



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลของการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่มีต่อสมบัติทางกล
ของฟิล์มน้ำยางพารา

โดย ดร. มณิศรา พิริยวิรุตม์และคณะ

เมษายน 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลของการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่มีต่อสมบัติทางกล ของฟิล์มน้ำยางพารา

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|----------------------------|---|
| 1. ดร. มณิสรา พิริยวิรุตม์ | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. นางสาวนาถนภา โชติรัตน์ | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 3. นางสาวศิริกุล พรหมศิริ | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 4. นางสาวอิงอร โลหะไพศาล | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาผลของการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่มีต่อสมบัติทางกลของฟิล์มน้ำยางพารา
(ภาษาอังกฤษ) **Effect of Cellulose Microfibrile on Mechanical Properties of Natural Rubber Latex Films**

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail
ชื่อ-สกุล ดร. มณีนศรา ปิรียวิรุตม์
หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
โทรศัพท์/โทรสาร 02-470-9217 / 02-872-9080 E-mail Manisara.pee@kmutt.ac.th

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail
ชื่อ-สกุล นางสาวนาถนภา โชติรัตน์
หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
โทรศัพท์/โทรสาร 086 -7610390 E-mail -

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail
ชื่อ-สกุล นางสาวศิริกุล พรหมศิริ
หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
โทรศัพท์/โทรสาร 081-3091629 E-mail -

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail
ชื่อ-สกุล นางสาวอิงอร โลหะไพศาล
หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
โทรศัพท์/โทรสาร 081-4522838 E-mail moo_orn50@hotmail.com

ปัญหาที่ท้าทายและความสำคัญ (โดยย่อประมาณ 5 บรรทัด)

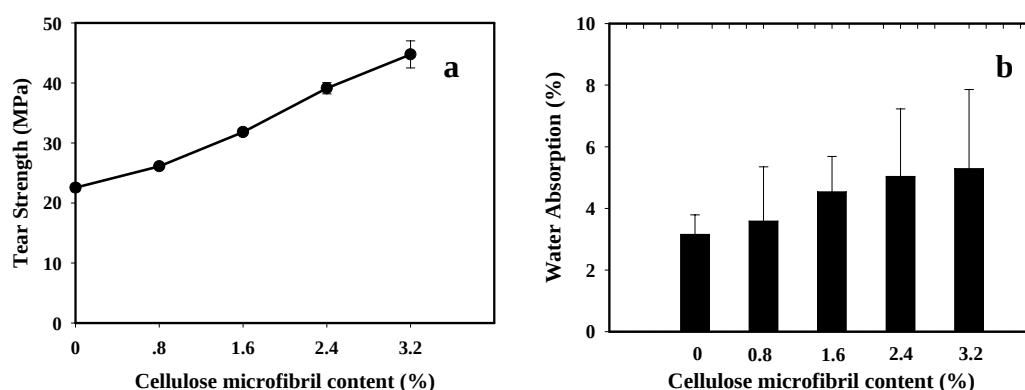
ยางพาราเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติทางกลอย่างที่ต้องการได้ ส่วนใหญ่จะต้องมีการใช้สารเสริมแรง ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำเอาเส้นใยขนาดสั้นมาใช้เสริมแรงในยางกันมากขึ้น ทำให้วัสดุคอมพอสิตที่ได้นี้จะมีสมบัติระหว่างความยืดหยุ่นจากยางและความแข็งแรงจากเส้นใย ทำให้มีความสนใจในการเสริมแรงด้วยเซลลูโลสไมโครไฟบริล (Cellulose microfibrile) ซึ่งคาดว่าวัสดุนาโนคอมพอสิตจากยางพาราและเซลลูโลสไมโครไฟบริลนี้จะมีสมบัติทางกลที่ดีมากขึ้น

วัตถุประสงค์ (ตามที่ระบุในสัญญาวิทยานิพนธ์)

ศึกษาผลของปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่มีต่อสมบัติทางกลของแผ่นฟิล์มจากน้ำยางพารา

ผลการดำเนินงาน

สามารถสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริลได้จากผงเปลือกกล้วยน้ำว้า ด้วยเทคนิคการสกัดไซ-เบส-กรด และทำการขึ้นรูปคอมพอสิตฟิล์มยางพาราที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลในปริมาณที่ต่างกัน คือ 0.8, 1.6, 2.4 และ 3.2% พบว่าคอมพอสิตฟิล์มที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นผลึกในคอมพอสิตฟิล์มยางเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตฟิล์ม จะมีภาพตัดขวางค่อนข้างเรียบ เนื่องจากมีพฤติกรรมการแตกหักแบบเปราะ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในคอมพอสิตมากขึ้น จะสังเกตเห็นความขรุขระ แสดงว่าพฤติกรรมการแตกหักเปลี่ยนไปเป็นแบบเหนียว ในขณะที่สมบัติทางกลของคอมพอสิตฟิล์มยาง พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานแรงฉีกขาดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลในคอมพอสิตฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เหมาะสมที่สุด คือ 2.4% แสดงดังรูปที่ 1a



รูปที่ 1. สมบัติของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ

(a) ความต้านทานแรงฉีกขาดและ (b) เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

ส่วนสมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตฟิล์มพบว่า ช่วงอุณหภูมิที่มีการสลายตัวอยู่ในช่วงประมาณ 300 ถึง 500 องศาเซลเซียส เมื่อสังเกตอุณหภูมิที่มีการสลายตัวเท่ากับ 50% พบว่าคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลสามารถทนความร้อนได้เพิ่มขึ้น และจากสมบัติความชอบน้ำของเซลลูโลสไมโครไฟบริลทำให้คอมพอสิตฟิล์มสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริล (รูปที่ 1b) ส่วนสมบัติการรั่วซึมของคอมพอสิตฟิล์ม พบว่าที่เวลา 2-4 นาที คอมพอสิตฟิล์มทุกชั้นไม่มีการรั่วซึม

น้ำเกิดขึ้น แต่ในคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลมากจะมีการรั่วซึมได้เร็วกว่าคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลน้อย

สรุปผลการวิจัย

สามารถขึ้นรูปคอมพอสิตฟิล์มยางพาราที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลในปริมาณที่ต่างกัน คือ 0.8, 1.6, 2.4 และ 3.2% จากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานแรงฉีกขาดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลในคอมพอสิตฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เหมาะสมที่สุด คือ 2.4% และจากสมบัติความชอบน้ำของเซลลูโลสไมโครไฟบริลทำให้คอมพอสิตฟิล์มสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริล

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ได้จากการสกัดมาจากเปลือกกล้วย ซึ่งอาจเปลี่ยนวัตถุดิบเบื้องต้น (Raw material) เป็นวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว กากมันสำปะหลัง และทดลองเปลี่ยนปริมาณเซลลูโลสที่เติมลงในคอมพอสิตฟิล์มยางให้มีความแตกต่างกันมากขึ้น เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมทั้งในด้านการขึ้นรูปและการวิเคราะห์สมบัติในด้านต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น

สมบัติด้านการรับแรงดึงของคอมพอสิตฟิล์มยาง/เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของฟิล์มยาง อาจเนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการคงรูปฟิล์มยางไม่เหมาะสม ดังนั้นควรวิจัยเพิ่มเติมในด้านการหาสภาวะที่เหมาะสมในการคงรูปคอมพอสิตฟิล์มยาง/เซลลูโลสไมโครไฟบริล

ผลงานวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

-

รหัสโครงการ: RDG5150044

ชื่อโครงการ: การศึกษาผลของการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่มีต่อสมบัติทางกลของฟิล์มน้ำ
ยางพารา

ชื่อนักวิจัย: ดร. มณิสรา พิริยวิรุตม์
นส. นาถนภา โชติรัตน์
นส. ศิริกุล พรหมศิริ
นส. อิงอร โลหะไพศาล

สังกัด: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โทรศัพท์: 02-470-9217

E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 9 เดือน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษากการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลซึ่งสกัดจากเปลือกกล้วยที่มีผลต่อฟิล์มน้ำยางพารา โดยการนำผงเปลือกกล้วยขนาด 300 μm มาผ่านการสกัดไซ และสกัดด้วยไซเดียวไฮดรอกไซด์ และตามด้วยกรดไนตริกผสมกรดอะซิติก เพื่อเตรียมเป็นเซลลูโลสไมโครไฟบริล ซึ่งในการวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบฟิล์มน้ำยางที่มีการเติมสารเคมีและเติมเซลลูโลสในปริมาณที่ต่างกัน โดยจะทำการเติมปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ 0% 0.8% 1.6% 2.4% และ 3.2% เมื่อทำการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลลงในคอมพอสิตฟิล์ม พบว่าสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล เช่น สมบัติการต้านทานการฉีกขาด รวมถึงสมบัติทางความร้อนมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันพบว่าคอมพอสิตฟิล์มที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลมีความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเซลลูโลสไมโครไฟบริลแต่มีผลทำให้ความต้านทานการซึมของน้ำลดลง

คำสำคัญ: ยางพารา / น้ำยาง / เซลลูโลสไมโครไฟบริล / สมบัติทางกล / นาโนคอมพอสิต

Project code: RDG5150044

Project title: Effect of Cellulose Microfibrile on Mechanical Properties of Natural Rubber Latex Films

Investigators: Dr. Manisara Phiriyawirut
 Miss. Natnapa Chotirat
 Miss. Sirikul Phromsiri
 Miss. Ingorn Lohapaisarn
 Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's University of Technology Thonburi

Telephone number: 02-470-9217

E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th

Project duration: 9 months

Abstract

The objective of this research was to investigate the effect of adding cellulose microfibril isolated from banana peel in natural rubber latex film. In the process, banana powder size of 300 μm were alkaline extracted, bleached with hydrogen peroxide and hydrolysed by mixing of nitric acid and acetic acid in order to prepared cellulose microfibril. The cellulose microfibril content was varied at 0% 0.8% 1.6% 2.4% and 3.2%, respectively. This research was to compared the effect of cellulose microfibril in NR latex film which adding the chemical in nanocomposite films. In this study, physical properties, mechanical properties (tear strength) and thermal properties of the NR composite films have been increased with increasing the cellulose microfibril content. Moreover, water absorption of the nanocomposite film was found to increase with increasing cellulose microfibril content. In contrast, the increasing of cellulose microfibril content was decreased water resistance of nanocomposite films.

Keywords : Natural rubber / Latex / Cellulose Microfibril / Mechanical properties / Nanocomposites

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับยางพารานั้นเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ยางพาราเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติทางกลที่ต้องการได้ ส่วนใหญ่จะต้องมีการใช้สารเสริมแรงไม่ว่าจะเป็นผงเขม่าดำ หรือซิลิกา ซึ่งถ้าสารเสริมแรงเหล่านี้จะสามารถเพิ่มสมบัติทางกลให้กับยางพาราได้ก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้และการเอาไปใช้งานด้านต่างๆ แต่ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำเอาเส้นใยขนาดสั้นมาใช้เสริมแรงในยางกันมากขึ้น ทำให้วัสดุคอมพอสิตที่ได้นี้จะมีสมบัติรวมระหว่างความยืดหยุ่นจากยางและความแข็งแรงจากเส้นใย นอกจากนี้ยังมีความสนใจในการใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กอยู่ในระดับนาโนมาเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมพอสิตซึ่งทำให้เรียกว่าเป็น “นาโนคอมพอสิต” (Nanocomposites) ซึ่งมีสมบัติดีเด่นหลายด้าน ทำให้มีความสนใจในการจะเตรียมยางพาราให้กลายเป็นนาโนคอมพอสิตโดยการเสริมแรงด้วยเซลลูโลสไมโครไฟบริล (Cellulose microfibril) ที่สามารถสกัดได้จากวัสดุตามธรรมชาติเช่น เปลือกกล้วย ซึ่งคาดว่าวัสดุนาโนคอมพอสิตจากยางพาราและเซลลูโลสไมโครไฟบริลนี้จะมีสมบัติทางกลที่ดีมากขึ้น โครงการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพาราที่มีสมบัติทางกลที่ดีมากขึ้น เพื่อใช้งานเป็นถุงมือหรือยางยึดสำหรับการใช้งานที่ต้องการคุณภาพสูง รวมถึงเนื่องจากสารเสริมแรงดังกล่าวเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติทำให้สามารถนำไปใช้งานทางด้านการแพทย์ได้โดยไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง

วัตถุประสงค์

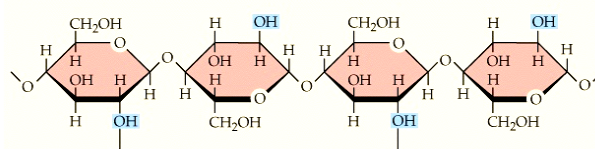
1. เพื่อสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริลจากเปลือกกล้วยน้ำว้าสุก
2. เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์มที่ได้จากน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลจากการสกัดจากเปลือกกล้วย
3. เพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของคอมพอสิตยางที่ได้ โดยสมบัติที่วิเคราะห์ คือ สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกล ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง การทนต่อการยืดตัวเมื่อขาด และการทนต่อการฉีกขาด

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

ยางพาราถือได้ว่าเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยธรรมชาติที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีสมบัติทั้งทางเคมีและทางกลที่ดีเยี่ยม ทำให้มีการเอาไปใช้งานในหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะน้ำยางซึ่งมีการเอาไปใช้งานทางด้านการแพทย์และด้านต่างๆ เช่น ถุงมือทางการแพทย์ ถุงมือแม่บ้าน ถุงยางอนามัยและอุปกรณ์ทางการแพทย์อื่นๆ เนื่องจากมีสมบัติด้านความยืดหยุ่น ด้านทานการซึมผ่านของไวรัส ขึ้นรูปง่าย แต่สมบัติการยึดตัวเนื่องจากแรงดึงและการต้านทานต่อแรงฉีกขาดของผลิตภัณฑ์จากน้ำยางยังค่อนข้างต่ำ ทำให้เป็นข้อด้อยของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยเฉพาะการผลิตเป็นถุงมือทางการแพทย์และถุงยางอนามัย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวของยางพาราออกมาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้สารตัวเติมเช่น เขม่าดำ [1] แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดเล็กละเอียดมาก [2] มอนต์มอริลโลไนต์ชนิดดัดแปลง (Modified montmorillonite) [3] ซิลิกา [4] และแป้ง [5] มาเสริมแรงในทั้งยางแห้งและน้ำยางพารา โดยเฉพาะการนำเอาแป้งมาผสมกับเขม่าดำและ/หรือซิลิกาในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของยางรถยนต์เพิ่มขึ้น เช่น ลดน้ำหนักของยาง ลดความต้านทานต่อการหมุน (Rolling resistance) รวมถึงการเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอ แต่อย่างไรก็ตามแป้งยังคงมีข้อด้อยในการนำมาใช้เป็นสารเสริมแรงในยางหลายประการเช่น แป้งมีขนาดเล็กเกินไป ความเป็นขี้ขี้ผิวสูง รวมถึงอุณหภูมิในการอ่อนตัวของแป้งสูงเกินไป แต่อย่างไรก็ตามสารเสริมแรงชนิดเดิมๆ ที่ใช้กันอยู่ยังไม่ค่อยเหมาะสมกับการเสริมแรงในน้ำยางพารามากนัก จึงต้องการวิธีใหม่ๆ ในการเสริมแรงน้ำยางพารา

การใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กอยู่ในระดับนาโนมาเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมพอสิตซึ่งทำให้เรียกว่าเป็น “นาโนคอมพอสิต” (Nanocomposites) ซึ่งมีสมบัติดีเด่นหลายด้าน เนื่องจากหน่วยย่อยในวัสดุคอมพอสิตมีขนาดเล็กมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงมาก ซึ่งมีผลทำให้ผิวสัมผัสระหว่างสารเสริมแรงกับเมทริกซ์ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอมพอสิตแบบดั้งเดิม ซึ่งมีผลทำให้นาโนคอมพอสิตมีสมบัติต่างๆ ดีขึ้น เช่นค่ามอดูลัส ซึ่งพบว่าจะมีค่าสูงขึ้นโดยไม่มีการลดลงของสมบัติอื่นๆ เช่นค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกหรือความสามารถในการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของนาโนคอมพอสิตดังกล่าวก็มีหลายประการ โดยเฉพาะปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับทั้งตัวสารเสริมแรงและเมทริกซ์ เช่น ค่า Aspect ratio ของสารเสริมแรงและความเข้ากันได้ของเมทริกซ์และสารเสริมแรง

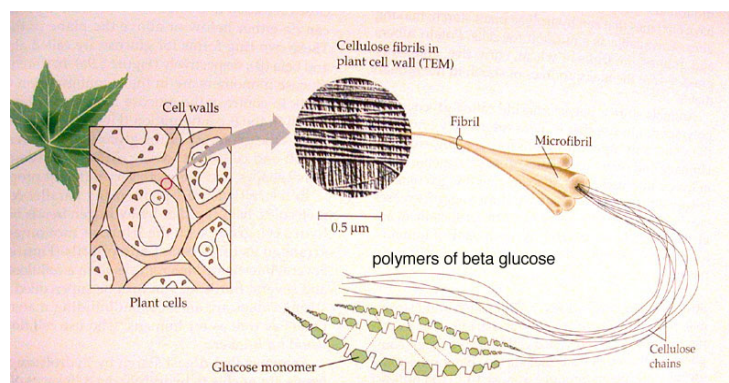
เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์ (Cell wall) ของไม้ โดยมีอยู่ประมาณ 40-50 % ในไม้แห้ง เซลลูโลสเป็นพอลิโสมโพลิแซคคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบไม่มีกิ่งก้านสาขา ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยหน่วยของ β -D-glucose หลายๆ หน่วยมาต่อกันเป็นสายยาว ด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic โดยคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสโมเลกุลแรกเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสโมเลกุลถัดไป



รูปที่ 1. สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส; $[C_6H_{10}O_5]_n$ [6]

เซลลูโลสมีดีกรีการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (Degree of polymerization) อยู่ในช่วงระหว่าง 100-10,000 โมเลกุล และมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 100-4,000 หน่วยกลูโคสหรือประมาณ 20,000-750,000 ดาลตัน (น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคสเท่ากับ 180.16 ดาลตัน) โมเลกุลของเซลลูโลส จะเรียงกันอยู่เป็นมัดๆ เรียกว่า ไมโครไฟบริล (Microfibril) ซึ่งเกิดจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ของกลูโคสที่อยู่ใกล้กันในแต่ละสาย และไมโครไฟบริลเหล่านี้จะรวมตัวกัน เรียกว่า ไฟบริล (Fibril) ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อนำแต่ละไมโครไฟบริลมาขยายดูพบว่าเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัว 2 แบบ คือแบบที่อยู่รวมกันเป็นกระจุก (Crystalloids) ทำให้โครงสร้างอัดกันแน่น เรียงตัวเป็นระเบียบ (Parallel) ทำให้ย่อยสลายได้ยาก และแบบที่อยู่รวมกันอย่างหลวมๆ (Amorphous) ซึ่งย่อยสลายได้ง่ายกว่า ด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงของเซลลูโลส ส่งผลทำให้เซลลูโลสมีสมบัติความทนแรงดึงที่แข็งแรง และทนต่อตัวทำละลายได้ดี

เซลลูโลส ไมโครไฟบริลสามารถเตรียมได้โดยการย่อยพืชด้วยกรด [7] ซึ่งสารที่ได้จะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยของในน้ำ โดยลักษณะของเซลลูโลส ไมโครไฟบริลที่เตรียมได้นี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชที่นำมาสกัด โดยอาจจะมีค่า Aspect ration ตั้งแต่ 1 (มีลักษณะเป็นผง) ไปจนถึง 100 (เป็นเส้นใยยาว) ตัวอย่างของเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เตรียมจากเยื่อกระดาษไม้สนฟอกสี [8] ผ้าย [9] เยื่อชูการ์บีท (Sugar beet) [10] และทูนินซิน (Tunicin) [11] ซึ่งเส้นใยที่เตรียมจากพืชต่างชนิดกันก็จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวที่แตกต่างกัน เช่น เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เตรียมจากผ้ายจะมียาวประมาณ 200 นาโนเมตรและมีขนาดผลึกประมาณ 50 อังสตรอม ในขณะที่เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เตรียมจากทูนินซินมีค่า 1 ไมโครเมตรและ 150 อังสตรอมตามลำดับ



รูปที่ 2. การเรียงตัวของไฟบริล ไมโครไฟบริล และเซลลูโลสในผนังเซลล์พืช [6]

J.X. Sun และคณะ 2004 [12] ทำการแยกเซลลูโลสจากชานอ้อย โดยนำชานอ้อยมากำจัดไขที่ผนังเซลล์ออกด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีนกับเอทานอล ก่อนทำการสกัดเซลลูโลสจากชานอ้อย โดยเปรียบเทียบวิธีการสกัด 3 วิธี คือ การสกัดด้วยตัวทำละลายไซเตียม ไฮดรอกไซด์, การสกัดด้วยตัวทำละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และการสกัดด้วยสารละลายผสมระหว่างกรดไนตริกและกรดอะซิติก จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส จากการทดลองพบว่า ผลของการสกัดด้วยสารละลายผสมระหว่างกรดไนตริกและกรดอะซิติกได้ปริมาณเซลลูโลสมากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์และการสกัดด้วยตัวทำละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ ซึ่งสภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุด คือ การสกัดด้วยสารละลายกรดไนตริก เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยพบว่าเซลลูโลสที่ได้มีความบริสุทธิ์มากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดอื่นๆ

R. Zuluaga และคณะ 2007 [7] ได้ทำการศึกษาการสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริลจากแกนกลางของเครือกล้วย โดยใช้วิธีการสกัดทั้งทางเคมีและทางกล พบว่า จากการสกัดด้วยวิธีทางกลนั้น เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ได้จะมีความกว้างประมาณ 5 นาโนเมตร และอยู่ในรูปสารแขวนลอยทั้งในลักษณะที่เป็นกลุ่มก้อนหรือแยกอยู่โดดเดี่ยว ขณะที่การสกัดด้วยวิธีทางเคมีจะได้เซลลูโลสไมโครไฟบริลในลักษณะที่สั้นกว่าและเกาะรวมตัวกันคล้ายผลึกเล็กๆ ของเซลลูโลส ซึ่งการสกัดด้วยวิธีทางเคมีจะกระตุ้นให้เกิดความเป็นผลึกที่สูงกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดพวกเฮมิเซลลูโลสและส่วนที่ไม่ใช่ผลึกด้วยกรดสามารถกำจัดได้ดีกว่า แต่ทั้งไมโครไฟบริลและผลึกเล็กๆ ที่สกัดได้ทั้งจากวิธีทางกลและทางเคมีนั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงในวัสดุนาโนคอมโพสิตได้เหมือนกัน

ประมาณ 10 กว่าปีที่ผ่านมาพบว่ามีงานวิจัยที่ให้ความสนใจอย่างมากเกี่ยวกับการนำเอาเซลลูโลสไมโครไฟบริลมาใช้เสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตซึ่งทำให้เรียกว่าเป็น “นาโนคอมโพสิต” (Nanocomposites) โดยมีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของนาโนคอมโพสิตดังกล่าวก็มีหลายประการ โดยเฉพาะปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับทั้งตัวเซลลูโลส ไมโครไฟบริลและเมทริกซ์ ค่า Aspect ratio ของเซลลูโลส ไมโครไฟบริล ความเข้ากันได้ของเมทริกซ์และสารเสริมแรง โดยพบว่าการนำเอาเซลลูโลส ไมโครไฟบริลมาใช้เป็นสารเสริมแรงกับพอลิเมอร์ทั้งที่เป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ เช่น พอลิ-เบตา ไฮดรอกซีออกทาโนเอต (Poly β -hydroxyoctanoate, PHO) [13] แป้ง [14] ไฟโบรอินซึ่งเป็นโปรตีนจากไหม (Silk fibroin) [15] เซลลูโลส อะซีเตต บิวไทเรต (Cellulose acetate butyrate, CAB) [16] และพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พอลิสไตรีน-โค-บิวทิว อะคริเลต (Poly styrene-co-butyl acrylate) [17] พอลิไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) [18] พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) [19] และพอลิออกซีเอทิลีน (Polyoxyethylene) [20]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่ายังไม่มีงานวิจัยใดนำเอาเซลลูโลส ไมโครไฟบริลมาใช้เป็นสารเสริมแรงสำหรับยางพาราโดยเฉพาะในรูปแบบของน้ำยาง เนื่องจากความแตกต่างของความเป็นขั้วระหว่างยางพารากับเซลลูโลส โอกาสที่จะเกิดการแยกเฟสกันระหว่างสารทั้งสองมีค่อนข้างมากโดยเฉพาะการเตรียมคอมพอสิตแบบดั้งเดิม เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจะมีขนาดใหญ่มาก แต่การเตรียมของผสมดังกล่าวในรูปแบบของนาโนคอมพอสิตนั้นจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการเกิดอัตรากิริยาระหว่างเฟสทั้งสอง เนื่องจากเซลลูโลสซึ่งอยู่ในรูปแบบของไมโครไฟบริลซึ่งมีขนาดเล็กมาก ผิวนสัมผัสค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยเซลลูโลสทั่วไป ทำให้เซลลูโลส ไมโครไฟบริลสามารถเสริมแรงยางธรรมชาติได้ นอกจากนี้การเติมสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำยางเพื่อเคลือบผิวของเซลลูโลส ซึ่งจะมีผลในการเพิ่มการกระจายตัวของเซลลูโลสไมโครไฟบริล [21] ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาความไม่เข้ากันของเซลลูโลสกับยางได้ ในขณะที่เดียวกันเซลลูโลส ไมโครไฟบริลที่เตรียมได้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยในน้ำที่มีความเสถียรค่อนข้างสูงทำให้มีความสะดวกในการนำเอาไปใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของลาเท็กซ์ซึ่งมักจะเตรียมได้จากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบ Suspension polymerization หรือพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ และน้ำยางพาราก็มีสมบัติดังกล่าวคือเป็นสารแขวนลอยของโมเลกุลของยางอยู่ในน้ำ ซึ่งก็จะเป็นความสะดวกถ้าหากจะนำเอาเซลลูโลสไมโครไฟบริลมาเติมลงในน้ำยางพารา และถึงแม้ว่ายังไม่มีรายงานว่ามี การนำเอาเซลลูโลสไมโครไฟบริลมาเสริมแรงในน้ำยางพารา แต่ก็มีงานวิจัยที่มีการนำเอาเส้นใยขนาดไมโครหรือนาโนซึ่งเรียกว่า วิสเกอร์ (Whisker) มาเสริมแรงในน้ำยางพาราแล้ว โดยวิสเกอร์นี้อาจจะเตรียมได้จากไคตินจากเปลือกปู

โครงการวิจัยนี้เป็นการสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริล ซึ่งเซลลูโลสไมโครไฟบริล เป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ ทำหน้าที่ห่อหุ้มอยู่ด้านนอกสุดของเซลล์ป้องกันอันตรายให้แก่เซลล์พืช ให้เซลล์คงรูปเพิ่มความแข็งแรง คำจุนให้ความแข็งแรงปกป้องส่วนต่างๆ ภายในเซลล์ ทำให้เซลล์คงรูปร่างอยู่ได้ ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่จะสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์มยางได้ โดยทำการสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริลจากเปลือกกล้วยน้ำว้าสุก โดยทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่สกัดได้ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM) ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) และการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) จากนั้นนำเซลลูโลสไมโครไฟบริลไปเป็นสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงในยางพารา จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มจนกลายเป็นคอมพอสิต และโครงการวิจัยนี้ได้เลือกยางพาราเนื่องจากแผ่นฟิล์มที่ได้จากยางพาราอย่างเดียวมียสมบัติทางกลค่อนข้างต่ำ ทนต่อการฉีกขาดได้น้อย ดังนั้นการผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริลในยางพารา จะทำให้สมบัติต่างๆ ของคอมพอสิตฟิล์มที่ได้สูงขึ้น เช่น ลักษณะทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกล โดยทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความเป็นผลึก สภาพพื้นผิว สมบัติความต้านทานแรงดึง สมบัติความต้านทานแรงฉีกขาด สมบัติการดูดซึมน้ำและสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของน้ำของคอมพอสิตฟิล์มยางพารา

สิ่งที่คาดหวังจากงานวิจัยครั้งนี้คือ สามารถนำเอาคอมพอสิตฟิล์มจากน้ำยางพาราที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เช่นถุงมือ หรือได้สารตั้งต้นสำหรับผลิตยางยืดที่มีสมบัติทางกลที่ดี มีความยืดหยุ่น โดยมีราคาไม่แพง โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้น้ำยางพาราในรูปแบบของน้ำยางพาราผสมตามสูตรในการผลิตถุงมือแม่บ้าน เพราะถึงแม้ถุงมือแม่บ้านที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้จะมีสมบัติในการรับแรงผ่านมาตรฐานแล้วก็ตาม แต่ถ้าหากงานวิจัยนี้สามารถเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงให้แก่ถุงมือได้ก็จะเป็นการสร้างมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งก็จะเป็นการเปิดโอกาสในการเอาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปใช้ในงานด้านอื่นที่ต้องการสมบัติด้านความแข็งแรงมากกว่าการเป็นเพียงถุงมือในการทำความสะดวกที่ใช้แล้วทิ้ง และนอกจากนี้การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทำให้เกิดประโยชน์ โดยการเตรียมเซลลูโลส ไมโครไฟบริลจากเปลือกกล้วยเพื่อเอาไปเสริมแรงในพอลิเมอร์ต่างๆ

นั้นไม่มีการตีพิมพ์มาก่อนทำให้วิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งก็จะเป็นการเพิ่มโอกาสในการตีพิมพ์ในบทความวิชาการได้อีกด้วย

วิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์

- ตู้อบ (Hot air oven) รุ่น Heraeus, บริษัท Kendro
- ตู้ดูดความชื้น (Dry keeper) รุ่น Auto C-3, บริษัท สิทธิพร แอสโซซิเอต จำกัด
- อุปกรณ์การสกัด (Soxhlet extractor)
- เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Refrigerated Centrifuge) Hitachi รุ่น CR21, บริษัท ไชเอนซ์คอมเพล็กซ์ จำกัด
- ชุดเครื่องกรอง (Suction filter)
- เครื่องวัดความหนาของฟิล์ม (Certificate) บริษัท บี.เอ็น.ซี. ทูลลิง จำกัด

2. สารเคมี

- เปลือกกล้วย
- เอทานอล AR Grade, บริษัท LAB-SCAN Limited
- โทลูอีน AR Grade, บริษัท LAB-SCAN Limited
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 97% AR Grade, บริษัท LAB-SCAN Limited
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ AR Grade, บริษัท LAB-SCAN Limited
- กรดอะซิติก 99.7% AR Grade, บริษัท RCI LAB-SCAN Limited
- กรดไนตริก 70% AR Grade, บริษัท RCI LAB-SCAN Limited
- น้ำยารับชื้นชนิด High Ammonia (HA) 60 % และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองผลิตโดยบริษัท ลักกี้ โฟร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- Nonidet P40, บริษัท Fluka
- กรดซัลฟูริก AR Grade, บริษัท J.T. Baker

3. วิธีการทดลอง

3.1 การสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริลจากเปลือกกล้วย

ขั้นตอนนี้เป็นการสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริลจากเปลือกกล้วย โดยเปลือกกล้วยที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกและใช้วิธีการสกัดแบบออร์กานอสอลว (Organosolv treatment) [22] โดยมีขั้นตอนการสกัดดังนี้

การเตรียมเปลือกกล้วย

ล้างเปลือกกล้วยด้วยน้ำเปล่าจนสะอาด อบเปลือกกล้วยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จนเปลือกกล้วยแห้งสนิท จากนั้นนำมาตัดและบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด มีขนาด 300 μm

การสกัดไข (Dewax) [23]

นำเปลือกกล้วยที่บดและมีขนาดตามต้องการแล้วมาทำการสกัดไขออกจากผิวด้วยชุดอุปกรณ์ Soxhlet ใส่ลงใน Thimble โดยมีอัตราส่วนของผงกล้วยต่อสารละลายทั้งหมดเป็น 1:20 โดยปริมาตรโดยใช้เป็นผงกล้วย 21 กรัมในสารละลายทั้งหมด 420 กรัม และใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีนกับเอทานอลในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตรโดยใช้โทลูอีน ปริมาณ 280 มิลลิลิตร กับเอทานอลปริมาณ 140 มิลลิลิตร ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงและเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อนำไปทดลองต่อไป

การสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อสกัดแยกเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน [24]

นำผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดไขมาทำการการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อสกัดแยกเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่ปนอยู่กับเซลลูโลส โดยจะทำการเตรียมในอัตราส่วนของผงกล้วยต่อสารละลายทั้งหมด 1:20 โดยใช้ผงกล้วยที่ได้จากขั้นตอนการสกัดไข 17 กรัมในสารละลายทั้งหมด 340 มิลลิลิตร โดยสารละลายทั้งหมดเตรียมได้ดังนี้คือ ขั้นแรกทำการเตรียมสารละลายอัลคาไลด์ โดยเตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1% คิดเป็นผงโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 100% ปริมาตร 3.4 กรัม มาทำละลายในน้ำกลั่น 336.6 มิลลิลิตร และจากนั้นนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1.5% โดยคิดเป็นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาตร 5.1 มิลลิลิตร มาทำละลายกับสารละลายอัลคาไลด์ที่เตรียมได้ในขั้นตอนแรกปริมาตร 334.9 มิลลิลิตร นำสารละลายเบสที่เตรียมได้มาเทรวมกับผงเปลือกกล้วยลงในขวดแก้วก้นกลมทำการกวนสารด้วยเครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) ในอ่างที่ใส่พอลิไดเมทิลไซลอกเซน เป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยทำการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส

จากนั้นนำสารละลายผงเปลือกกล้วยที่ได้ไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (Centrifuge) โดยใช้ น้ำกลั่น และเอทานอลล้างสารละลายผงเปลือกกล้วยดังกล่าว แล้วเหวี่ยงซ้ำด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (Centrifuge) ล้างจนได้สารละลายผงเปลือกกล้วยที่เป็นกลาง จากนั้นจึงนำมาทำการอบเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

การสกัดด้วยสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติกและกรดไนตริก [23]

นำผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์การสกัดด้วยสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติกและกรดไนตริก โดยเตรียมสารละลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้น 70% โดยน้ำหนักและ กรดอะซิติกเข้มข้น 80% โดยน้ำหนัก ทำการหล่อเย็นสารละลายกรดที่เตรียมได้ในขวดแก้วก้นกลม เพื่อไม่ให้เกิดการทำปฏิกิริยาที่รุนแรง ค่อยๆเติมผงเปลือกกล้วยลงไปทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดที่อยู่ในขวดแก้วก้นกลมทีละน้อยจนหมด เพื่อไม่ให้เกิดการทำปฏิกิริยาที่รุนแรง ทำการสกัดโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและทำการกรองสารละลายที่ได้ด้วยชุดเครื่องกรอง ทำการล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลจนใส และล้างจนกระทั่งเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ได้มีค่า pH เป็นกลางมากที่สุด และเก็บเซลลูโลสไมโครไฟบริลให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยในน้ำกลั่นเข้าตู้เย็น

3.2 การเตรียมคอมพอสิตฟิล์มน้ำยาง

การเตรียมน้ำยางที่ผสมปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ปริมาณต่างกัน

ทำการชั่งน้ำยางและผสมสารเคมีตามสูตรมาตรฐานที่ใช้ในการผลิตถุงมือยาง [25] โดยที่มีปริมาณเซลลูโลสต่างๆ ดังตารางที่ 1

นำน้ำยางขึ้นไปกวนกับเครื่องกวนน้ำยางโดยทำการกวนเพื่อกำจัดแอมโมเนียออกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในขณะที่กวนเพื่อกำจัดแอมโมเนีย ให้เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมคาพริเลต เพื่อรักษา

สภาพ น้ำยางแทนแอมโมเนียที่ใส่ออก จากนั้นจึงเติมดิสเพนชันกัมมะถัน แซตติวี่ซีและแซตติวี่ซี เติมสารป้องกันยางเสื่อมคือ ดิสเพนชัน Naftonox ZMP จากนั้นจึงเติมดิสเพนชัน ซิงค์ออกไซด์ อิมัลชันจากน้ำมันพืชและทำการเติม Nonidet P40 และเซลลูโลสไมโครไฟบริลกับน้ำยางคอมปาวด์ในปริมาณที่ต่างกัันดังตารางที่ 1 โดยที่ในขั้นตอนการเติมสารเคมีแต่ละตัวควรให้ระยะเวลาห่างกันประมาณ 5 นาที และทำการกวนน้ำยางต่อไปอีกประมาณ 5 ชั่วโมง จากขั้นตอนนี้จึงควรทำการเติมน้ำกลั่นให้น้ำยางคอมปาวด์มีลักษณะไม่เหนียวเกินไปเพราะเมื่อทำการกวนบ่มทิ้งไว้ 1 คืนจะเหนียวมากจนไม่สามารถเทขึ้นรูปได้

ตารางที่ 1 ปริมาณสารที่ใช้ในการผสมสารเคมีในน้ำยาง

สารเคมี	ปริมาณสารที่ใช้ในสูตร (phr)*				
	1	2	3	4	5
60% น้ำยางพาราชั้น	100	100	100	100	100
10% สารละลายโพแทสเซียมคาพริเลต	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
10% สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
50% ดิสเพนชันซัลเฟอร์	3	3	3	3	3
50% ดิสเพนชัน ZBDC	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
50% ดิสเพนชัน ZMBT	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
50% ดิสเพนชันซิงค์ไดออกไซด์	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
ดิสเพนชัน Naftonox ZMP	1	1	1	1	1
อิมัลชันจากน้ำมันพืช	5	5	5	5	5
เซลลูโลสไมโครไฟบริล	0	0.8	1.6	2.4	3.2
Nonidet P40	1% ของปริมาณเซลลูโลส				
น้ำกลั่น	ตามที่ต้องการเพื่อจางส่วนผสม				

*phr = part per hundred of rubber (ส่วนในร้อยละของน้ำหนักยางแห้ง)

การขึ้นรูปยาง (Forming) [25]

นำน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้มาทำการขึ้นรูป โดยค่อยๆ เทน้ำยางคอมปาวด์ผ่านการกรองลงในเบ้าพิมพ์อลูมิเนียมตามที่เตรียมไว้ ให้ได้แผ่นฟิล์มยางที่มีความหนาที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.08-0.15 mm (ความหนาทั่วไปของถุงมือยางแพทย์) สะอาดและปราศจากฟองอากาศตลอดแผ่น มีเนื้อยางที่แห้งสม่ำเสมอตลอดแผ่น ไม่กระด้างกระด่าง และควรมีความชื้นน้อยกว่า 1.5%

นำยางคอมปาวด์ที่ได้เทลงในเบ้าพิมพ์อลูมิเนียมไปผ่านกระบวนการคงรูป (Vulcanization) โดยใช้เทคนิคการทำให้ยางคงรูปแบบเปิด (Open cure) คือการให้ความร้อนกับยางคงรูปนั้นภายในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปทดสอบทางด้านต่างๆ

4. การวิเคราะห์สมบัติของคอมพอสิตฟิล์ม

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของคอมพอสิตฟิล์ม

ตัดชิ้นงานขนาด กว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 0.08-0.15 mm นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) รุ่น FT-IR model 1760x

4.2 ความเป็นผลึกของคอมพอสิตฟิล์ม

เตรียมชิ้นงานคอมพอสิตฟิล์ม นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) รุ่น Bruker D8 Advance เพื่อวิเคราะห์สมบัติความเป็นผลึกและความบริสุทธิ์ของคอมพอสิตฟิล์ม

4.3 โครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตฟิล์ม

นำชิ้นงานคอมพอสิตฟิล์มมาทำการหักชิ้นงานระหว่างที่แช่ใน Liquid nitrogen นำชิ้นงานที่หักได้ไปแช่บนวัสดุจับยึดในลักษณะแซนด์วิช เพื่อต้องการดูโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตฟิล์มในลักษณะภาพตัดขวาง จากนั้นนำไปติดบน Stub แล้วนำไปฉาบทอง นำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) รุ่น JEOL JSM-6380LV โดยตั้งกำลังขยายของเครื่อง 500 เท่า และใช้ Voltage 15 กิโลโวลต์

4.4 สมบัติทางกล

สมบัติความต้านทานแรงดึง

ตัดชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ให้มีขนาด 2.5×10 เซนติเมตร² ตามมาตรฐาน ASTM D882 [26] ตัวอย่างละ 3 ชิ้น วัดความหนาและความกว้างของชิ้นทดสอบที่ตัดแล้ว ณ ตำแหน่งต่างๆ 3 จุด บันทึกและคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลือกชนิด Auto tightening grip เป็นหัวจับขึ้นตัวอย่างสำหรับจับยางและพลาสติก เพื่อใช้ยึดชิ้นทดสอบโดยคำนึงถึงความหนาของชิ้นงาน ตั้งเครื่องวัดความต้านทานแรงดึง โดยใช้สภาวะการทดสอบคือ Maximum load of load cell 10 kN, อุณหภูมิสัมพัทธ์ 25 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 51.4% และกำหนดค่า Gauge length เท่ากับ 25 มิลลิเมตร และความเร็วที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที

สมบัติความต้านทานแรงฉีกขาด

ตัดชิ้นทดสอบลักษณะคล้ายตัววี ให้มีขนาด 2.5×10 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D882 [26] ตัวอย่างละ 3 ชิ้น วัดความหนาและความกว้างของชิ้นทดสอบที่ตัดแล้ว ณ ตำแหน่งต่างๆ 3 จุด บันทึกและคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลือกชนิด Auto tightening grip เป็นหัวจับขึ้นตัวอย่างสำหรับจับยางและพลาสติก เพื่อใช้ยึดชิ้นทดสอบโดยคำนึงถึงความหนาของชิ้นงาน ตั้งเครื่องวัดความต้านทานแรงฉีกขาด โดยใช้สภาวะการทดสอบคือ Maximum load of load cell 10 kN, อุณหภูมิสัมพัทธ์ 25 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 51.4% และกำหนดค่า Gauge length เท่ากับ 25 มิลลิเมตร และความเร็วที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที

4.5 สมบัติทางความร้อน

เตรียมชิ้นงานคอมพอสิตฟิล์มโดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดเล็กมากๆประมาณ 10 กรัม ใส่ใน Pan ที่ทำจาก Al_2O_3 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตรี อะนาไลซิส (Thermogravimetric analysis; TGA) จากบริษัท NETZSH รุ่น STA 409 PC ทำการผ่านแก๊ส O_2 และ N_2 ด้วยอัตรา 2 ml /50.0 min โดยกำหนดอัตราการให้ความร้อนเป็น $20\text{K} /10.0\text{min}$ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่แผ่นฟิล์มน้ำยางเกิดการสลายตัวอย่างสมบูรณ์ คือที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส

4.6 สมบัติการดูดซึมน้ำ

ตัดชิ้นงานทดสอบให้มีขนาด 20×20 มิลลิเมตร ตัวอย่างละ 5 ชิ้น นำชิ้นทดสอบทั้งหมดมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้น หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบที่

ได้มาชั่งน้ำหนัก ก่อนนำขึ้นทดสอบแช่น้ำโดยให้ขึ้นทดสอบจุ่มลงในน้ำทั้งชิ้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ ซับด้วยผ้าสะอาดจนแห้ง นำมาชั่งน้ำหนักทันที คำนวณ %Water absorption ดังสมการที่ 1

$$\% \text{ Water absorption} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_1 = น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ

M_2 = น้ำหนักของชิ้นงานหลังแช่น้ำ

4.7 ทดสอบสมบัติการรั่วซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์ม (มอก.1056 2548)

ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 3 ชิ้น จับแผ่นฟิล์มในลักษณะทรงกรวยที่น้ำไม่สามารถไหลผ่านได้ วางลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรในแนวตั้ง โดยที่แผ่นฟิล์มวางคว่ำอยู่สูงจากก้นบีกเกอร์ประมาณ 2 เซนติเมตร หลังจากนั้นเทน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 36 องศาเซลเซียส 5 มิลลิลิตร ลงบนแผ่นฟิล์ม ตรวจสอบทันทีว่ามีน้ำรั่วซึมออกจากชิ้นงานตัวอย่างหรือไม่ ถ้าไม่มีการรั่วซึม ให้ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที ถึง 4 นาที นับจากเทน้ำกลั่นลงในชิ้นงานตัวอย่าง และตรวจพิจารณาการรั่วซึมซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

ผลการวิจัย

1. ลักษณะของเซลลูโลสไมโครไฟบริล

1.1 ปริมาณของเซลลูโลส

เมื่อนำผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดไซ โปสสกัดแยกเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์และสกัดด้วยสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติกและกรดไนตริก เปรียบเทียบกับผงเปลือกกล้วยที่ยังไม่ผ่านการสกัด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ปริมาณเซลลูโลสและองค์ประกอบที่มีในผงเปลือกกล้วยและเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ผ่านการสกัด

ตัวอย่าง	%เซลลูโลส	%เฮมิเซลลูโลส	%ลิกนิน	% yield
ผงเปลือกกล้วย	98.48	1.03	0.49	-
เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ผ่านการสกัด	91.74	5.10	3.16	43.69

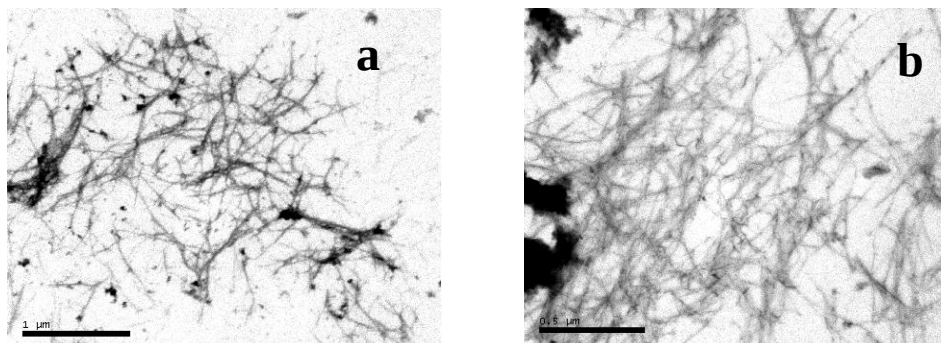
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ผลได้และความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส ที่พบในผงเปลือกกล้วยและเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ผ่านการสกัด พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของเซลลูโลสที่ผ่านการสกัดมีค่าประมาณ 43.69% ในขณะที่ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ผ่านการสกัดมีค่ามากขึ้นเล็กน้อยหรือมีเปอร์เซ็นต์เซลลูโลสลดลงอยู่ที่ประมาณ 91.74% เนื่องจากเซลลูโลสที่ผ่านการสกัดไซแล้ว ในขั้นตอนการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และการสกัดด้วยสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติกและกรดไนตริกสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้มากขึ้น จึงสามารถแยกเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากผงเปลือกกล้วยได้มากขึ้น ส่งผลให้เซลลูโลสที่เหลืออยู่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

1.2 การหาปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลในสารแขวนลอย

ปริมาณเซลลูโลสที่อยู่ในสารแขวนลอยจากผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการสกัดไซ-กรด-เบส พบว่าในแต่ละครั้งที่สกัดได้ มีเปอร์เซ็นต์ปริมาณเซลลูโลสในสารแขวนลอยประมาณ 0.96%

1.3 โครงสร้างสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสไมโครไฟบริล

โครงสร้างสัณฐานวิทยา (Morphology) และขนาดของเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่สกัดได้นั้น สามารถตรวจสอบได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. รูปจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของเซลลูโลสไมโครไฟบริล

a) กำลังขยาย 25,000 เท่า และ b) กำลังขยาย 50,000 เท่า

จากรูปที่ 1 พบว่าเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่สกัดได้นั้นมีทั้งลักษณะที่กระจายตัวและรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่สกัดได้มีลักษณะเป็นเส้นใยยาว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 27 นาโนเมตร และจากการทดลองสกัดด้วยกรดเข้มข้นนั้นจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเอมิเซลลูโลสได้เป็นอย่างดีซึ่งจะสามารถละลายส่วนที่อยู่กันอย่างหลวมๆ (Amorphous) ได้ทำให้เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่สกัดได้มีลักษณะเป็นผลึกเล็กๆ

2. โครงสร้างทางเคมีของคอมพอสิตฟิล์ม

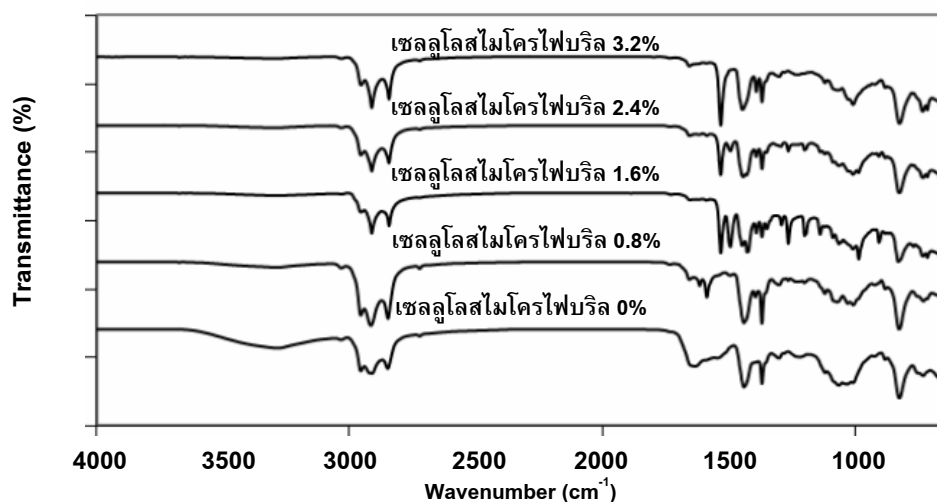
การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของคอมพอสิตฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เพื่อพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของคอมพอสิตฟิล์ม ซึ่งสามารถสรุปหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. หมู่ฟังก์ชันของคอมพอสิตยาง [27] และเซลลูโลสไมโครไฟบริล [28]

ยางพารา				เซลลูโลสไมโครไฟบริล	
Spectrum	หมู่ฟังก์ชัน	Spectrum	หมู่ฟังก์ชัน	Spectrum	หมู่ฟังก์ชัน
833	CH	1642	C=C	897-903	b-glycosidic linkage
1080	O-R	2852	CH ₂ , CH ₃	1023-1076	เอมิเซลลูโลส
1127	CH ₃	2916	CH ₂	1255-1261	C-O
1308	CH ₂	2960	CH ₃	1371	C-CH ₃
1375	CH ₃	3036	CH	1723-1745	C=O
1447	CH ₂			2900	C-H
				3435	OH

จากตารางที่ 3 พบว่าหมู่ฟังก์ชันที่สามารถบ่งบอกได้ถึงความแตกต่างระหว่างยางพาราและเซลลูโลสไมโครไฟบริล คือ Spectrum ที่ประมาณ 1700-1750 cm⁻¹ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C=O และจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของคอมพอสิตฟิล์มดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถทำการเปรียบเทียบระหว่าง Spectrum ของคอมพอสิตฟิล์มที่มี

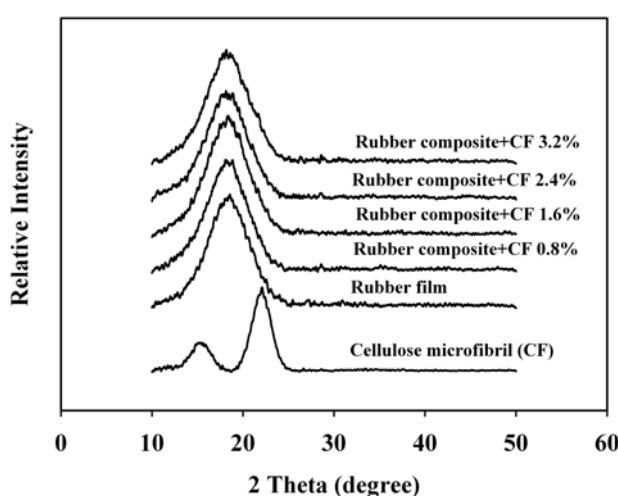
เซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ ได้ คือคอมพอสิตฟิล์มที่มีปริมาณของเซลลูโลสไมโครไฟบริลเพิ่มมากขึ้น จะพบพีคของหมู่ฟังก์ชัน C=O คือที่ Spectrum ตำแหน่ง 1700 cm^{-1} จะเพิ่มสูงขึ้นหรือ มีความเข้มของพีคสูงขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้ชัดเจน แสดงว่ามีเซลลูโลสไมโครไฟบริลอยู่ในคอมพอสิตฟิล์มอย่างจริง และความเข้มของพีคที่มากขึ้นตามปริมาณการเติมเซลลูโลส แสดงว่ามีปริมาณของเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้จาก FTIR Spectrum ของคอมพอสิตฟิล์มไม่ปรากฏพีคที่ตำแหน่งอื่นๆ แสดงว่าไม่น่าจะเกิดการทำปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสไมโครไฟบริลกับโมเลกุลของยาง หรือถ้าหากมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นก็อาจจะน้อยมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยเทคนิค FTIR



รูปที่ 1. FT-IR ของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ

3. ความเป็นผลึกของคอมพอสิตฟิล์ม

การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของคอมพอสิตฟิล์มสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) โดยทำการเปรียบเทียบกราฟคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสในปริมาณที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2. XRD Spectrum ของเซลลูโลสไมโครไฟบริลและคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 2 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffractometer (XRD) ของ เซลลูโลสไมโครไฟบริลกับคอมพอสิตฟิล์มยาง พบว่าพีคของคอมพอสิตฟิล์มยางมีความเป็นผลึกน้อยมาก (เป็น Amorphous) เมื่อเทียบกับพีคของเซลลูโลสไมโครไฟบริล เนื่องจากปริมาณเซลลูโลสที่เติมเข้าไปในคอมพอสิตฟิล์มยางมีปริมาณที่น้อยมาก และสารเคมียางจะช่วยให้เกิดการครอสลิงค์ขึ้นภายในคอมพอสิตฟิล์มยางจึงทำให้โมเลกุลของเซลลูโลสในคอมพอสิตฟิล์มยางไม่สามารถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันได้ ส่งผลให้มีปริมาณความเป็นผลึกที่น้อยมาก

เมื่อทำการสังเกตพีคของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลส 0, 0.8, 1.6, 2.4 และ 3.2% จะไม่พบพีคของเซลลูโลสไมโครไฟบริลบริสุทธิ์ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 22 แต่จะพบพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18.5 ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาจากค่าปริมาณความเป็นผลึกดังตารางที่ 4 คอมพอสิตฟิล์มที่มีการเติมเซลลูโลสที่เพิ่มมากขึ้นจะมีปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากปริมาณเซลลูโลสที่เติมเข้าไปในคอมพอสิตฟิล์มยางมีปริมาณที่น้อยมาก ทำให้ปริมาณความเป็นผลึกในคอมพอสิตฟิล์มยางเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4. ปริมาณความเป็นผลึกของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

ตัวอย่าง	FWHM	Total Area (Cps x deg)	Area Peak (Cps x deg)	ปริมาณความเป็น ผลึก (%)
1. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 0%	5.704	6852.3	5300.6	77.36
2. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 0.8%	4.752	4097.3	3326.0	81.18
3. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 1.6%	5.103	5233.4	4201.9	80.29
4. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 2.4%	5.246	4557.7	3564.1	78.20
5. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 3.2%	5.304	7617.5	6865.3	90.13

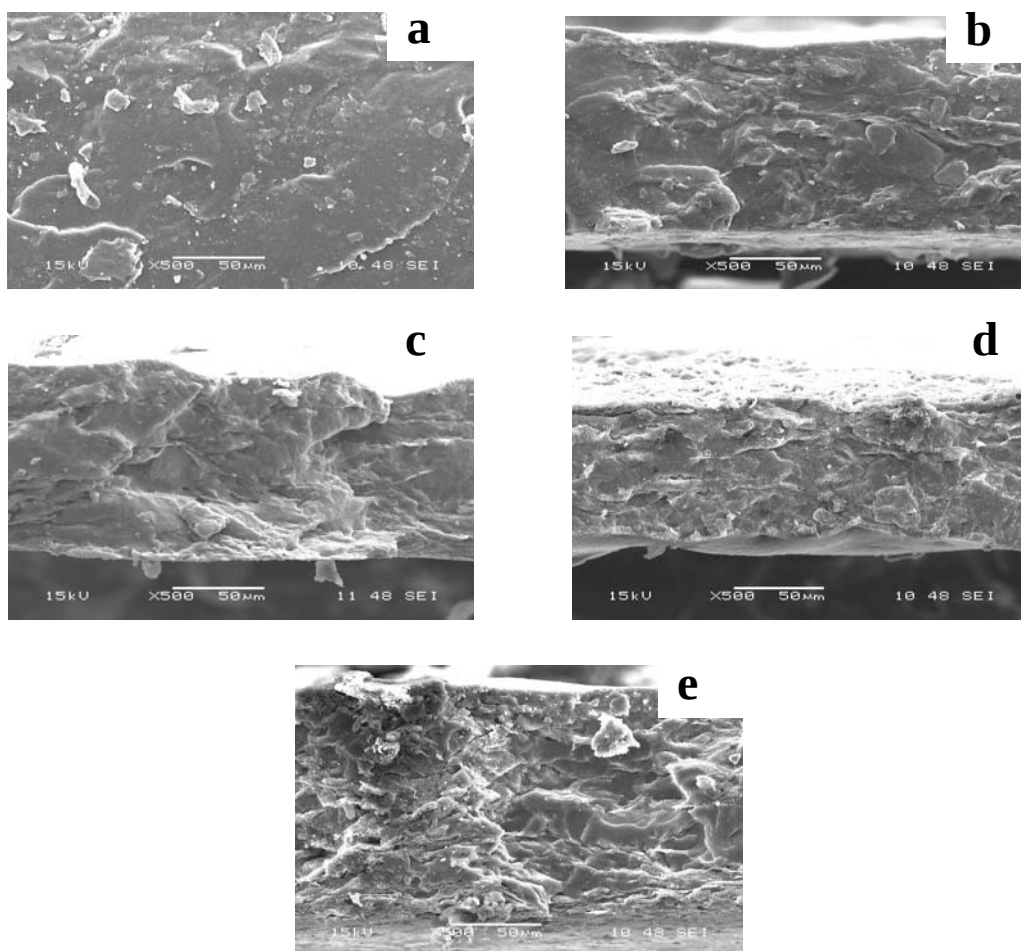
หมายเหตุ : ค่าของ FWHM, Total Area, Area Peak หาได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม EVA

4. โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตฟิล์ม

การตรวจสอบสัณฐานวิทยา (Morphology) ของแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) โดยนำชิ้นงานทดสอบคอมพอสิตฟิล์มยางผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริลไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 จะพบว่าลักษณะภาพตัดขวางของคอมพอสิตฟิล์มระหว่างยางพาราผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริล ซึ่งผลการทดสอบที่ได้แสดงถึงการเชื่อมโยงระหว่างเฟสของเซลลูโลสไมโครไฟบริลกับเฟสของยางพาราสามารถสังเกตได้ชัดเจนว่าเมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลเพิ่มมากขึ้นในคอมพอสิตฟิล์ม ลักษณะพื้นผิวของคอมพอสิตฟิล์มจะมีลักษณะขรุขระเพิ่มมากขึ้น แสดงพฤติกรรมการแตกหักเปลี่ยนไปเป็นแบบเหนียวมากขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสไมโครไฟบริลทำหน้าที่ในการยึดโมเลกุลของยาง ดังนั้นเมื่อทำการหักจึงเห็นการยึดตัวของเซลลูโลสไมโครไฟบริลเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ความขรุขระที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเนื่องมาจาก การเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เป็นโมเลกุลที่มีขั้วลงในน้ำยางพาราซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ทำให้เซลลูโลสไมโครไฟบริลไม่สามารถกระจายตัวได้ดีจึงเกิดการแยกเฟสทำให้มองเห็นการแยกตัวของเซลลูโลสไมโครไฟบริลออกจากเฟสของยางพารามองเห็นเป็นจุดเล็กๆ สีขาว และมองเห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลมากขึ้น



รูปที่ 3. ลักษณะภาพตัดขวางของแผ่นฟิล์มคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ (a) 0% (b) 0.8 % (c) 1.6% (d) 2.4% และ (e) 3.2%

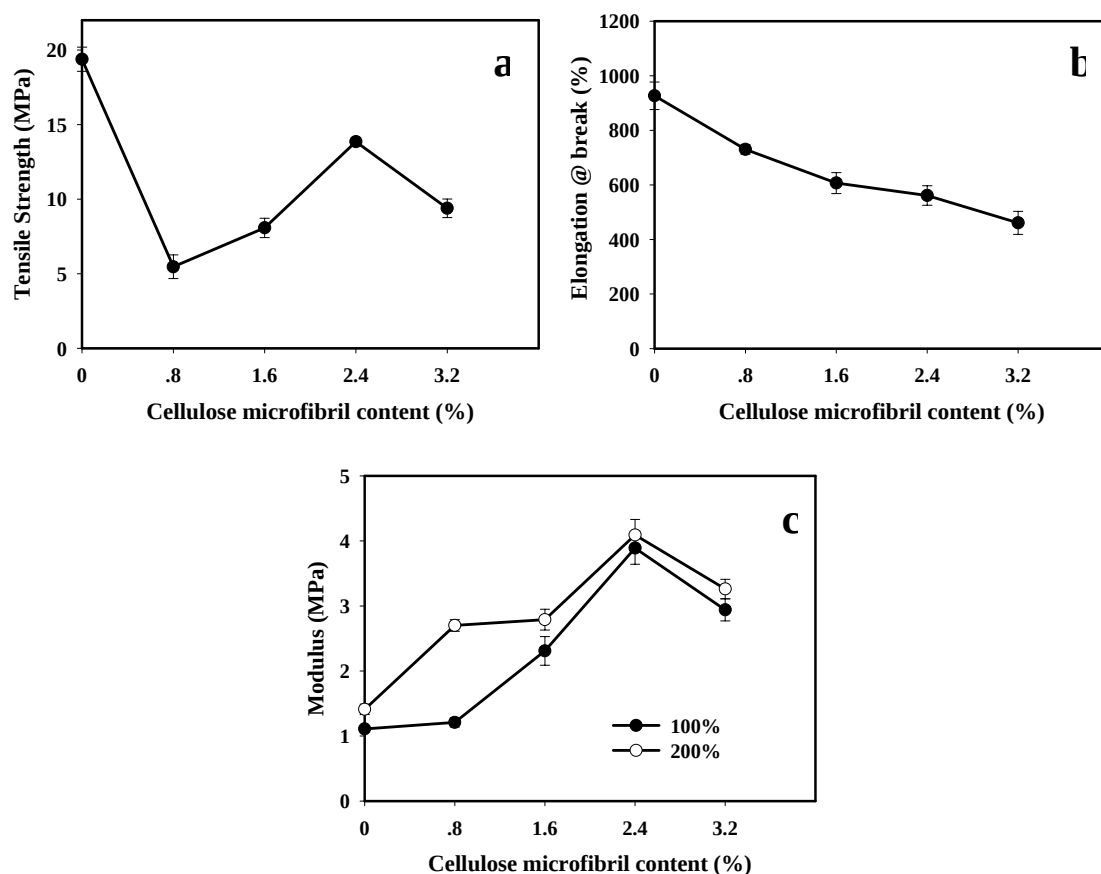
5. สมบัติทางกลของคอมพอสิตฟิล์ม

5.1 ความต้านทานแรงดึง

สมบัติด้านความทนแรงดึงของคอมพอสิตฟิล์มยางผสมสารเคมีผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริลในปริมาณต่าง ๆ ได้แก่สมบัติความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (%Elongation at break) และค่ายังส์มอดูลัส (Young's modulus) แสดงได้ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4a เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลต่าง ๆ โดยปกติค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางพารามีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 25-28 MPa [29] แต่จากรูปที่ 4a พบว่าคอมพอสิตฟิล์มน้ำยางที่ไม่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลมีค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วง 20 MPa ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานทั่วไปของยางมียาง นั่นอาจเกิดจากฟิล์มน้ำยางในการทดลองนี้อาจเกิดการคงรูปไม่สมบูรณ์ นั่นคือสภาวะในการคงรูปที่ใช้ อาจไม่เหมาะสม จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำกว่ามาตรฐาน แต่จากผลที่ได้พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงจะลดลง เมื่อเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ปริมาณ 0.8% เนื่องจากขาดการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสไมโครไฟบริลกับโมเลกุลของยางพารา เพราะความแตกต่างกันในด้านความเป็นขั้วของเซลลูโลสและยางพารา จึงมีผลทำให้คอมพอสิตฟิล์มมีสมบัติการต้านทานแรงดึงลดลง แต่เมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลในคอมพอสิตฟิล์มเพิ่มจาก 0.8% เป็น 2.4% จะทำให้การต้านทาน

แรงดึงของคอมพอสิตฟิล์มสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลทำให้เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่แทรกตัวอยู่ในเมทริกซ์ของยางพาราเกิดการพัน จึงมีผลทำให้ความต้านทานแรงดึงของคอมพอสิตฟิล์มสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลเป็น 3.2% กลับพบว่าคอมพอสิตฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่มากเกินไปทำให้เซลลูโลสไมโครไฟบริลเกิดการรวมตัวกันเอง แทนที่จะแทรกอยู่ในเมทริกซ์ของยางพารา จึงมีผลทำให้ความต้านทานแรงดึงลดลง

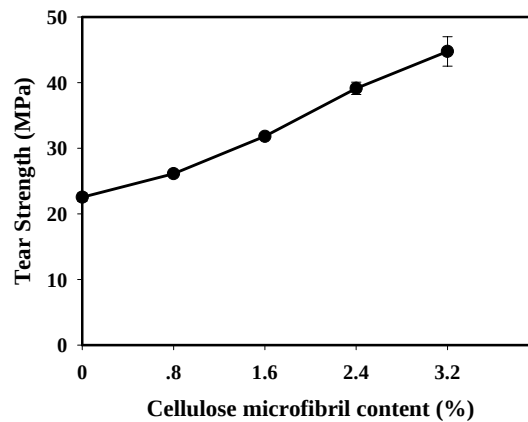


รูปที่ 4. สมบัติด้านความทนแรงดึงของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ
a) ความต้านทานแรงดึง b) เปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาด และ c) ยังสั้มอดูลัสที่ 100% และ 200%

จากรูปที่ 4b แสดงเปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาดของชิ้นงานทดสอบคอมพอสิตฟิล์มยางผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริล พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเซลลูโลสไมโครไฟบริลขัดขวางการยืดตัวของยาง และจากรูปที่ 4c แสดงให้เห็นถึงค่ายังสั้มอดูลัสที่ 100% และ 200% ของชิ้นงานทดสอบคอมพอสิตฟิล์มยางผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริล พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นในกรณีของการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลในปริมาณ 3.2% ค่ายังสั้มอดูลัสจะลดลงทั้งที่ 100% และ 200% โดยที่การเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ปริมาณ 2.4 % จะมีค่ายังสั้มอดูลัสสูงที่สุด การมีเซลลูโลสไมโครไฟบริลในคอมพอสิตฟิล์มยางบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการเสริมแรงของเซลลูโลสไมโครไฟบริล โดยให้ค่าสมบัติความต้านทานแรงดึงและมอดูลัสสูงสุดที่ปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ 2.4%

5.2 ความต้านทานแรงฉีกขาด

การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (Tear strength) ของคอมพอสิตฟิล์มยางผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริล ที่มีปริมาณ 0%, 0.8%, 1.6%, 2.4% และ 3.2% ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5. ความต้านทานแรงฉีกขาดของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดกับปริมาณเซลลูโลสต่างๆ ของคอมพอสิตฟิล์มยางผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริล พบว่าค่าความต้านทานแรงฉีกขาดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสไมโครไฟบริลซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยยาวทำให้คอมพอสิตฟิล์มมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นจากกลไก 3 ประการ [30] คือ การทำให้เกิด Crack deflection ซึ่งเซลลูโลสไมโครไฟบริลจะเข้าไปปะทะกับการฉีกขาด ทำให้การฉีกขาดเกิดการวอกวนมากขึ้น ทำให้ต้องใช้แรงมากขึ้นจึงจะฉีกขาดได้ ประการที่ 2 คือเซลลูโลสไมโครไฟบริลทำหน้าที่เป็น Crack bridging หรือเป็นสะพานตรึงรอยฉีกขาดขึ้น และช่วยทำให้เฟสของยางพารานั้นเข้ามาติดกัน ซึ่งถ้าต้องการให้เกิดการฉีกขาดต่อไป จะต้องใช้แรงที่มากขึ้น และในประการที่ 3 คือเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่อยู่ในเมทริกซ์ของยางพาราเกิดลักษณะที่เป็น Fiber pullout หรือเกิดความผิด เนื่องจากเส้นใยดึงพลังงานที่ดูดกลืนไว้ออกมา ซึ่งเป็นพลังงานที่จะทำให้คอมพอสิตฟิล์มเกิดการฉีกขาด ดังนั้นการทำให้คอมพอสิตฟิล์มฉีกขาดต้องใช้พลังงานมากขึ้น ซึ่งจากกลไกทั้ง 3 ประการนี้เองทำให้การเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลลงในฟิล์มน้ำยางพาราช่วยให้คอมพอสิตฟิล์มต้านทานการฉีกขาดได้มากขึ้นและเมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลในคอมพอสิตฟิล์มเพิ่มมากขึ้น การฉีกขาดของคอมพอสิตฟิล์มเกิดได้ยากขึ้นไปอีก จึงเป็นการยืนยันถึงสมบัติที่ดีขึ้นของยางพาราที่ผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริล

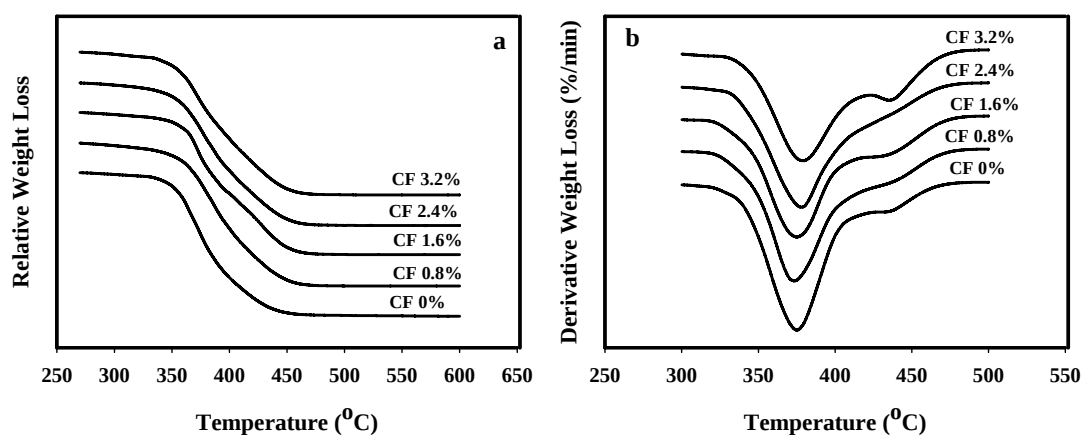
นอกจากนี้สมบัติทางกลที่เพิ่มขึ้นอาจเกี่ยวข้องกับความเปราะที่มากขึ้นทำให้ผลที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD คือเมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลเพิ่มมากขึ้นทำให้คอมพอสิตฟิล์มมีความเปราะเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้มีการต้านทานการฉีกขาดที่เพิ่มสูงขึ้น

6. สมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตฟิล์ม

ส่วนประกอบหลักของพีชประกอบไปด้วยเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน จากกราฟ TGA พบว่าเฮมิเซลลูโลสมีการสลายตัว (Degradation) ที่อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 220 - 380 องศาเซลเซียส รองลงมาคือเซลลูโลสสลายตัวในช่วงอุณหภูมิประมาณ 270 - 430 องศาเซลเซียส และลิกนินมีช่วงการสลายตัวกว้างและช้าที่สุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 220-530 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีทั้งสาม มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน [31] ในขณะที่ยางพารามีการสลายตัวเนื่องจากความร้อนสองช่วงอุณหภูมิ โดยช่วงแรกเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส และช่วงที่สองเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ส่วน

อุณหภูมิที่มีการลดลงของน้ำหนักประมาณ 50% อยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 387 องศาเซลเซียส และอัตราการลดลงของน้ำหนักอย่างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 380 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของการสลายตัวสมบูรณ์ของยางพาราและมีการสลายตัวเกือบ 100% ที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส [32] โดยปกติแล้วเซลลูโลสมีอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวที่สูงกว่ายางพารามาก เนื่องจากพันธะทางเคมีของเซลลูโลสไม่เป็นแบบ Cyclic จึงมีการสลายตัวได้ยากมาก ส่วนพันธะทางเคมีของยางเป็นแบบโซ่ตรงจึงมีการสลายตัวได้ง่าย จากสมบัติการสลายตัวเนื่องจากความร้อนที่แตกต่างกันนี้ จึงส่งผลต่อการสลายตัวของคอมพอสิตฟิล์ม

คอมพอสิตฟิล์มยางผสมเซลลูโลสไมโครไฟเบอร์มีค่าพฤติกรรมกรการสลายตัวเนื่องจากความร้อนดังรูปที่ 6 โดยรูปที่ 6a แสดงช่วงอุณหภูมิที่มีการสลายตัว (Weight loss) ของคอมพอสิตฟิล์มยางเนื่องจากได้รับความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ 300 ถึง 500 องศาเซลเซียส หลังจากช่วงนี้คอมพอสิตฟิล์มเกิดการสลายตัวเกือบ 100% และจากกราฟ DTG ดังรูปที่ 6b แสดงพฤติกรรมกรการสลายตัวของคอมพอสิตฟิล์มยางเป็น 2 ช่วง โดยการสลายตัวในช่วงแรกเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 370 องศาเซลเซียส และการสลายตัวในช่วงที่สองเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 440 องศาเซลเซียส ช่วงแรกจะมีการสลายตัวของคอมพอสิตฟิล์มยางมากที่สุด ซึ่งทั้งสองช่วงการสลายตัวของคอมพอสิตฟิล์มยางมีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่าในยางพารา เนื่องจากการเติมเซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ซึ่งมีอุณหภูมิของการสลายตัวที่สูงกว่าในยางพารา จึงทำให้คอมพอสิตฟิล์มยางมีสมบัติในการทนความร้อนได้ดีขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่มีการสลายตัวสูงสุดในช่วงเริ่มต้นของคอมพอสิตฟิล์มยางและอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของคอมพอสิตฟิล์มยางไป 50% แสดงดังตารางที่ 5



รูปที่ 6. พฤติกรรมทางความร้อนของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ปริมาณต่าง ๆ

a) กราฟ TGA และ b) กราฟ DTG

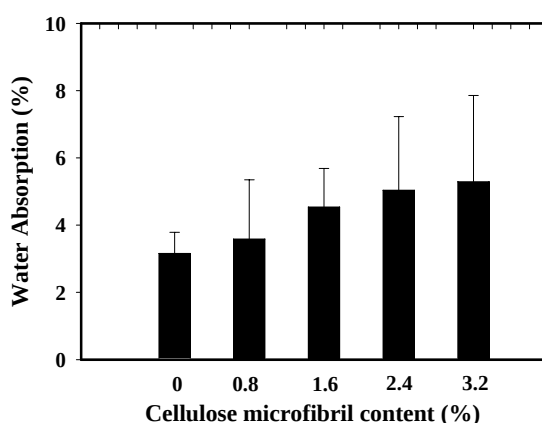
ตารางที่ 5 พฤติกรรมกรการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ปริมาณต่าง ๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิที่การสลายตัวสูงสุด (°C)	อุณหภูมิที่สลายตัว 50% (°C)
1. เซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ 0%	371	379
2. เซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ 0.8%	385	391
3. เซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ 1.6%	373	391
4. เซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ 2.4%	379	388
5. เซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ 3.2%	372	388

จากตารางที่ 5 เมื่อสังเกตอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดในช่วงเริ่มต้นของคอมพอสิตฟิล์มยาง มีค่าที่ใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิประมาณ 370-385 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวช่วงเริ่มต้นที่สูงกว่าในยางพารา เนื่องจากการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลซึ่งมีอุณหภูมิของการสลายตัวที่สูงกว่าในยางพารา จึงทำให้คอมพอสิตฟิล์มยางมีสมบัติในการทนความร้อนได้ดีขึ้น และเมื่อสังเกตอุณหภูมิการสลายตัวที่ 50% พบว่าคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลสามารถทนความร้อนได้ดีขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เติมในคอมพอสิตฟิล์มยางมีผลทำให้คอมพอสิตฟิล์มยางทนความร้อนได้มาก แต่เนื่องจากปริมาณของเซลลูโลสที่มีค่าใกล้เคียงกันในคอมพอสิตฟิล์มคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่น้อยมาก จึงทำให้มีผลต่อการทนความร้อนที่ใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิประมาณ 379-390 องศาเซลเซียส

7. สมบัติด้านการดูดซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์ม

เซลลูโลสมีสมบัติชอบน้ำ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่คอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำ ซึ่งแตกต่างจากแผ่นฟิล์มยางพาราที่ไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ เนื่องจากความไม่มีขั้วของยางพารา ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลจึงมีความจำเป็นในงานวิจัยนี้ โดยปริมาณการดูดซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7. เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์มยางผสมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่ปริมาณต่างๆ โดยพบว่าเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะความชอบน้ำ (Hydrophilic) ของเซลลูโลสไมโครไฟบริลทำให้คอมพอสิตฟิล์มสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้นเมื่อปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลเพิ่มมากขึ้น

8. สมบัติการรั่วซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์ม

การศึกษาสมบัติการรั่วซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์มยางทำได้โดยทำการเพิ่มเวลาในการทดสอบ เพื่อดูว่าชิ้นงานตัวอย่างเริ่มมีการรั่วซึมน้ำที่เวลาเท่าใด โดยทำการสังเกตเพิ่มทุกๆ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งครบเวลา 10 ชั่วโมง ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 6

ตาราง 6 สมบัติการรั่วซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลปริมาณต่าง ๆ

ตัวอย่าง	การรั่วซึมน้ำที่เวลาผ่านไป (ชั่วโมง)						
	2 นาที	4 นาที	2	4	6	8	10
1. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 0%	-	-	-	-	-	-	-
2. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 0.8%	-	-	-	-	-	-	-
3. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 1.6%	-	-	-	-	-	-	-
4. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 2.4%	-	-	-	-	-	-	-
5. เซลลูโลสไมโครไฟบริล 3.2%	-	-	-	-	-	-	+

หมายเหตุ : (-) ไม่ซึม, (+) ซึม

จากตารางที่ 6 ที่เวลา 2-4 นาที ตามมาตรฐาน มอก. 1056 2548 พบว่าไม่มีคอมพอสิตฟิล์มยางชนิดใดมีการรั่วซึมของน้ำ แต่เมื่อเวลาผ่านไป พบว่าปริมาณเซลลูโลสที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำได้เร็วขึ้นเนื่องจากเซลลูโลสมีหมู่ฟังก์ชันประกอบทางเคมีที่ชอบน้ำ เมื่อมีปริมาณเซลลูโลสที่มากจึงสามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้นและเกิดการส่งผ่านโมเลกุลของน้ำจึงทำให้โมเลกุลของน้ำซึมผ่านคอมพอสิตฟิล์มยางออกมาได้

เมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง พบว่าคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีเซลลูโลสไมโครไฟบริล 3.2% เกิดการซึมของน้ำ เนื่องจากสารเคมีมีผลในการช่วยต้านทานการซึมผ่านของน้ำเนื่องจากสารเคมีทำให้เกิดการครอสลิงก์ภายในคอมพอสิตฟิล์มเกิดพันธะที่เป็นโครงข่ายที่หนาแน่นมากขึ้นโมเลกุลของน้ำจึงไม่สามารถซึมผ่านคอมพอสิตฟิล์มได้ในขณะหนึ่ง แต่เมื่อทิ้งไว้ที่เวลานานขึ้น เซลลูโลสซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันประกอบทางเคมีที่ชอบน้ำ เมื่อมีปริมาณเซลลูโลสที่มากจึงสามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้นและเกิดการส่งผ่านโมเลกุลของน้ำเข้าไปภายในคอมพอสิตฟิล์มที่มีเซลลูโลสกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้โมเลกุลของน้ำซึมผ่านคอมพอสิตฟิล์มยางออกมาได้ในเวลาต่อมา

วิจารณ์ผล

เซลลูโลสไมโครไฟบริลที่สกัดจากเปลือกกล้วยสามารถใช้เป็นสารเพิ่มสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มน้ำยางพาราได้ โดยมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีสมบัติการต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เพิ่มขึ้น ส่วนในด้านสมบัติทางความร้อนนั้นเนื่องจากเซลลูโลสมีสมบัติทนความร้อนได้ดีกว่ายางพาราทำให้การเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลสามารถเพิ่มความต้านทานต่อความร้อนของฟิล์มยางพารา แต่ปริมาณของเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการทนต่อความร้อน เนื่องจากปริมาณของเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เติมอาจน้อยเกินไป

แต่ในขณะเดียวกันการเติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่มีสมบัติชอบน้ำก็มีผลทำให้แผ่นฟิล์มยางพารามีสมบัติที่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้นด้วย คือสามารถบวมตัวในน้ำได้เพิ่มขึ้นและไม่สามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำในระยะเวลาที่นานๆ ได้ ซึ่งสมบัติข้อนี้ถือว่าเป็นจุดเด่นที่แตกต่างจากฟิล์มยางพาราทั่วไปที่ใช้สารเสริมแรงชนิดอื่น ๆ การที่ฟิล์มยางพาราที่เติมเซลลูโลสไมโครไฟบริลสามารถดูดซับน้ำหรือยอมให้โมเลกุลของน้ำผ่านได้ ทำให้สามารถนำเอาแผ่นฟิล์มยางดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร ที่ต้องการความแข็งแรงแบบบางในขณะเดียวกันก็ต้องการความสามารถในการซึมผ่านของน้ำได้ เช่นผลิตเป็นถุงใส่ต้นกล้า เป็นต้น

ในแง่ของต้นทุนการผลิตจะเสียค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในด้านการสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริลจากเปลือกกล้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะเน้นในด้านของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลสไมโครไฟบริล ซึ่งมีค่าใช้จ่ายประมาณ 1000 บาทต่อการสกัด 1 ครั้ง (รวมค่าสามารถเคมี ค่าอุปกรณ์และค่าแรง) ซึ่งอาจเป็นค่าใช้จ่ายที่

ค่อนข้างสูง แต่ในอนาคตถ้ามีการเตรียมเซลล์โลสไมโครไฟบริลได้ในระดับอุตสาหกรรมก็จะทำให้มีราคาต่ำกว่านี้ ซึ่งอาจจะทำให้ต้นทุนได้มากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมแผ่นฟิล์มคอมพอสิตน้ำยางพาราที่มีการเติมเซลล์โลสไมโครไฟบริลที่สกัดได้จากผงเปลือกกล้วยน้ำว้า ด้วยเทคนิคการสกัดไซ-เบส-กรด เพื่อดูความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่เหมาะสมต่อไป โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อทำการขึ้นรูปคอมพอสิตฟิล์มที่มีการเติมเซลล์โลสไมโครไฟบริลในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0.8, 1.6, 2.4 และ 3.2% พบว่าคอมพอสิตฟิล์มที่มีการเติมเซลล์โลสไมโครไฟบริลในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นผลึกในคอมพอสิตฟิล์มยางเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตฟิล์ม จะมีภาพตัดขวางค่อนข้างเรียบ เนื่องจากมีพฤติกรรมการแตกหักแบบเปราะ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเซลล์โลสในคอมพอสิตมากขึ้น จะสังเกตเห็นความขรุขระ แสดงว่าพฤติกรรมการแตกหักเปลี่ยนไปเป็นแบบเหนียว ในขณะที่สมบัติทางกลของคอมพอสิตฟิล์มยาง พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานแรงฉีกขาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเซลล์โลสไมโครไฟบริลในคอมพอสิตฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณเซลล์โลสไมโครไฟบริลที่เหมาะสมที่สุด คือ 2.4% ส่วนสมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตฟิล์มพบว่า ช่วงอุณหภูมิที่มีการสลายตัวอยู่ในช่วงประมาณ 300 ถึง 500 องศาเซลเซียส เมื่อสังเกตอุณหภูมิที่มีการสลายตัวเท่ากับ 50% พบว่าคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีการเติมเซลล์โลสไมโครไฟบริลสามารถทนความร้อนได้เพิ่มขึ้น และจากสมบัติความชอบน้ำของเซลล์โลสไมโครไฟบริลทำให้คอมพอสิตฟิล์มสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเซลล์โลสไมโครไฟบริล ส่วนสมบัติการรั่วซึมน้ำของคอมพอสิตฟิล์ม พบว่าที่เวลา 2-4 นาที คอมพอสิตฟิล์มทุกชั้นไม่มีการรั่วซึมน้ำเกิดขึ้น แต่ในคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีปริมาณเซลล์โลสไมโครไฟบริลมากจะมีการรั่วซึมได้เร็วกว่าคอมพอสิตฟิล์มยางที่มีปริมาณเซลล์โลสไมโครไฟบริลน้อย

ข้อเสนอแนะ

ทดลองเปลี่ยนวัตถุดิบเบื้องต้น (Raw material) เป็นวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว กากมันสำปะหลัง และทดลองเปลี่ยนปริมาณเซลล์โลสที่เติมลงในคอมพอสิตฟิล์มยางให้มีความแตกต่างกันมากขึ้น เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมทั้งในด้านการขึ้นรูปและการวิเคราะห์สมบัติในด้านต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น

เนื่องจากความแตกต่างในด้านความเป็นขั้วของเซลล์โลสไมโครไฟบริลและยางพาราทำให้สารทั้งสองชนิดไม่สามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงได้ ดังนั้นอาจทำการวิจัยเพิ่มเติมโดยการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของเซลล์โลสให้มีหมู่ที่ไม่มีขั้วที่สามารถจะสร้างพันธะกับโมเลกุลของยาง ซึ่งอาจจะทำให้ได้คอมพอสิตฟิล์มที่มีสมบัติทางกลที่สูงกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

1. J.J.C. Busfield, C. Deeprasertkul, A.G. Thomas, "The effect of liquids on the dynamic properties of carbon black filled natural rubber as a function of pre-strain" **Polymer**, 41, 2000, Pages 9219-9225.
2. H.H. Cai, S.D. Li, T.G. Rian, H.B. Wang, J.H. Wang, "Reinforcement of natural rubber latex film by ultrafine calcium carbonate" **Journal of Applied Polymer Science**, 87, 2003, Pages 982-985.
3. M. Arroyo, M.A. Lopez-Manchado, B. Herrero, "Organo-montmorillonite as substitute of carbon black in natural rubber compounds" **Polymer**, 44, 2003, Pages 2447-2453.

4. Z. Peng, L.X. Kong, S.-D. Li, Y. Chen, M.F. Huang "Self-assembled natural rubber/silica nanocomposites: Its preparation and characterization" **Composites Science and Technology**, 67, 2007, Pages 3130-3139.
5. H. Angellier, S. Molina-Boisseau, A. Dufresne, "Mechanical properties of waxy maize starch nanocrystal reinforced natural rubber" **Macromolecules**, 38, 2005, Pages 9161-9170.
6. <http://academic.brooklyn.cuny.edu/biology/bio4fv/page/cellibios-formation.html>
7. R. Zuluaga, J.L. Putaux, A. Restrepo, I. Mondragon, and P. Ganan, "Cellulose microfibrils from banana farming residues: isolation and characterization", *Cellulose*, 14, 2007, Pages 585-592.
8. Y. Pu, J. Zhang, T. Elder, Y. Deng, P. Gatenholm, A.J. Ragauskas, "Investigation into nanocellulosics versus acacia reinforced acrylic films", **Composites Part B: Engineering**, 38, 2007, Pages 360-366.
9. J.F. Revol, L. Godbout, X. Dong, D.G. Gray, H. Chanzy, G. Maret, "Chiral nematic suspensions of cellulose crystallites phase separation and magnetic field orientation" **Liquid Crystal**, 16, 1994, Pages 127-134.
10. J.F. Revol, H. Bradford, J. Giasson, R.H. Marchessault, D.G. Gray, "Helicoidal self-ordering of cellulose microfibrils in aqueous suspension" **International Journal of Biological Macromolecules**, 14, 1992, Pages 170-172.
11. M.A.S. Azizi Samir, F. Alloin, M. Paillet, A. Dufresne, "Tangling effect in fibrillated cellulose reinforced nanocomposites" **Macromolecules**, 37, 2004, Pages 4313-4316.
12. J.X. Sun, X.F. Sun, H. Zhao, R.c. Sun, 2004, Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse, **Polymer Degradation and Stability**, 84, pp. 331-339.
13. D. Dubief, E. Samain, A. Dufresne, "A polysaccharide microcrystal reinforced amorphous poly (β -hydroxyoctanoate) nanocomposite materials" **Macromolecules**, 32, 1999, Pages 5765-5771.
14. M.N. Angles, A. Dufresne, "Plasticized starch/tunicin whiskers nanocomposites: 1. Structural analysis" **Macromolecules**, 33, 2000, Pages 8344-8353.
15. Y. Noshiki, Y. Nishiyama, M. Wada, S. Kuga, J. Magoshi, "Mechanical properties of silk fibroin-microcrystalline cellulose composite films" **Journal of Applied Polymer Science**, 86, 2002, Pages 3425-3429.
16. M. Grunert, W.T. Winter, "Nanocomposites of cellulose acetate butyrate reinforced with cellulose nanocrystals" **Journal of Polymer Environment**, 10, 2002, Pages 27-30.
17. V. Favier, G.R. Canova, J.Y. Cavaille, H. Chanzy, A. Dufresne, C. Gauthier, "Nanocomposites materials from latex and cellulose whisker" **Polymer Advanced Technology**, 6, 1995, Pages 351-355.
18. L. Chazeau, J.Y. Cavaille, G. Canova, R. Dendievel, B. Bouterin, "Viscoelastic properties of plasticized PVC reinforced with cellulose whisker" **Journal of Applied Polymer Science**, 71, 1999, Pages 1797-1808.
19. N. Ljungberg, J.Y. Cavaille, L. Heux, "Nanocomposites of isotactic polypropylene reinforced with rod-like cellulose whiskers" **Polymer**, 47, 2006, Pages 6285-6292.
20. J.Y. Cavaille, A. Dufresne, M. Paillet, M.A.S. Azizi Samir, F. Alloin, J.Y. Sanchez, **French Patent FR 2841255**.

21. L. Heux, G. Chauve, C. Bonini, "Nonflocculating and chairal-nematic self-ordering of cellulose microcrystals suspensions in nonpolar solvents" **Langmuir**, 16, 2000, Pages 8210-8212.
22. เบญจวรรณ บุญฉัตรสุริยา, พรรณภา ลาภผลโอฬาร, ศิริพงษ์ อุ้นแอบ, 2007, การสกัดแยกเซลลูโลสจากชานอ้อยด้วยตัวทำละลายกรดและด่าง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 6-24.
23. D.N.S. Hon, N. Shiraishi, M. Dekker, 1991, Wood and cellulose chemistry, **Chemical modification of cellulose. USA: Marcel dekker, Inc.**, pp. 22-57.
24. X. F. Sun, R.S.C. Sun, P. Fowler and M.R.S. Baird, 2004, Isolation and characterization of cellulose obtained by a two-stage treatment with organosolv and cyanamide activated hydrogen peroxide from wheat straw, **Carbohydrate Polymer**, 55, pp. 379-391.
25. วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2549, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน (**Natural Rubber: Production and Applications**), กรุงเทพฯ: ซีโนดีไซน์, หน้า 144-164.
26. นฤมล ชูบัวทอง, เลอสรวง เมฆสุด และ ประพันธ์ คูชลธรา, เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 17, ประจำปี 2550, ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อกระบวนการไพโรไลซิสและการเผาไหม้, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-2.
27. R. Asaletha, M. G. Kumaran and S. Thomas, 1998, Thermal behavior of natural rubber/polystyrene blends : thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis, **Journal of Polymer Degradation and Stability**, 61, pp. 431-439.
28. สิทธิพงษ์ อำนวยพานิชย์, วารสารวิจัย มข. 9(2): ก.ค. – ธ.ค. 2547, กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน(The Grafting of Polystyrene onto Natural Rubber), หน้า 86.
29. อนิดา เพ็ชรแก้ว และ วราภรณ์ ดันรัตน์กุล, 2548, อิทธิพลของยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและมอร์โฟโลยีของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิซิลิโคนเตตพอลิเอทิลีน, ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, หน้า 4
30. W. F. Smith, 2004, **Principles of Materials Science and Engineering**, pp. 509-547.
31. นฤมล ชูบัวทอง, เลอสรวง เมฆสุด และ ประพันธ์ คูชลธรา, เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 17, ประจำปี 2550, ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อกระบวนการไพโรไลซิสและการเผาไหม้, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-2.
32. R. Asaletha, M. G. Kumaran and S. Thomas, 1998, Thermal behavior of natural rubber/polystyrene blends : thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis, **Journal of Polymer Degradation and Stability**, 61, pp. 431-439.