็งผสมน้ำยางที่มีสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเชื่อมประสานซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตและขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติม พบว่า ที่ระยะเวลาต่ำกว่า 5 นาที ไม่สามารถขึ้นรูปโฟมแข็งได้ ดังนั้น ระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟมแข็งสำหรับการทดลองนี้ คือ 5 นาที โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโฟมแข็งทั้งที่มีการเติมขี้เลื่อยและไม่มีการเติมขี้เลื่อย คือ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่า 170 องศาเซลเซียส โฟมแข็งที่ได้จะมีสีคล้ำเนื่องจากรอยไหม้ทำให้ลักษณะปรากฏที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับ จึงสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโฟมแข็งผสมน้ำยางที่มีสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเชื่อมประสานซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตและขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติม ควรใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

ตอนที่ 3 การผลิตขี้เลื่อยขึ้นรูปโดยมีกาวแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราเป็นสารเชื่อมประสาน

การผลิตขี้เลื่อยขึ้นรูปโดยมีกาวแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราเป็นสารเชื่อมประสานจะแตกต่างจากการผลิตโฟมแข็งผสมน้ำยางขึ้นที่มีการเติมขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรงทั้งนี้เพราะการผลิตขี้เลื่อยขึ้นรูปจะใช้ขี้เลื่อยเป็นหลักโดยมีกาวแป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเชื่อมประสานและมีน้ำยางพาราช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติในการต้านทานน้ำของขี้เลื่อยขึ้นรูป

3.1 การขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกจากขี้เลื่อย กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลัง

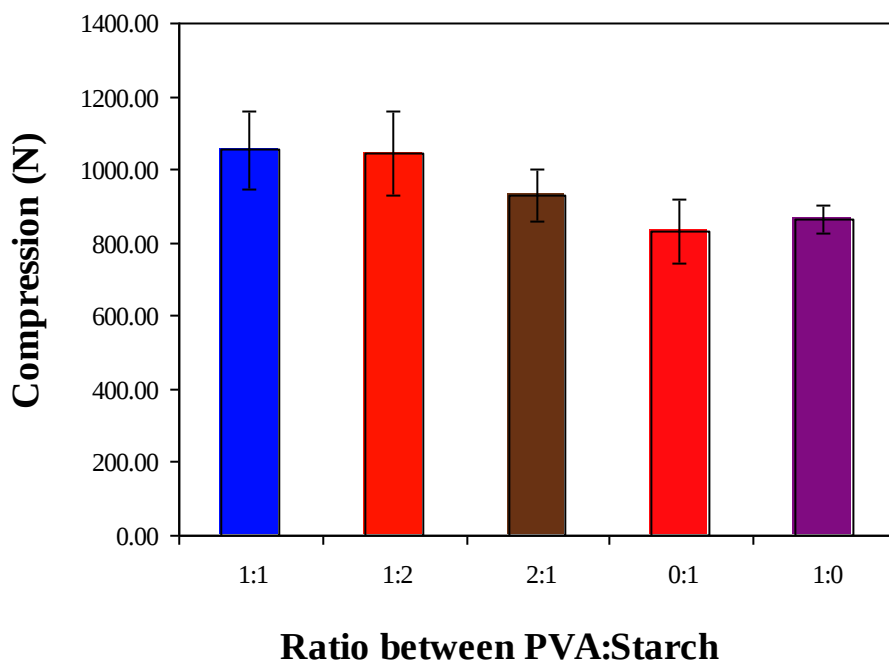
จากการทดลองตอนที่ 1 พบว่า ขนาดของขี้เลื่อยที่เหมาะสมในการผลิตขี้เลื่อยขึ้นรูปโดยมีกาวแป้งมันสำปะหลัง เป็นสารเชื่อมประสาน คือ 0.841-2.000 มิลลิเมตร ซึ่งการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกจากขี้เลื่อยโดยใช้อัตราส่วนของขี้เลื่อยต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 โดยใช้กาวแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 15 เป็นสารเชื่อมประสานพบว่า ขี้เลื่อยขึ้นรูปที่ให้ค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรง

ที่มีทะเลสูงสุด คือ ขี้เลื่อยขึ้นรูปที่มีอัตราส่วนของขี้เลื่อยต่อกากแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 70:30 จึงเลือกอัตราส่วนนี้ในการทดลองต่อไป

3.1.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากผสมระหว่างกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกากแป้งมันสำปะหลัง

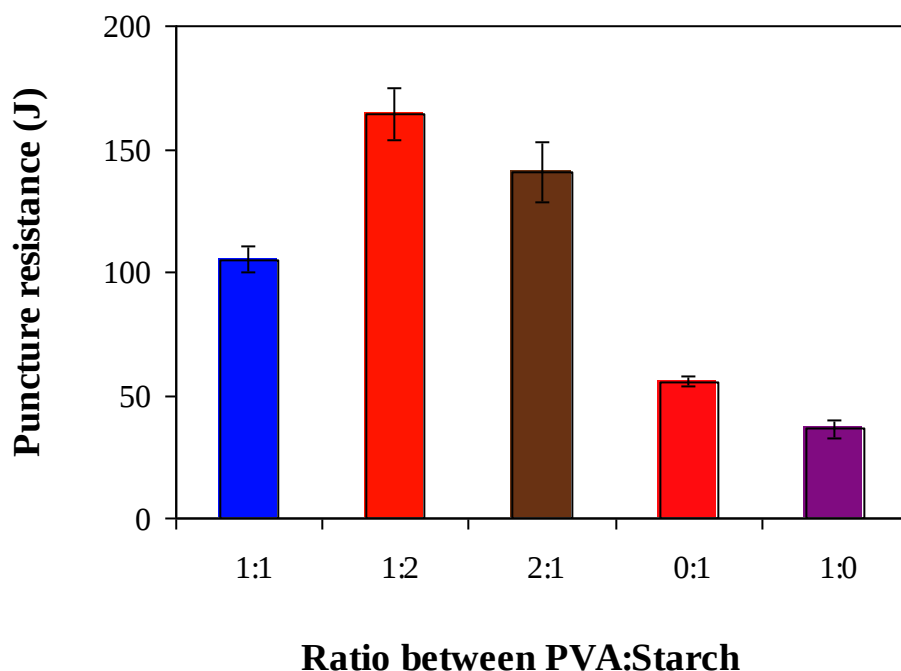
สารเชื่อมประสานที่ใช้ในการทดลองนี้จะผลิตจากกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกากแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 15 ดังนั้นจึงต้องมีการหาอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมของกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกากแป้งมันสำปะหลังเพื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปขี้เลื่อย จากการศึกษาอัตราส่วนของสารเชื่อมประสานระหว่างกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อกากแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:0 1:1 2:1 1:2 และ 0:1 พบว่า วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากขี้เลื่อยขึ้นรูปโดยมีกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกากแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:0 1:1 2:1 1:2 และ 0:1 จะให้ค่าการต้านทานแรงกดเท่ากับ 863.33 1053.35 929.6 1044.98 และ 832.67 นิวตัน ตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 29) จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานแรงกดของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตซึ่งได้จากการผสมกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกากแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:1 จะให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงที่สุด แต่เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่า วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากกากผสมในอัตราส่วนของกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อกากแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 1:1 และ 1:2 นั้น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขณะที่อัตราส่วนกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อกากแป้งมันสำปะหลัง 1:0 2:1 และ 0:1 จะมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่อัตราส่วนกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อกากแป้งมันสำปะหลังที่ 1:1 และ 1:2 นั้นมีส่วนของกากแป้งมันสำปะหลังมากกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ อีกทั้งเมื่อผสมกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกากแป้งมันสำปะหลังพบว่า กากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่สามารถจับกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของกากแป้งมันสำปะหลังและเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยส่วนที่ช่วยสร้างความแข็งแรงของกากผสมคือส่วนที่เป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกากแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีสายพันธะของกากแป้งมันสำปะหลังเป็นสายโซ่หลัก และมีสายพันธะของกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสายโซ่รอง ดังนั้นถ้ามีอัตราส่วนของกากแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นก็สามารถที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากขึ้นจึงทำให้เกิดความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่ที่อัตราส่วนกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อกากแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 1:0 และ 0:1 นั้นมีแต่ส่วนของกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และส่วนของกากแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวจึงไม่มีส่วนที่ช่วยสร้างความแข็งแรงภายใน วัสดุกันกระแทกจึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าอัตราส่วนของกากซึ่งมีส่วนที่ช่วยสร้างความแข็งแรงภายนอกที่เกิดพันธะไฮโดรเจน และที่อัตราส่วนของกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อกากแป้งมันสำปะหลัง 2:1 นั้นมีส่วนของกากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากกว่า จึงมีส่วนที่เกิดพันธะไฮโดรเจนได้น้อยทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่าที่อัตราส่วนกาก 1:1

และ 1:2 ซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนสูง กล่าวคือวัสดุกันกระแทกที่มีส่วนประกอบของกาวแป้งมากนั้น จะทำให้วัสดุกันกระแทกมีค่าความต้านทานแรงกดสูง



ภาพที่ 29 ผลของอัตราส่วนระหว่างกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งต่อค่าความต้านทานแรงกด

เมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุกันกระแทกที่มีกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกาวแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุเชื่อมประสานที่อัตราส่วนกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ต่อกาวแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 1:0 1:1 2:1 1:2 และ 0:1 พบว่า วัสดุกันกระแทกจะมีค่าการด้านการทิ่มทะลุเท่ากับ 3.64 10.51 11.10 12.40 และ 5.55 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 30) จะเห็นได้ว่าการด้านการทิ่มทะลุของบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ผลิตจากกาวต่อเชื้อในอัตราส่วน 70:30 ซึ่งได้จากการผสมกาว พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกาวแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:2 จะให้การด้านการทิ่มทะลุสูงที่สุด เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของผลการทดสอบการด้านการทิ่มทะลุของวัสดุกันกระแทกของกาวแต่ละชนิด พบว่า วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากอัตราส่วนกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ต่อกาวแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 1:0 1:1 2:1 1:2 และ 0:1 นั้นมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่อัตราส่วนกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อกาวแป้งที่ 1:2 เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี เนื่องจากค่าการด้านการทิ่มทะลุนั้นจะเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการผสานตัวของเส้นใยภายในบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ดี



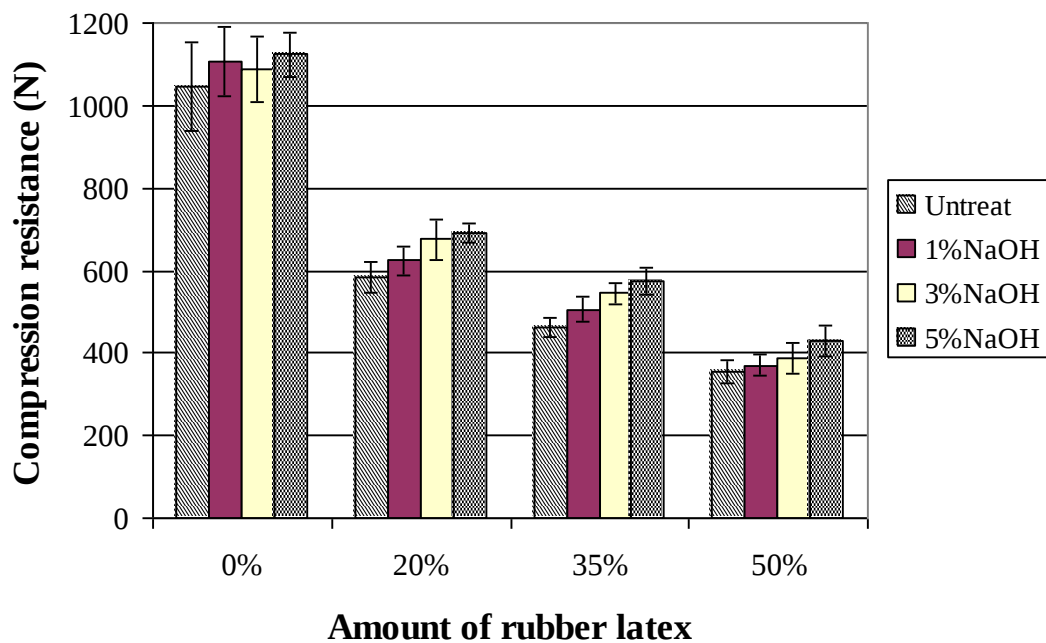
ภาพที่ 30 ผลของอัตราส่วนระหว่างกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งต่อค่าการต้านการทิ่มทะลุ

3.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเติมน้ำยางข้นลงในซีลี้อยู่ขึ้นรูป

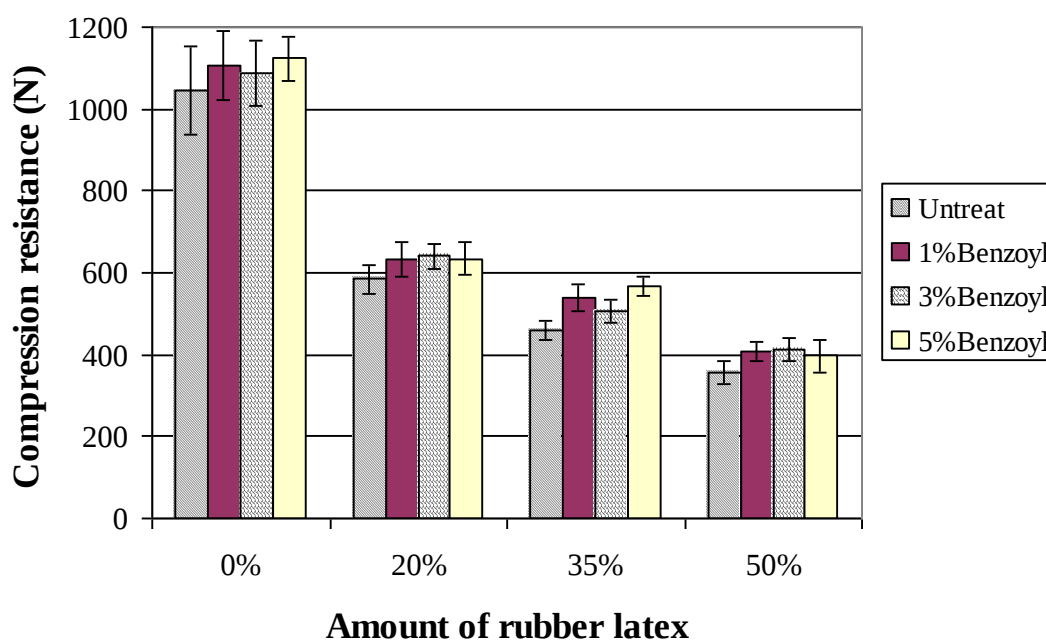
จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า การขึ้นรูปซีลี้อยู่ควรใช้อัตราส่วนของซีลี้อยู่ต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 70:30 โดยสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมควรเป็นกาวผสมระหว่างกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:2 ซึ่งจากการทดลองขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกจากซีลี้อยู่ กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลัง โดยเติมน้ำยางข้นปริมาณต่างๆลงในสูตร ซึ่งการทดลองใน ตอนนี้จะใช้ซีลี้อยู่ปกติและซีลี้อยู่ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายผสมระหว่างเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์และโทลูอีน ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 3 และ 5 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรับแรงกดและความสามารถในการต้านทานแรงทิ่มทะลุของซีลี้อยู่ขึ้นรูปมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน แม้ว่าจะมีการปรับสภาพผิวของซีลี้อยู่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายผสมระหว่างเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์และโทลูอีน ซึ่งการเติมน้ำยางในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักกาว จะให้คุณภาพของซีลี้อยู่ขึ้นรูปที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับซีลี้อยู่ขึ้นรูปที่มีปริมาณน้ำยางร้อยละ 35 และร้อยละ 50 ของน้ำหนักกาว

นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับสภาพผิวของขี้เถ้าจะช่วยทำให้ขี้เถ้ามีคุณภาพในการขึ้นรูปที่ดีขึ้น โดยเฉพาะการขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกที่มีน้ำยางเป็นองค์ประกอบ จากการทดลองพบว่า ขี้เถ้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เมื่อนำมาขึ้นรูปโดยมีน้ำยางเป็นองค์ประกอบจะให้คุณภาพของวัสดุกันกระแทกที่มีความต้านทานแรงกดและความต้านทานแรงที่มทะเลดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากขี้เถ้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานแรงกดและแรงที่มทะเลของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากขี้เถ้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายผสมระหว่างเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์และโทลูอิน พบว่า การปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะให้คุณภาพของวัสดุกันกระแทกที่มีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากขี้เถ้าซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายผสมระหว่างเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์และโทลูอิน (แสดงดังภาพที่ 31-33)

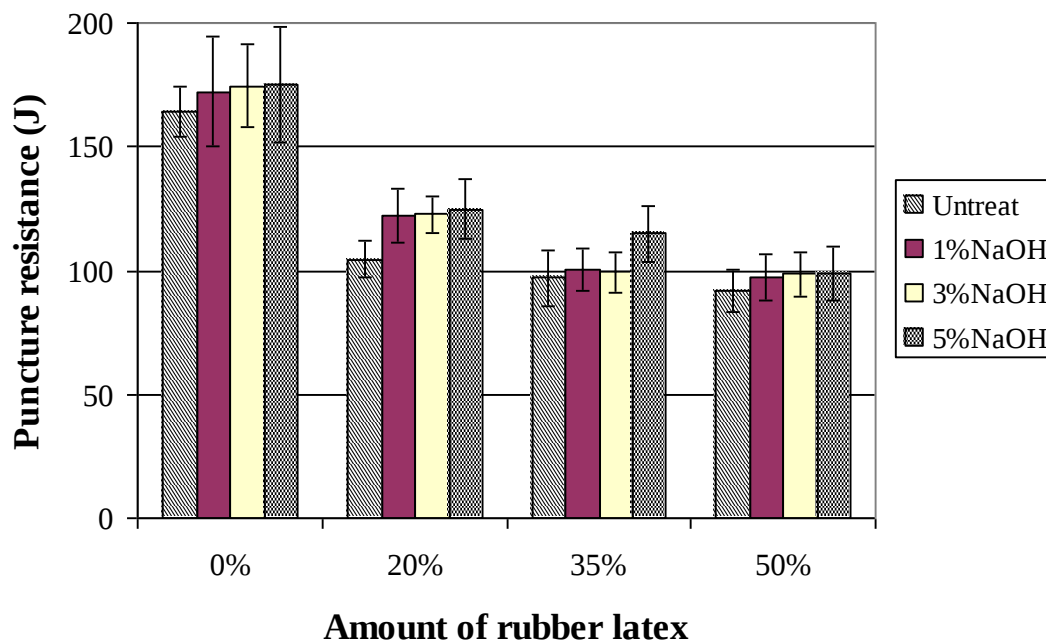


(A)

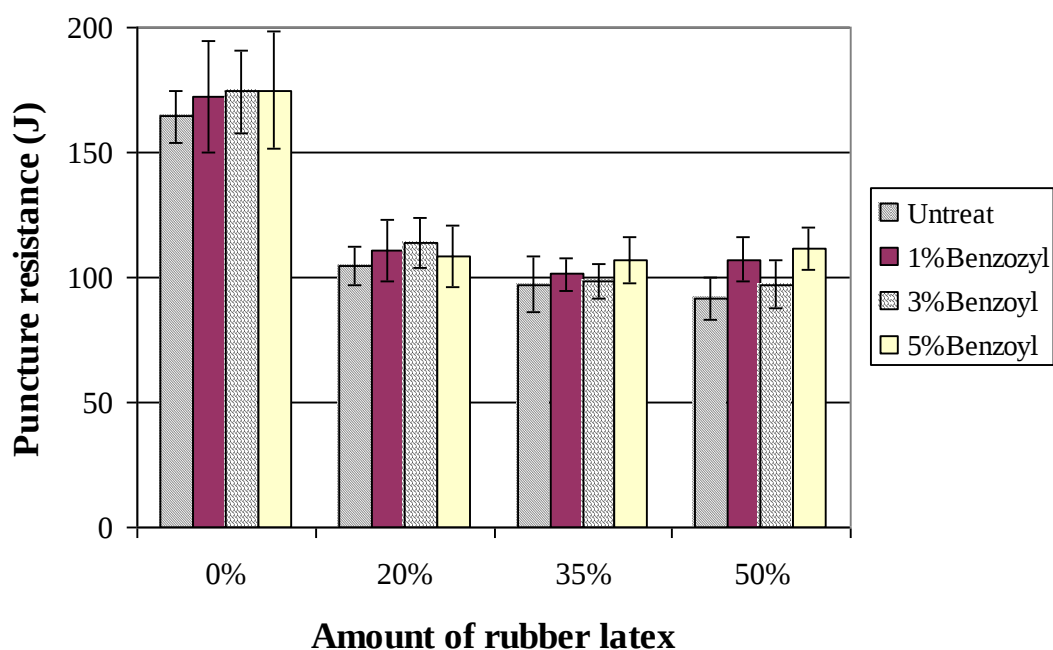


(B)

ภาพที่ 31 ค่าความต้านทานแรงกดของจีเลื่อยขึ้นรูปที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ จีเลื่อยที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B)ที่มีการเติมน้ำยางชั้นใน ปริมาณที่แตกต่างกัน

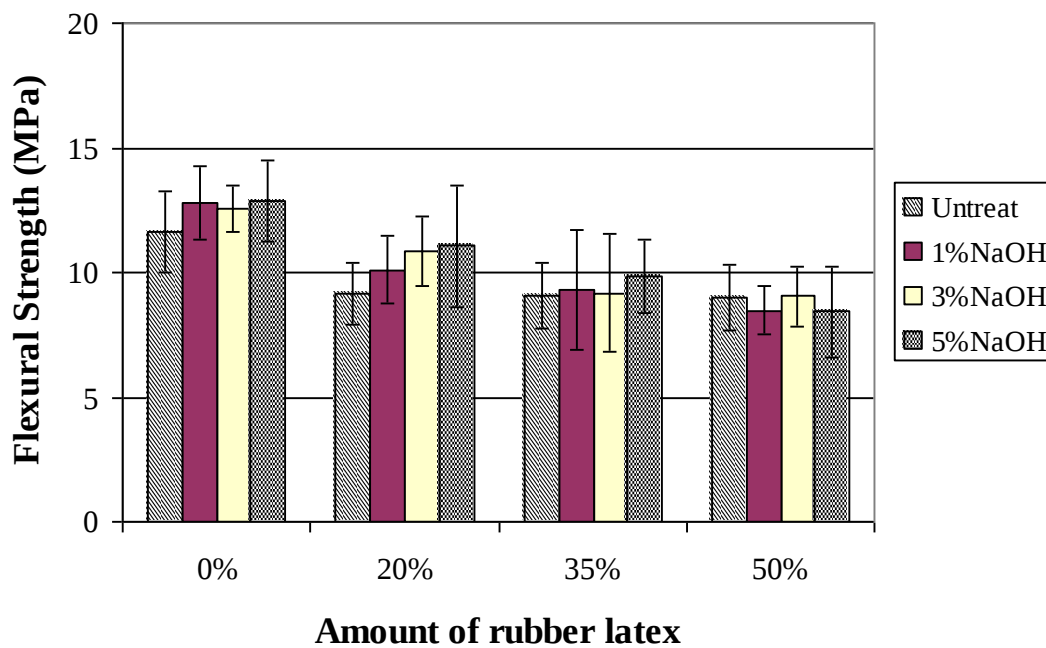


(A)

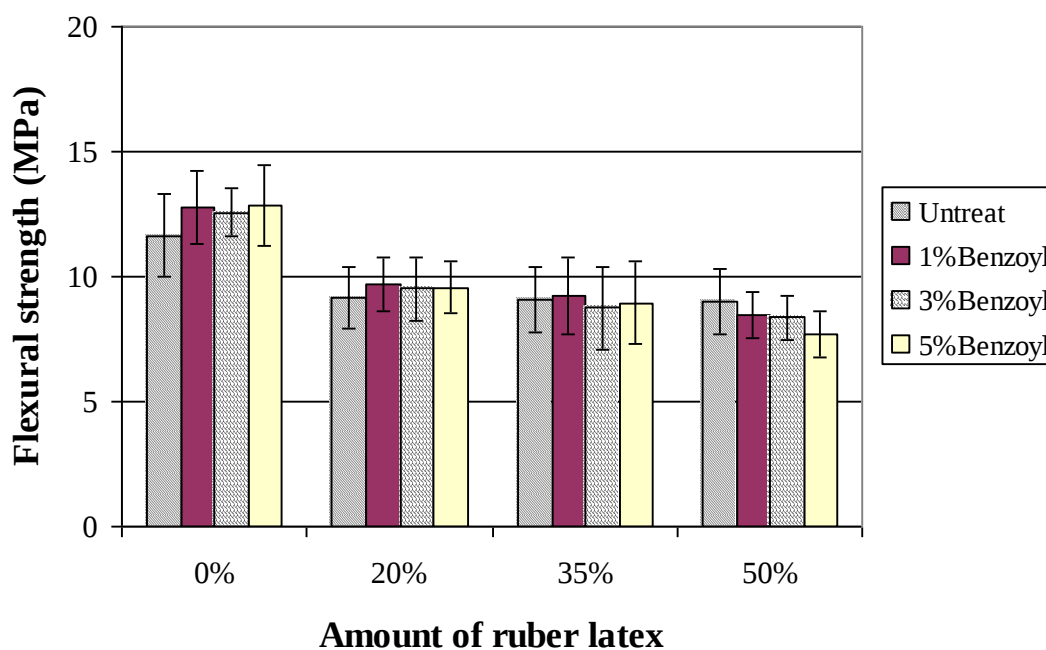


(B)

ภาพที่ 32 ค่าความต้านทานแรงที่ทะลุของซีลี้อยู่ในรูปแบบที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ ซีลี้อยู่ที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B) ที่มีการเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกันที่มีการเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณต่างๆ



(A)



(B)

ภาพที่ 33 ค่าความต้านทานแรงโค้งงอของขี้เลื่อยขึ้นรูปที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A) และ ขี้เลื่อยที่ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Benzoylation (B)ที่มีการเติมน้ำยางชั้นในปริมาณที่แตกต่างกัน

3.3 การศึกษาหาสภาวะในการขึ้นรูปจีล้อยโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน

การศึกษาหาสภาวะการกดอัดด้วยความร้อนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปจีล้อยที่มีกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลังเป็นสารเชื่อมประสานโดยมีน้ำยางขึ้นเป็นสารช่วยปรับปรุงสมบัติของวัสดุกันกระแทก พบว่า ที่ระยะเวลาต่ำกว่า 5 นาที ไม่สามารถขึ้นรูปจีล้อยได้ ดังนั้นระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปจีล้อยสำหรับการทดลองนี้ คือ 5 นาที โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปจีล้อยซึ่งมีการเติมน้ำยาง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลังเป็นสารเชื่อมประสาน คือ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส จีล้อยขึ้นรูปที่ได้จะมีสีคล้ำเนื่องจากรอยไหม้ทำให้ลักษณะปรากฏที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับ จึงสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปจีล้อยที่มีการเติมน้ำยาง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลัง ควรใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

3.4 การศึกษาการเคลือบผิววัสดุเชิงประกอบจีล้อยขึ้นรูปด้วยน้ำยางดัดแปร

การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า จีล้อยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกด้วยกาวผสมระหว่างกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:2 จะให้สมบัติในการต้านทานแรงกด การต้านทานแรงที่มทะลุและค่า ความต้านทานแรงโค้งงอดีที่สุด จึงเลือกสภาวะการผลิตนี้มาใช้ในการเคลือบผิววัสดุด้วยน้ำยางดัดแปรเพื่อเพิ่มความสามารถในการปกป้องผลิตภัณฑ์ในการผลิตเป็นวัสดุกันกระแทกซึ่งจากการศึกษาการเคลือบผิวของวัสดุเชิงประกอบจีล้อยขึ้นรูปด้วยน้ำยางดัดแปรพบว่า ตัวอย่างแผ่นจีล้อยขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรจะมีลักษณะปรากฏแสดงดังภาพที่ 34 ซึ่งผิวสัมผัสของตัวอย่างแผ่นจีล้อยขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรจะมีลักษณะยืดหยุ่นและนิ่ม นอกจากนี้ตัวอย่างแผ่นจีล้อยขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรจะมีลักษณะเรียบ และโปร่งแสงสามารถมองเห็นเนื้อวัสดุภายในได้



ภาพที่ 34 ลักษณะของจีล้อยขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปร

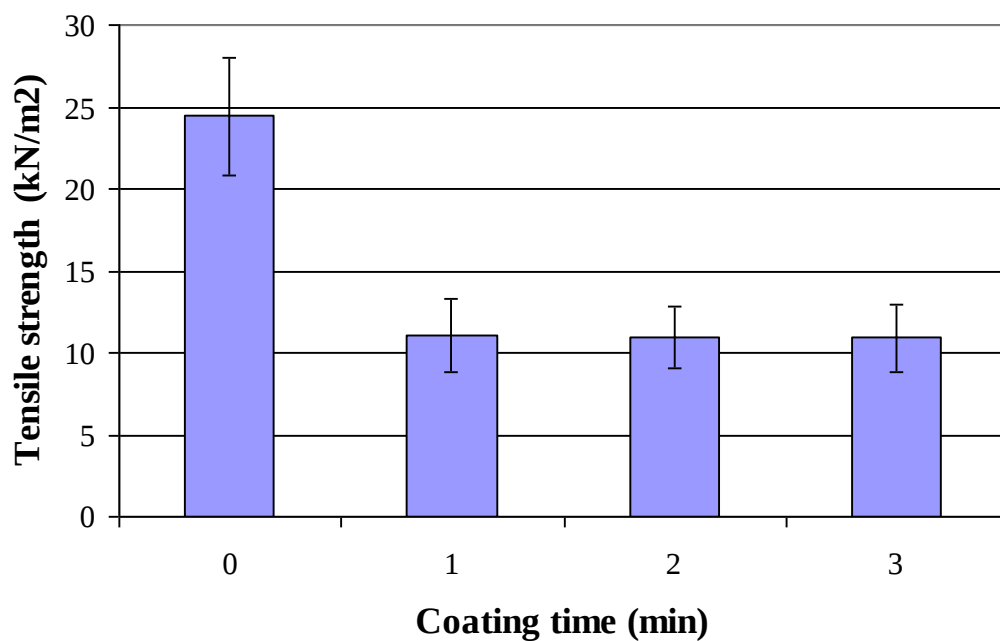
3.5 สมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปร

สมบัติทางกลของตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปร เช่น ความต้านทานแรงดึง (ASTM D3039) ระยะยืดและความต้านทานแรงดันทะลุ (ASTM D 774-67) จะแสดงดังภาพที่ 35-37 ตามลำดับ

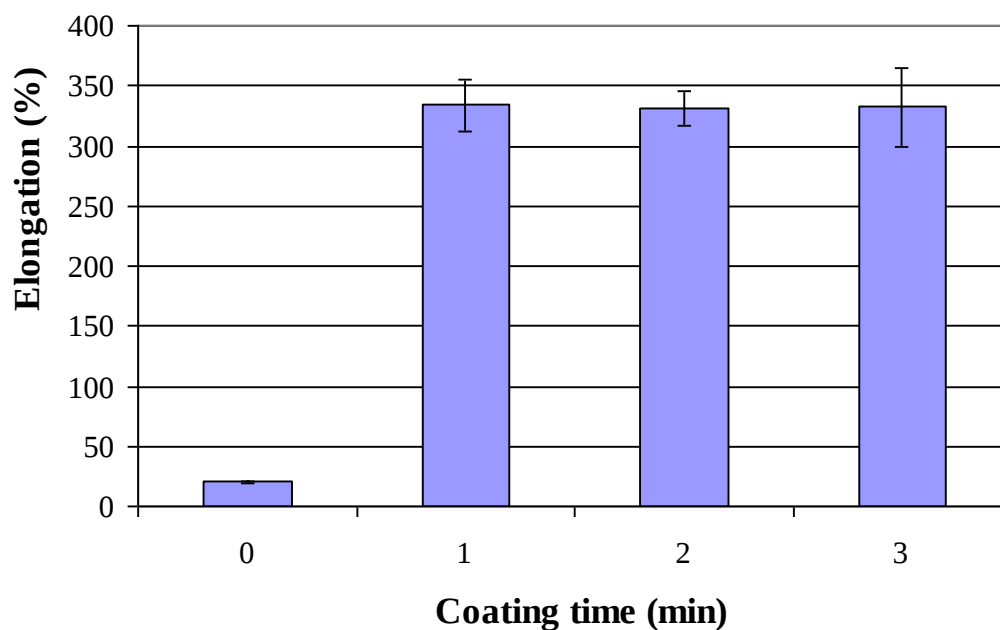
ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรที่ระยะเวลาในการเคลือบแตกต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าตั้งแต่ 10.91-11.08 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (แสดงดัง ภาพที่ 35) แต่จะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ผ่านการเคลือบ เนื่องจากแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปดูดซับน้ำที่อยู่ในน้ำยางดัดแปรซึ่งผลิตจากน้ำยางธรรมชาติแม้ว่าจะนำแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปไปผ่านการอบให้แห้งแต่แผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรยังมีความชื้นสูงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างมีค่าน้อย ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปว่า น้ำยางดัดแปรที่มีระยะเวลาในการเคลือบที่ต่างกันจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

ในทางกลับกันระยะยืดของตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรโดยมีระยะเวลาในการเคลือบที่ต่างกันจะมีค่าสูงกว่าระยะยืดของตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปชุดควบคุม เนื่องจากน้ำยางดัดแปรได้เพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นให้กับตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูป อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรซึ่งมีระยะเวลาในการเคลือบที่ต่างกันจะให้ระยะยืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$) สำหรับค่าความต้านทานแรงดันทะลุของตัวอย่างเยื่อแผ่นขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างแผ่นจี๋เลื่อยขึ้นรูปชุดควบคุมจะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \geq 0.05$)

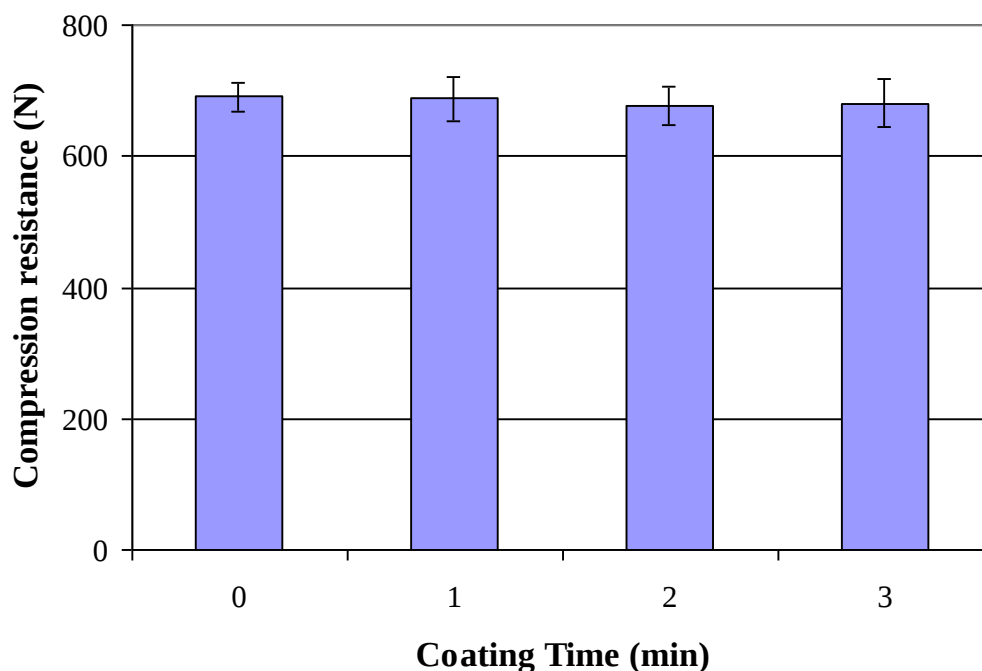
จากการทดลองเคลือบผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปด้วยน้ำยางดัดแปร โดยวิธีการจุ่ม (Dipping) พบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่จุ่มลงในน้ำยางดัดแปรเป็นเวลา 1 นาที จะมีความหนาเพิ่มขึ้นประมาณ 1 มิลลิเมตร และมีค่าความต้านแรงกดเท่ากับ 687.56 นิวตัน นอกจากนี้การทดสอบค่าความต้านแรงกดยังแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจะไม่เกิดการฉีกขาดระหว่างการวัดค่าความต้านทานแรงกดของตัวอย่างซึ่งเป็นสมบัติที่ดีที่สามารถนำผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปกลับมาใช้งานซ้ำใหม่ได้



ภาพที่ 35 ค่าความแข็งแรงดึงของแผ่นซีเมนต์ขึ้นรูปที่เคลือบผิวด้วยน้ำยางคัดแปรที่ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 36 ค่าระยะยืดเมื่อขาดของแผ่นซีเมนต์ขึ้นรูปที่เคลือบผิวด้วยน้ำยางคัดแปรที่ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 37 ค่าความต้านทานแรงกดของแผ่นจี้อยู่ขึ้นรูปที่เคลือบผิวด้วยน้ำยางคัดแปรที่ระยะเวลาต่างๆ

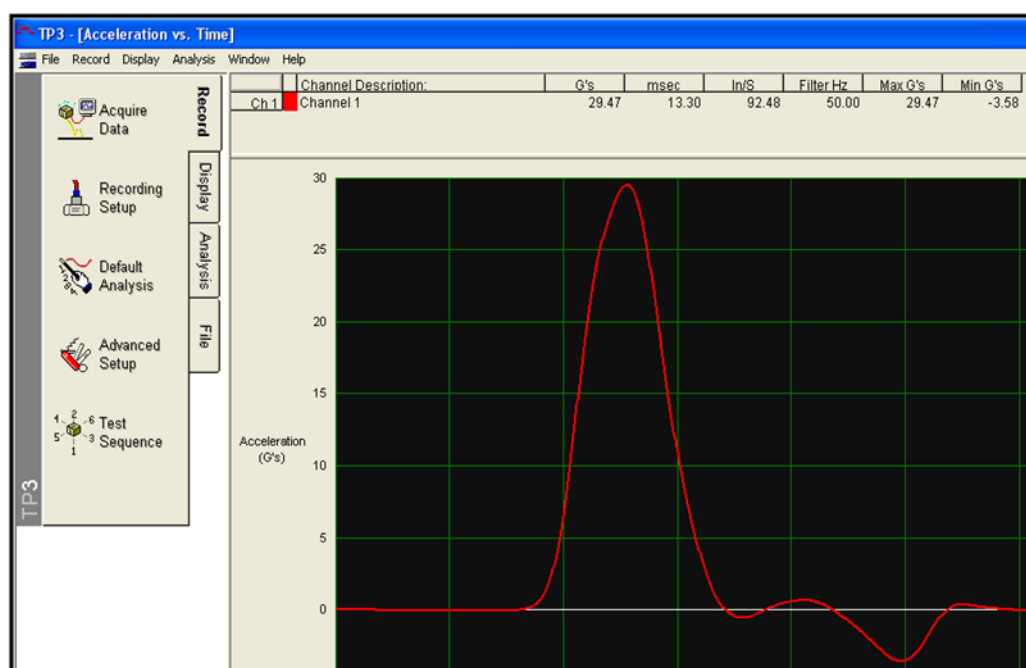
3.6 การทดสอบสมบัติทางกลด้วยการวัดค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกและค่าการดูดซับพลังงานของตัวอย่างผลิตภัณฑ์จี้อยู่ขึ้นรูปชนิดต่างๆ

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์จี้อยู่ขึ้นรูปชนิดต่างๆ ได้แก่ ตัวอย่างโฟมแข็งมันสำปะหลังที่ใส่จี้อยู่เป็นสารเสริมแรง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จี้อยู่ขึ้นรูปที่ไม่เคลือบน้ำยางและตัวอย่างผลิตภัณฑ์จี้อยู่ขึ้นรูปที่เคลือบน้ำยางคัดแปรมาวัดค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (ค่า G) (ดัดแปลงจากมาตรฐานการทดสอบ **ASTM D3332**) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 11 และ ภาพที่ 38 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ค่า G ของวัสดุกันกระแทกประเภทต่างๆ

ตัวอย่าง	ความสูง (นิ้ว)	ค่า G	ลักษณะปรากฏ
โฟมแข็งผสมจี้อยู่	15	33.88 ± 0.57	เปลือกไข่ไม่แตก
จี้อยู่ขึ้นรูป	15	40.63 ± 2.26	เปลือกไข่แตก
จี้อยู่ขึ้นรูปเคลือบน้ำยางคัดแปร	15	30.87 ± 1.50	เปลือกไข่ไม่แตก

จากผลการทดลองหาค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (ค่า G) ของผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดต่างๆ พบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรมีค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกน้อยที่สุด คือ 30.87 ซึ่งค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกที่มีค่าน้อยนี้เป็นลักษณะของวัสดุกันกระแทกที่ดี ในขณะที่ส่วนของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรมีค่าความแข็งแรงต่อการตกกระแทกสูงที่สุด คือ 40.63 และเป็นผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดเดียวที่มีไข่ไก่ดิบซึ่งบรรจุอยู่แตกเสียหาย



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่ง (acceleration) และระยะเวลาในการตก (shock duration) ของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากไข่เยื่อขึ้นรูปเคลือบด้วยน้ำยางดัดแปร

จากการหาค่าการดูดซับพลังงานโดยวัดพลังงานศักย์โน้มถ่วง (ASTM D 1709) ที่ทำให้ไข่ไก่ดิบที่บรรจุอยู่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปชนิดต่างๆ แตกเสียหาย สามารถแสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าพลังงานการกระแทก (Gravitational potential energy) ของผลิตภัณฑ์กันกระแทกประเภทต่างๆ

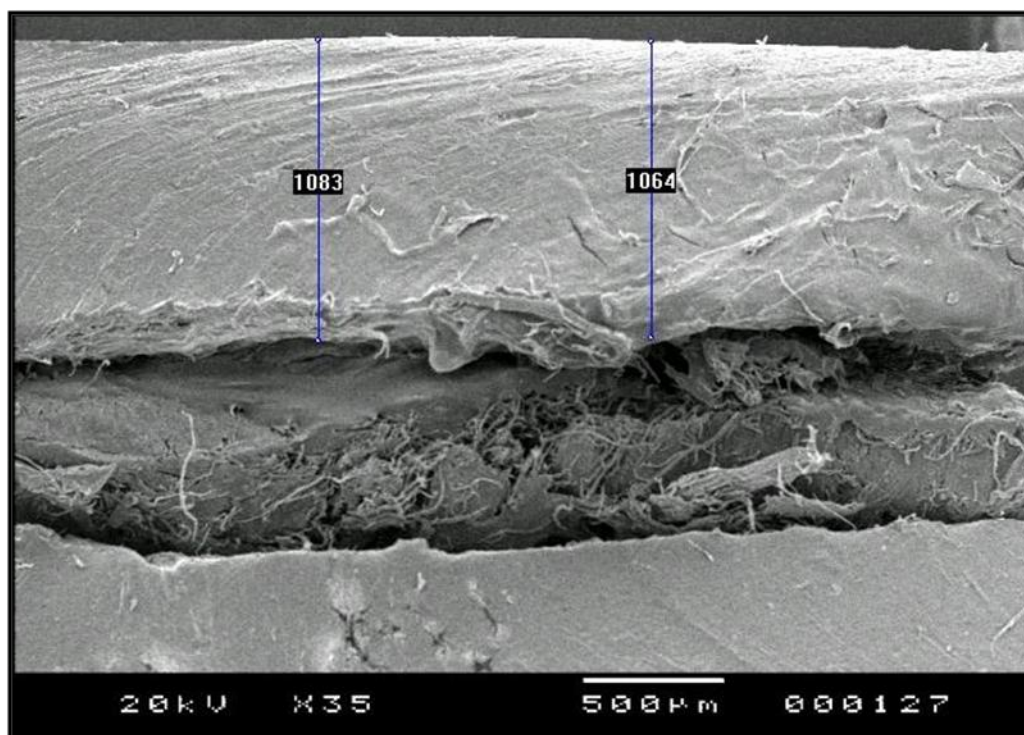
ตัวอย่าง	ความสูง (นิ้ว)	ครั้งที่	พลังงานการกระแทก (จูล)	ลักษณะปรากฏ
จีเลื่อยขึ้นรูป	18	1	2.240	เปลือกไข่ไม่แตก
		2		
		3		
	24	1	2.987	เปลือกไข่ไม่แตก.
		2		
		3		
	28	1	3.485	เปลือกไข่ไม่แตก
		2		
		3		
	29	1	3.610	เปลือกไข่ร้าว
		2		
		3		
	30	1	3.734	เปลือกไข่แตก
		2		
		3		

ตารางที่ 12 ค่าพลังงานการกระแทก (Gravitational potential energy) ของผลิตภัณฑ์กันกระแทกประเภทต่างๆ (ต่อ)

โฟมเป่าผสมจีลีส้อย	30	1		
		2	3.734	เปลือกไข่ไม่แตก
		3		
	32	1		
		2	3.982	เปลือกไข่ไม่แตก
		3		
	33	1		
		2	4.107	เปลือกไข่ร้าว
		3		
จีลีส้อยขึ้นรูปเคลือบน้ำ ยางคัตแปร์	34	1		
		2	4.231	เปลือกไข่แตก
		3		
	40	1		
		2	4.978	เปลือกไข่ไม่แตก
		3		
	46	1		
		2	5.725	เปลือกไข่ไม่แตก
		3		
	50	1		
		2	6.223	เปลือกไข่ร้าว
		3		
	51	1		
		2	6.347	เปลือกไข่ร้าว
		3		
	52	1		
		2	6.472	เปลือกไข่แตก
		3		

จากผลการทดลองในตารางที่ 12 พบว่า ค่าการดูดซับพลังงานของตัวอย่างผลิตภัณฑ์กันกระแทกชนิดต่างๆ ที่อยู่ในรูปพลังงานศักย์โน้มถ่วงนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามระดับความสูงที่ใช้ในการทดสอบ โดยจากผลการทดสอบหาค่าการดูดซับพลังงานซึ่งพิจารณาค่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ทำให้ไข่ไก่ดิบที่บรรจุอยู่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นรูปชนิดต่างๆ แตกเสียหาย พบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรจะมีค่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ทำให้ไข่ไก่ดิบที่บรรจุอยู่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์แตกเสียหายมากที่สุด คือ 6.472 จูล หมายความว่าผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงขึ้นรูปชนิดนี้ดูดซับพลังงานได้มากซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุกันกระแทกที่ดี

การศึกษาลักษณะการเคลือบบนผิวหน้าของแผ่นซีลเปลี่ยนแปลงขึ้นรูปด้วยน้ำยางดัดแปร (ภาพที่ 39) พบว่า ลักษณะชั้นเคลือบของน้ำยางดัดแปรจะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มของน้ำยางหุ้มแผ่นซีลเปลี่ยนแปลงขึ้นรูปไว้ตรงกลางโดยไม่ได้สร้างพันธะกับชั้นของแผ่นซีลทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นแผ่นซีลเคลือบกับชั้นของน้ำยางดัดแปรที่เปรียบเสมือนเป็นถุงลมซึ่งช่วยในการรับแรงกระแทกและดูดซับพลังงานที่ดี อีกทั้ง น้ำยางดัดแปรสามารถลอกออกจากแผ่นซีลได้ง่าย เนื่องจากน้ำยางดัดแปรจะไม่ซึมเข้าไปยังผิวหน้าของชั้นซีล



ภาพที่ 39 ลักษณะของซีลเปลี่ยนแปลงขึ้นรูปที่เคลือบด้วยน้ำยางดัดแปรเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 35X

บทที่ 4

สรุป

จีเลื้อยจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากการผลิตของเล่นเด็กสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าด้วยการแปรรูปเป็นวัสดุกันกระแทก โดยองค์ประกอบพื้นฐานของวัสดุกันกระแทกจะประกอบด้วยจีเลื้อย แป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำยางพารา แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน ซึ่งจะแบ่งวัสดุกันกระแทกออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) โฟมแข็งที่มีองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง น้ำยางพาราและกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยมีจีเลื้อยเป็นสารเสริมแรง (2) จีเลื้อยขึ้นรูปที่มีกาวแป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำยางพาราเป็นสารช่วยประสานและ (3) จีเลื้อยขึ้นรูปที่มีกาวแป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำยางธรรมชาติเป็นสารช่วยประสานโดยเคลือบผิววัสดุกันกระแทกด้วยน้ำยางดัดแปร จากการทดลองพบว่า

1. ขนาดของจีเลื้อยที่เหมาะสมในการนำมาใช้ขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกควรมีขนาดประมาณ 0.841 – 2.000 มิลลิเมตร โดยมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ เซลลูโลส ร้อยละ 54.93 ลิคินิน ร้อยละ 12.34 เถ้า ร้อยละ 1.82 และความชื้น ร้อยละ 6.78 ทั้งนี้จีเลื้อยที่นำมาขึ้นรูปด้วยกาวแป้งมันสำปะหลังจะมีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 8.31 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 4.44 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

2. โฟมแข็งซึ่งเป็นวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังจะมีค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงทิ่มทะลุเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ค่าความแข็งแรงของโฟมแข็งจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณเพิ่มขึ้น โดยโฟมแข็งที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังและกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 60:40 ที่มีการเติมน้ำยางลงไปในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักกาว จะมีค่าความแข็งแรงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมแข็งที่ไม่มีการเติมน้ำยาง แต่ความสามารถในการต้านทานน้ำของโฟมแข็งที่เติมน้ำยางจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเติมจีเลื้อยลงในโฟมแข็งที่ผสมน้ำยางและแคลเซียมคาร์บอเนตพบว่า ความแข็งแรงของโฟมแข็งจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณจีเลื้อยในโฟมแข็งเพิ่มมากขึ้น

3. วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากจีเลื้อยขึ้นรูปซึ่งมีกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกาวแป้งมันสำปะหลังผสมกันในอัตราส่วน 1:2 จะให้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุด และเมื่อมีการเติมน้ำยางขึ้นลงในจีเลื้อยขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการต้านทานแรงกดและแรงทิ่มทะลุของจีเลื้อยขึ้นรูปมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้ การเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักกาวจะให้คุณภาพของจีเลื้อยขึ้นรูปดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจีเลื้อยขึ้นรูปที่มีการเติมน้ำยางขึ้นในปริมาณร้อยละ 35 และ 50 ของน้ำหนักกาว โดยจีเลื้อยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ไซค์ร้อยละ 5 จะให้คุณภาพด้านความแข็งแรงของจี้อยู่ขึ้นรูปดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นอื่นๆ รวมถึงจี้อยู่ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการเบนโซอิล

4. วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากจี้อยู่ขึ้นรูปซึ่งมีการเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรจะมีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกันกระแทกโดยนำกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกาวแป้งมันสำปะหลังมาผสมกันในอัตราส่วน 1:2 แล้วนำไปผสมกับจี้อยู่ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในอัตราส่วนจี้อยู่ต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 70:30 หลังจากนั้นนำมาผสมน้ำยางขึ้นในอัตราส่วนร้อยละ 20 ของน้ำหนักกาวแล้วนำไปขึ้นรูป จี้อยู่ขึ้นรูปที่ได้จะถูกนำไปเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรโดยวิธีการจุ่มเป็นเวลา 1 นาทีจะได้วัสดุกันกระแทกที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันผลิตภัณฑ์จากแรงกระแทกเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากโฟมแป้งผสมน้ำยาง โดยมีจี้อยู่เป็นสารเสริมแรง และจี้อยู่ขึ้นรูปที่ไม่มีการเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปร

เมื่อทำการเปรียบเทียบวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากจี้อยู่ขึ้นรูปที่มีการเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรกับวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากกระดาษลูกฟูกของบริษัทแปลน ครีเอชั่น จำกัด (มหาชน) พบว่า ความสามารถในการป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กที่ผลิตจากไม้ยางพาราของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากจี้อยู่ขึ้นรูปที่มีการเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากระดาษลูกฟูก โดยเฉพาะกับของเล่นเด็กที่มีน้ำหนักมาก เช่น ตู้เย็นไม้ อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์พบว่า ความสามารถในการป้องกันผลิตภัณฑ์ของวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้นเกินกว่าความต้องการจริงในการนำไปใช้ประโยชน์ (over specification) อีกทั้งการใช้จี้อยู่ขึ้นรูปที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยน้ำยางดัดแปรจะมีข้อจำกัดในเรื่องของกระบวนการผลิตที่ยุ่งยาก ราคาต้นทุนที่สูงกว่ากระดาษลูกฟูก น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จี้อยู่ขึ้นรูปที่มากกว่ากระดาษลูกฟูก รวมถึงกลิ่นของสารเคมีที่ผสมลงในน้ำยางดัดแปร ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กที่ผลิตจากไม้ยางพาราและภาพลักษณ์ของบริษัทในเรื่องของการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงยังไม่มี การนำไปใช้จริงในปัจจุบัน แต่ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อการปรับปรุงสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆของบริษัทในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- กรมป่าไม้. 2551. วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมพอสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.forest.go.th/Forprod/WoodComposite/Vetiver%20composite/Project3.htm>. (27 กรกฎาคม 2551)
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2541. พลาสติกที่ย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลัง. ว. เทคโนโลยี. 19 (2) : 24-27
- จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร, ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, จีราภรณ์ คำศรี และศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์. 2550. คอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยมีจีลเลอร์เป็นสารเสริมแรง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพฯ.
- ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2526. พอลิเมอร์เชิงพาณิชย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ
- คุณฤ ฤตภาพ. 2551. เคมีและสมบัติของแป้ง (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/subject.html>. (12 ตุลาคม 2551)
- ธนาดี ลีจากภัย และโยมิตา ฤติกิจ. 2549. บรรจุภัณฑ์จากแป้งย่อยสลายได้. ว. เทคโนโลยีวัสดุ. 43: 65-70.
- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2530. ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ. แผนกวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. 2551. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย. ปทุมธานี.
- ปรีชา เกียรติกระจาย. 2528. เคมีของเนื้อไม้. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์หิรัญ. กรุงเทพฯ.
- พูนศักดิ์ สักกทัตติยะกุล. 2551. ยาง (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.thaigoodview.com/node/19397>. (4 สิงหาคม 2551)
- มอก. 980. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางขึ้นธรรมชาติ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- เล็ก สีคง. 2543. วัสดุวิศวกรรมและอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- วรัญญู ศรีเดช, ศุภชัย ภิสัยเพ็ญ, สุรสิทธิ์ ประสารปราน, ธรรมบุญ โปรดปราน, เถวียน บัวคุ้ม, สมพร นิลมณี, พรชัย ศรีไพบุลย์ และสมศักดิ์ สุดจันทร์. 2551. คู่มือปฏิบัติการ : ปฏิบัติการเทคโนโลยีวัสดุและบรรจุภัณฑ์. การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึง แรงดัดโค้ง และแรงกระแทก. ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วรารักษ์ ขจรไชยกุล. 2549. ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพฯ.
- วรรณดา ตูลยชัย. 2549. พอลิแซ็กคาไรด์ : โครงสร้างและสมบัติ ใน เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 77-135. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- วิษชากร จารุศิริ, เบญจมาศ ปุ้ยอ้อ และจินตนา อุบลวัฒน์. 2550. การศึกษาศักยภาพชีวมวลเศษไม้ยางพารา : กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา. ว.วิจัยพลังงาน. 4: 31-41.
- ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณิ เดชกำแหง. 2530. คาร์โบไฮเดรต : คาร์โบไฮเดรตในอาหาร. ใน เคมีอาหารเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 73-80. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮาส์. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยสงขลา. 2546. นวัตกรรมชาติเคลือบดอกไม้-ใบไม้ และผลไม้ประดิษฐ์. ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมหวัง วิทยาปัญญานนท์. 2551. สูตรยาแนวร่องรอยต่อไม้สัก (Wood Putty for teak). (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.budmgt.com/miscell/mc01/wood-putty-teak.html>. (3 กันยายน 2552)
- สิทธิพงศ์ สาระวงศ์. 2551. การศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกลของบรรจุภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปจากเส้นใยปาล์มโดยใช้น้ำยาง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุนิสา สุชาติ. 2550. ยางธรรมชาติ. สาขาการจัดการอุตสาหกรรมยาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล. 2534. เคมีอาหารเบื้องต้น. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. 2551. จีเลื่อย. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.fio.co.th/article/aumnuay/aumnuay28.html>. (27 กรกฎาคม 2552)
- อรอนงค์ มหัทธพวงศ์. 2549. บรรจุภัณฑ์จากวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. ว.สถาบันอาหาร. 8: 11-14.
- A.O.A.C. 1999. Office Methods of Analysis of the Association of Official Analysis Chemists. 16th ed. Washington, D.C. The Association of Official Analysis Chemists.

- ASTM. 1973. Standard test method for Puncture and Stiffness of Paperboard, Corrugated and Solid Fiberboard: D781-68. *In* ASTM Annual Book of American Standard Testing Methods. Philadelphia, PA.
- ASTM. 1982. Standard test method for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates: D2244. *In* ASTM Annual Book of American Standard Testing Methods. Philadelphia, PA.
- ASTM. 1982. Standard test method for Determining Compressive Resistance of Shipping Containers, Components, and Unit Loads: D642. *In* ASTM Annual Book of American Standard Testing Methods. Philadelphia, PA.
- ASTM. 2005. Standard test method for Water Absorption of Plastics: D570-98. *In* ASTM Annual Book of American Standard Testing Methods. Philadelphia, PA.
- Baley, C., Busnel, F., Grohens, Y. and Sire, O. 2006. Influence of chemical treatments on surface properties and adhesion of flax fibre–polyester resin. *Comp. Pt. A.: Appl. Sci. and Manufacturing*. 37: 1626-1637.
- Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J. W. and Imam, S. H. 2006. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly (vinyl alcohol). *Polym. Degrad. Stab.* 91: 1147-1155.
- Doane, W.M. 1992. USDA research on starch-based biodegradable plastics. *Starch*. 44: 293-295.
- Fung, J., Li, B., Sun, S. and Zeng, C. 2004. Hardwood vs Softwood – Chemistry Aspect. (Online). Available: <http://www.alumni.ca/~libe4b0/chemistry.html>. (7 February 2009)
- Gassan, J. and Gutowski, V.S. 2000. Effects of corona discharge and UV treatment on the properties of jute-fibre epoxy composites. *Compos. Sci. Technol.* 60: 2857-2863.
- Genn, G.M. and Hsu, J. 1997. Compression formed starch-based plastics. *Industr. Crops. Prod.* 7: 37-44.
- Glenn, G.M. and Orts, W.J. 2001a. Properties of starch-based foam formed by compression/explosion processing. *Industr. Crops. Prod.* 13: 135-143.
- Glenn, G.M., Orts, W.J., Nobes, G.A.R. and Gray, G.M. 2001b. In situ laminating process for baked starch-based foams. *Industr. Crops. Prod.* 14: 125–134.
- Glenn, G.M. and Orts, W.J. 2001c. Properties of starch-based foam formed by compression:explosion processing. *Industr. Crops. Prod.* 13: 135-143.
- Glenn, G.M., Orts, W.J. and Nobes, G.A.R. 2001d. Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process. *Industr. Crops. Prod.* 14: 201–212.

- Karmarkar, A., Chauhan, S.S., Modak, J.M. and Chanda, M. 2007. Mechanical properties of wood-fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group. *Comp. Pt. A.: Appl. Sci. and Manufacturing*. 38: 227-233.
- Kiatkamjornwong, S., Surunchanajirasakul, P. and Tasakorn, P. 2001. Natural rubber–cassava starch foam by compression moulding. *Plast. Rubber Compos*. 30: 318-327.
- Lawton, J.W., Shogren, R.L. and Tiefenbacher, K.F. 2004. Aspen fiber addition improves the mechanical properties of baked cornstarch foams. *Industr. Crops. Prod*. 19: 41-48.
- Lopattananon, N., Panawarankul, K., Sahakaro, K. and Ellis, B. 2006. Performance of pineapple leaf fiber-natural rubber composites: The effect of fiber surface treatments. *J. Appl. Polym. Sci*. 102: 1974-1984.
- Mwaikambo, L.Y. and Ansell, M.P. 1999. The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok fibres for composite reinforcement. In 2nd International Wood and Natural Fibre Composites Symposium. Kassel, Germany. 28-29 June 1999. P. 12 – 15.
- Morreale, M., Scaffaro, R., Maio, A. and La Mantia, F.P. 2007. Effect of adding wood flour to the physical properties of a biodegradable polymer. *Comp. Pt. A*. 39: 503-513.
- Shey, J., Imam, S.H., Glenn, G.M. and Orts, W.J. 2006. Properties of baked starch foam with natural rubber latex. *Industr. Crops. Prod*. 24: 34–40.
- Shogren, R.L., Lawton, J.W., Doane, W.M. and Tiefenbacher, K.F. 1998. Structure and morphology of baked starch foams. *Polym*. 39: 6649–6655.
- Sørensen, G. and Hoffmann, J. 2003. Moisture sorption in moulded fibre trays and effect on static compression strength. *J. Packag. Technol. Sci*. 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. *J. Packag. Technol. Sci*. 18: 59-69.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991. Water sorption of corrugating medium: T819 om-84. In TAPPI TEST METHODS 1992-1993. Atlanta, GA.
- Sridach, W., Wungmuang, R. and Boonlerd, S. 2007. Moulded pulp packaging from bagasse. In Proceedings of the 9th Agro-industrial conference. Food Innovation Asia 2007. Thailand. 14-15 June 2007. P2-01-CP.

- Vander Wielen, L.C., Östenson, Max. And Ragauskas, Arthur J. 2006. Surface modification of cellulosic fibers using dielectric-barrier discharge. *Carbohydr. Polym.* 65: 179-184.
- Van Soest, P.J. and Wine, R.H. 1967. Use of detergents in analysis of fibrous feeds, determination of plant cell walls constituents. *J. The Associate of Official Analytical Chemists.* 50(1) : 50.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพแสดงลักษณะวัสดุกันกระแทกที่ผลิตขึ้น



ภาพที่ 40 ตัวอย่างโฟมเป่งมันสำหรับหลังผสมน้ำยางพาราที่มีจีลีสือเป็นสารเสริมแรง



ภาพที่ 41 ตัวอย่างจีลีสือขึ้นรูปที่มีกาวเป่งมันสำหรับ กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำยางพารา



ภาพที่ 42 ตัวอย่างขี้เลื่อยขึ้นรูปที่ใช้ในการทดสอบความต้านแรงโค้งงอ



ภาพที่ 43 ตัวอย่างโฟมแป่งผสมน้ำยางพาราที่มีขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรงซึ่งใช้ทดสอบความแข็งแรงต่อการตกกระแทก (G value)

ภาคผนวก ข

ตารางเปรียบเทียบวัสดุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับ
ตลอดโครงการ

วัสดุประสงค์

เพื่อผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับของเล่นไม้ยางพาราที่ผลิตจากองค์ประกอบหลักสามส่วน คือ ขี้เลื่อยหรือผงไม้ น้ำยางคัดแปรและแป้งมันสำปะหลัง โดยนำมาขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกโดยกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนกร้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจะต้องมีความสามารถในการรับแรงกระแทกที่ดี ด้านทานการดูดซับความชื้นและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

ตารางที่ 13 แผนกิจกรรมในการดำเนินการวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลา (เดือน)								
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18
1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของของขี้เลื่อย	←→								
2. ปรับสภาพผิวของขี้เลื่อยด้วยวิธีทางเคมี	←→								
3. พัฒนาสูตรโฟมแป้งจากแป้งมันสำปะหลัง น้ำยางและขี้เลื่อย		←→							
4. หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง			←→						
5. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลของโฟมแป้งมันสำปะหลัง			←→						
6. พัฒนาสูตรวัสดุกันกระแทกจากขี้เลื่อยขึ้นรูปและหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกจากขี้เลื่อย					←→			←→	

ตารางที่ 13 แผนกิจกรรมในการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

กิจกรรม	ระยะเวลา (เดือน)								
	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28
7. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุกันกระแทกจากจีลีส้อย									
8. การเคลือบผิววัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากจีลีส้อยด้วยน้ำยางคัดแปร									
9. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุกันกระแทกจากจีลีส้อยที่เคลือบผิวด้วยน้ำยางคัดแปร									
10. ทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันการกระแทกวิเคราะห์ข้อมูล									
11 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์									

 แผนการทำกิจกรรม

 การปฏิบัติจริง

ตารางที่ 14 ผลที่ได้รับตลอดโครงการ

ช่วงเวลา	ผลที่คาดว่าจะได้รับ
เดือนที่ 1-2	ได้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีของจีเลื้อยและการเตรียมพื้นผิวของจีเลื้อยให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทก
เดือนที่ 3-10	สามารถพัฒนาสูตรมาตรฐานและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโฟมแข็งจากวัตถุดิบหลักสามประการคือ แป้งมันสำปะหลัง จีเลื้อย และน้ำยางพารา
เดือนที่ 11-12	ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลของวัสดุกันกระแทกเพื่อนำมาใช้เพื่อพิจารณาคัดเลือกสูตรมาตรฐานและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุกันกระแทกจากโฟมแข็ง
เดือนที่ 13-18	ทราบอัตราส่วนผสมของวัสดุกันกระแทกจากจีเลื้อย น้ำยางและแป้ง รวมทั้งสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกจากจีเลื้อย
เดือนที่ 18-19	ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลของวัสดุกันกระแทกที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเพื่อนำมาใช้พิจารณาคัดเลือกสภาวะและสัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุกันกระแทกจากจีเลื้อย
เดือนที่ 19-24	เคลือบผิววัสดุกันกระแทกจากจีเลื้อยด้วยน้ำยางคัดแปรและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลของวัสดุกันกระแทกที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวด้วยน้ำยาง
เดือนที่ 25-26	คัดเลือกวัสดุกันกระแทกที่มีคุณภาพดีที่สุดโดยพิจารณาจากความสามารถในการป้องกันผลิตภัณฑ์จากการตกกระแทก
เดือนที่ 27-28	ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์

ผลที่ได้รับ

วัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากจีเลื้อย น้ำยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง โดยจะผลิตออกมาเป็น 3 ลักษณะ คือ

- 1) โฟมแข็ง ที่มีองค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติและสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีจีเลื้อยเป็นสารเสริมแรง
- 2) จีเลื้อยขึ้นรูป ที่มีกาวแป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และน้ำยางขึ้นเป็นสารช่วยประสานและเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก
- 3) จีเลื้อยขึ้นรูปที่มีกาวแป้งมันสำปะหลัง กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำยางธรรมชาติเป็นสารช่วยประสานโดยเคลือบผิววัสดุกันกระแทกด้วยน้ำยางคัดแปร

ภาคผนวก ก

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

“การผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากขี้เลื่อย แป้งและน้ำยาง”

สัญญาเลขที่ RDG5150069

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
ความคิดเห็นด้านการพิมพ์ - นักวิจัยควรปรับปรุงรูปแบบการนำเสนอรายงาน ซึ่งนักวิจัยเขียนเป็นแบบบรรยายให้อ่านเข้าใจยาก โดยอาจวางรูปแบบงานวิจัยทำอะไร ได้ อะไรแล้วนำไปดำเนินการต่ออย่างไร สรุปได้อะไร น่าจะวางรูปแบบปฏิบัติให้เป็นขั้นตอนและรายงานในแต่ละบทควรแบ่งเป็นหัวข้อย่อย เช่น บทที่ 1 ควรมีหัวข้อย่อย 1.1, 1.2 บทที่ 2 ควรมีหัวข้อย่อย วัสดุ/สารเคมี, เครื่องมือ/อุปกรณ์และควรมีบทที่ 3 ผลการทดลองและเพิ่มเติมการวิจารณ์ผลด้วย - ควรแก้ไขบทสรุปให้เด่นชัดโดยแยกเป็นข้อๆ - ควรทบทวนการเขียนบทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร - หน้า 42 วิธีการทดลองควรทำเป็นตารางจะให้อ่านและเข้าใจง่าย เนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวทั้งชนิดวัตถุดิบ ปริมาณ อุณหภูมิ เวลาและมีการทดลองบางส่วนไปเขียนอยู่ในผลการทดลอง ทำให้อ่านเข้าใจยาก - หน้า 46 ผลการทดลองมีการวิจารณ์ผลการทดลองอยู่ด้วย ซึ่งนักวิจัยควรแยก	- ปรับแก้ไข ตามข้อเสนอแนะโดยบทที่ 1 แยกเป็นหัวข้อย่อย บทที่ 2 เพิ่ม วัสดุและสารเคมี (หน้า 42) เครื่องมือและอุปกรณ์ (หน้า 42) สำหรับบทที่ 3 เปลี่ยนชื่อบทเป็น ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง - ปรับแก้ตามที่เสนอแนะ โดยแยกสรุปเป็นข้อๆ (หน้า 79-80) - ปรับแก้ให้ถูกต้องตามแบบฟอร์มแล้ว (หน้า ก-ค) - ปรับแก้ตัวแปรหรือปัจจัยศึกษาให้เป็นตารางเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจง่าย (ตารางที่ 7 ตารางที่ 8 และตารางที่ 9 หน้า 44, 45 และ 46) - ผลการทดลองในบทที่ 3 แก้ไขเป็นผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองในคำแนะนำ

ออกมาเป็นอีกบทหนึ่งต่างหาก หรือ อาจนำไปรวมกับสรุปแล้วเขียนเป็น สรุปและวิจารณ์ผล 6. งานวิจัยไม่มีภาพประกอบนักวิจัยควร แสดงลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน ว่า ภาพลักษณะเป็นอย่างไร 7. สารบัญชาด้านหน้า Abstract 8. ขอให้นักวิจัยตรวจสอบความพร้อมทั้ง แก้ไข คำผิด พิมพ์เกิน พิมพ์ขาด หัวข้อ กับเนื้อหาควรอยู่หน้าเดียวกัน ชื่อภาพ กับภาพควรอยู่หน้าเดียวกัน 9. เรื่องการตรวจเอกสาร (หน้า 2-41) ที่ ถูกต้องน่าจะใช้ “การทบทวนเอกสาร” 10. ตรวจสอบความถูกต้องสารแทรก ”Extraction” 11. หน้า 62 บรรทัดที่ 8 “แสดงดังภาพที่ 6” ไม่ถูกต้อง 12. หน้า 70 บรรทัดที่ 7 “Figure 40” ไม่ ถูกต้องและใช้ภาษาอังกฤษ 13. หน้า 76 บรรทัดแรก “Table 9” แก้เป็น ภาษาไทย 14. หน้า 72 ตารางที่ 8 และหน้า 74-75 ตารางที่ 9 จะใช้คำว่า “เปลือก” หรือ “เปลือกไข่” ควรใช้ให้เหมือนกัน 15. บทนำ “ตรวจสอบเอกสาร” มี 2 คำ นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลแต่ไม่มีใน ตรวจเอกสาร - โฟมแป้ง - น้ำยาดัดแปร ให้ใช้คำให้ถูกบอกให้ผู้อื่นรู้คืออะไร เป็นคำที่นักวิจัยเขียนขึ้นมาเฉยๆ ไม่ผ่าน การบรรยายมาก่อน	ข้อที่ 1 แล้ว 6. ปรับแก้ไข โดยเพิ่มภาพผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ลง ในภาคผนวก ก หน้า 87-88 7. ปรับแก้ไขแล้ว ตามข้อเสนอแนะ 8. ตรวจสอบและปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะ 9. ปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะ (หน้า 2) 10. สารแทรก “Extractive” ไม่ใช่ “Extraction” ซึ่งในรายงานใช้ถูกต้องแล้ว 11. แก้ไขเป็น แสดงดังภาพที่ 29 12. แก้ไขเป็น แสดงดังภาพที่ 35 13. แก้ไขเป็น ตารางที่ 12 หน้า 78 14. ปรับแก้ เป็น “เปลือกไข่” ตามข้อเสนอแนะ 15. เพิ่มการชี้แจงคำนิยามดังนี้ - โฟมแป้ง ให้คำนิยามของโฟมแป้งในบทนำ หน้า 1 บรรทัดที่ 8 - น้ำยาดัดแปร ให้คำนิยามของน้ำยาดัดแปร ใน ทบทวนเอกสาร หน้า 22 “น้ำยาดัดแปรหรือ น้ำยาดัดแปร”
---	---

ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)	
- การวิเคราะห์ข้อมูลยังไม่ชัดเจนพอ ไม่สามารถสรุปได้ว่า สามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือไม่ ไม่มีการเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้อยู่ทั้งด้านคุณภาพและราคา ซึ่งนักวิจัยควรสรุปให้ชัดเจนว่า สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ได้จริงหรือไม่และเป็นไปตามความต้องการของบริษัทแปลนเครื่องจักรหรือไม่ ถ้าไม่เพราะเหตุใด มีปัญหาอะไร ทั้งด้านคุณภาพ ราคาและอื่นๆ - ขอให้นักวิจัยตรวจสอบภาพที่ 36 Elongation (%) มากกว่า 3200% ซึ่งไม่น่าจะถูกต้อง และตรวจสอบการทดสอบ Drop Test และ Energy Absorption ด้วย - ถ้างานวิจัยจะสามารถเพิ่มการประเมินชิ้นงานที่ทำได้และการนำไปใช้งาน ประกอบด้วยก็จะช่วยให้เห็นว่า งานที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้ใช้หรือไม่ (บางครั้งอาจขึ้นรูปได้แต่ไม่สวยงามก็เกินไปได้) - คำว่า โฟม มาจาก Foam ใช่หรือไม่ แล้วสารผสมของงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นโฟมหรือไม่	- ปรับแก้ไขโดยเพิ่มในบทสรุป ย่อหน้าสุดท้าย โดยระบุถึงความสามารถในการปกป้องสินค้าของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นเปรียบเทียบกับวัสดุกันกระแทก (กระดามลูกฟูก) ที่บริษัทใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่ไม่มีค่าตัวเลขการทดสอบปรากฏในรายงานเนื่องจากเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ในการทำวิจัยครั้งนี้ อย่างไรก็ตามได้สรุปเหตุผลข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นว่าไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ทดแทนวัสดุเดิมเพราะอะไร (แสดงคิงหน้า 80) - ทวนเช็คและปรับแก้ไขค่า Elongation (%) ตามข้อเสนอแนะแล้ว (ภาพที่ 36 หน้า 73) สำหรับกาทดสอบ Drop Test และ Energy Absorption ให้ค่าผลการทดลองถูกต้อง - ภาพชิ้นงานแสดงดังภาคผนวก ก สำหรับการประเมินชิ้นงานแสดงดัง สรุปผลการทดลองในย่อหน้าสุดท้าย (หน้า 80) - จากนิยามของโฟม คือ สารพอลิเมอร์ที่มีช่องว่างหรือเซลอากาศแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างอย่างสม่ำเสมอ เพราะฉะนั้นลักษณะที่ทำให้เป่งเกิดการพองตัวด้วยความร้อนจึงถือเป็นโฟมได้ (โฟมเป่ง) สำหรับจีเลื่อยขึ้นรูปไม่จัดเป็นวัสดุที่เรียกว่า โฟม