



รายงานการวิจัย

ยางธรรมชาติดัดแปรเสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสจาก
กากมันสำปะหลัง

[Modified natural rubber reinforced with nanocellulose
from casava pulp]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

ยางธรรมชาติดัดแปรเสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสจาก กากมันสำปะหลัง

[Modified natural rubber reinforced with nanocellulose
from casava pulp]

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2559-2560
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2563

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง ยางธรรมชาติดัดแปรเสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลัง ได้รับ
ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และการสนับสนุนด้านเครื่องมือตลอดจนบุคลากรจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ ประกอบจากยางธรรมชาติ โดยได้ทำการศึกษาผลของปริมาณกากมันสำปะหลังต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทาง สันฐานวิทยาและสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์คอมพอสิตชีวภาพระหว่างยางธรรมชาติและกากมัน สำปะหลัง

กากมันสำปะหลังใช้ในการเตรียมเส้นใยนาโนเซลลูโลส โดยเริ่มจากการนำกากมันสำปะหลังผ่านการ ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และนำไปพอกต่อในสารละลายฟอกขาวโซเดียมคลอไรท์ สุดท้ายนำเส้นใยที่ได้ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยกรด โดยในขั้นสุดท้ายนี้เลือกกรดซัลฟูริกและกรด ไฮโดรคลอริกเพื่อเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพเส้นใย โดยงานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางสันฐานวิทยาของ เส้นใยที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสะท้อน ภาพ สันฐานวิทยาของเส้นใยนาโนเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสะท้อนพบว่าเส้นใยนาโนเซลลูโลสที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-30 นาโนเมตร โดยผล การวัดค่าดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้แสดงให้เห็นว่าส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลสในตัวอย่างได้ถูกกำจัดออกไป นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างผ่านกระบวนการปรับสภาพในแต่ละขั้น นอกจากนี้เมื่อทำ การวัดสมบัติทางความร้อนพบว่าเส้นใยนาโนเซลลูโลสมีความเสถียรต่อความร้อนมากกว่ากากมันสำปะหลัง

พอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างยางธรรมชาติและกากมันสำปะหลัง เตรียมโดยการผสมกากมัน สำปะหลังและยางธรรมชาติด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีการใช้ยางธรรมชาติตัดแปรด้วยไกลซีดีลเม ทาคริเลตเป็นตัวเชื่อมประสาน โดยในการวิจัยนี้ศึกษาผลของปริมาณของกากมันสำปะหลังต่อสมบัติของพอลิ เมอร์คอมพอสิตระหว่างยางธรรมชาติและกากมันสำปะหลัง พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงยึดของพอลิเมอร์ คอมพอสิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของกากมันสำปะหลังจนถึงปริมาณกากมันสำปะหลังที่ 20 ส่วน ใน 100 ส่วนของยาง ความสามารถในการดึงยึดของพอลิเมอร์คอมพอสิตไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ กากมันสำปะหลัง และนอกจากนี้พบว่ามอดุลัสของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณ ของกากมันสำปะหลัง

พอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างเส้นใยนาโนเซลลูโลส พอลิแลคติกแอซิดกับยางธรรมชาติเตรียมโดยการ ผสมยางธรรมชาติ เส้นใยนาโนเซลลูโลสและสารที่ทำให้ยางคงรูปด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง หลังจากนั้น ยางผสมที่ได้จะถูกนำไปหลอมผสมกับพอลิแลคติกแอซิดในเครื่องผสมระบบปิด ยางธรรมชาติตัดแปรใช้ เป็นตัวเชื่อมประสานในระบบนี้ ศึกษาผลของปริมาณยางธรรมชาติ ปริมาณตัวเชื่อมประสาน และปริมาณของเส้น ใยนาโนเซลลูโลสต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางสันฐานวิทยา และสมบัติเชิงความร้อน พบว่าค่าความทนต่อ แรงกระแทกและความทนต่อแรงดึงยึดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติในพอลิเมอร์คอมพอสิต

นอกจากนี้ มีการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการเกิดผลึกในของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอ ซิดกับยางธรรมชาติโดยเปรียบเทียบทั้งที่เติมและไม่เติมเส้นใยนาโนเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลัง พบว่า อัตราการเติบโตของผลึกพอลิแลคติกแอซิดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติ และอัตราการเติบโต ของผลึกพอลิแลคติกแอซิดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเติมเส้นใยนาโนเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลัง

ABSTRACT

Due to the increasing demand of alternatives to unrenovable petroleum supplies, the use of renewable materials for industrial applications is becoming more important. In this regard, cellulose microfibrils (CM) extracted from cassava pulp (CP) is one of the most promising materials. The objective of this work was to develop a simple chemical treatment process to obtain cellulose microfibrils from CP. This process included usual chemical procedures such as alkaline extraction and acid hydrolysis. The alkali and acid treatments of CP were carried out by using NaOH and HCl solutions, respectively. In an effort of finding the optimal conditions for these chemical procedures, various reactions with different temperatures and times were carried out. Besides that, order of two reactions (alkaline extraction and acid hydrolysis) was also varied in order to find out a proper reaction order for this chemical treatment. The morphological structure, chemical composition, degree of crystallinity and thermal properties of obtained CM were investigated by using scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), and thermogravimetric analysis (TGA). The results demonstrate that this alkali – acid treatment can remove partially non-cellulosic materials from the structure of fibers and result in higher thermal stability and degree of crystallinity.

Cassava pulp (CP) is an inexpensive and broadly available waste by-product from cassava starch production. This by-product is basically constituted of cellulose fiber and residual starch. In this study, cassava pulp was mixed with natural rubber (NR) with various contents using two roll mills to obtain CP/NR composites. Natural rubber grafted glycidyl methacrylate (NR-g-GMA) was used as compatibilizer in CP/NR/NR-g-GMA composites. Sulfur conventional vulcanization was used. The composite specimens were prepared by compression molding. Mechanical properties and morphological properties of composites were

investigated. The results showed that tensile strength was significantly increased with increasing content of cassava pulp up to 20 phr. However, when cassava pulp was increased more than 30 phr, tensile strength was slightly decreased. Elongation at break of NR composites was not changed with increasing cassava pulp. The modulus of NR composites was increased with increasing cassava pulp content. Morphological properties of CP/NR composites were elucidated as well.

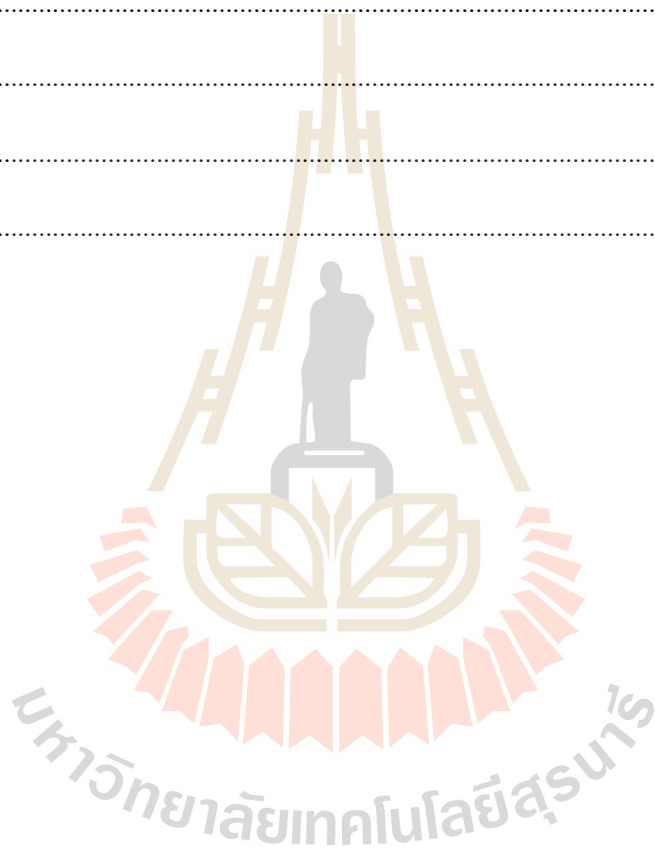


สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
ABSTRACT	ค
สารบัญ	จ
สารบัญ (ต่อ)	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	13
2.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง	13
2.2 การเตรียมนาโนเซลลูโลส	13
2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยและสัณฐานวิทยา	14
2.4 การเตรียมยางธรรมชาติดัดแปร และการผสมนาโนเซลลูโลสกับยางธรรมชาติดัดแปร	14
2.5 การตรวจสอบสมบัติทางกลและสัณฐานวิทยา	14
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	15
3.1 การวิเคราะห์เส้นใยนาโนเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลัง	15
3.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย	15
3.1.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใย	16
3.1.3 การวิเคราะห์หาเอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค FTIR	17

3.1.4 การวิเคราะห์หาเอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค XRD	18
3.2 การศึกษาอย่างธรรมชาติดัดแปรและการผสมนาโนเซลลูโลสกับยางธรรมชาติดัดแปร	19
3.2.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของกากมันสำปะหลัง	22
3.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติดัดแปรและการผสมนาโนเซลลูโลสกับยางธรรมชาติดัดแปร.....	19
3.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ.....	22
บทที่ 4 บทสรุป.....	24
บรรณานุกรม.....	25
ภาคผนวก.....	31
ประวัติผู้วิจัย.....	32



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงองค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติ.....	5
ตารางที่ 1.2 ตารางแสดงสมบัติของเส้นใยธรรมชาติ.....	5
ตารางที่ 3.1. องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง.....	15
ตารางที่ 3.2. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ กากมันสำปะหลัง (CP), กากมันสำปะหลังที่ผ่านการ	15
ตารางที่ 3.3 ค่าดัชนีความเข้มของผลึก(CrI) ของ CP, TCP, BCP, CNFc และ CNFso.....	19
ตารางที่ 3.4 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์(Curing time) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางกับกากมัน สำปะหลัง (CP)	19



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ภาพแสดงกราฟจำนวนวารสารที่เกี่ยวข้องกับนาโนเซลลูโลส.....	6
ภาพที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส.....	6
ภาพที่ 1.3 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	8
ภาพที่ 1.4 การนำนาโนเซลลูโลสไปใช้ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ชนิดต่างๆ	11
ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของกากมันสำปะหลัง (a) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยแอลคาไลน์ (b) และ กากมันสำปะหลังที่ผ่านการฟอกขาว (c)	16
ภาพที่ 3.2 เส้นใยนาโนเซลลูโลสที่ผ่านการฟอกขาวโดยกรดไฮโดรคลอริก(a) และ กรดซัลฟิวริก(b).....	17
ภาพที่ 3.3 แสดง FTIR spectra ของ CP, TCP, BCP, CNFc และ CNFso.....	18
ภาพที่ 3.4 X-ray diffraction patterns of CP, TCP, BCP, CNFc and CNFso.....	18
ภาพที่ 3.5 แสดงลักษณะของกากมันสำปะหลัง.....	19
ภาพที่ 3.6 Tensile strength of natural rubber composites	20
ภาพที่ 3.7 Elongation at break of natural rubber composites.....	20
ภาพที่ 3.8 300% modulus of natural rubber composites.....	21
ภาพที่ 3.9 SEM micrographs of composites a) NRP b) CP10 c) CP20 d) CP30.....	22
ภาพที่ 3.10 SEM micrographs of composites a) NRG b) CP10G c) CP20G d) CP30G.....	22

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อน แนวทางในการแก้ไขปัญหาที่สำคัญได้แก่การลดปริมาณการใช้พลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตธรรมชาติเพื่อใช้ทดแทนการใช้พลาสติกที่ไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถทำได้โดยการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตธรรมชาติที่ใช้วัสดุเสริมแรงหรือวัสดุตัวเติมจากธรรมชาติ เช่น เส้นใยธรรมชาติ ยางธรรมชาติ ไคโตซาน หรือการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตธรรมชาติที่ใช้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ (biodegradable polymers) ซึ่งทั้งสองแนวทางนี้จะเป็นแนวทางการวิจัยของโครงการเพื่อตอบสนองต่อนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัย ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) 1 ใน 13 กลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วน (Priority-based Research Areas) คือ เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังตอบสนองโดยตรงต่อ 2 ยุทธศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ยุทธศาสตร์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลังประเทศไทย(พ.ศ.2555-2559)และยุทธศาสตร์วิจัยยางพาราแห่งชาติ (พ.ศ. 2555-2559) ในงานวิจัยนี้จะเป็นการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบัน บางประเทศมีการกำหนดปริมาณของพลาสติกที่ใช้ในสินค้าบางประเภทโดยเฉพาะชิ้นส่วนยานยนต์ บรรจุภัณฑ์บางประเภทที่จะส่งเข้าไปขายในประเทศนั้นๆ โดยเฉพาะประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปได้ออกกฎหมายสำหรับวัสดุพลาสติกที่นำเข้ามาจากต่างประเทศว่าต้องมีส่วนประกอบที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติในปริมาณที่กำหนด ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ที่มีส่วนประกอบที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศ เป็นการเตรียมความพร้อมเพื่อรับมือกับข้อกำหนดของประเทศคู่ค้าในการส่งออกผลิตภัณฑ์พลาสติก ตามข้อมูลจากแผนที่นำทางแห่งชาติ เรื่อง การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ (พ.ศ. 2551 – 2555) ตามนโยบายการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจในกลุ่มอุตสาหกรรมเพื่ออนาคต ประเทศไทย มีความอุดมสมบูรณ์ด้านชีวมวล (biomass) และมีวัตถุดิบด้านการเกษตรที่มีศักยภาพทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ โดยเฉพาะ มันสำปะหลังและยางพารา

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ เพราะนอกจากประเทศไทยได้ก้าวขึ้นสู่การเป็นประเทศผู้ผลิตยางอันดับ1 ของโลกตั้งแต่ปี 2534 ยังได้มีการขยายพื้นที่ปลูกไปยังทุกภูมิภาคทั่วประเทศ ล่าสุดเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2553 คณะรัฐมนตรีได้อนุมัติโครงการปลูกยางในพื้นที่ใหม่อีกกว่า 8 แสนไร่ภายในปี 2553-2555 จากข้อมูลปี 2552 ที่ผ่านมามีการส่งออกยางพาราในรูปวัตถุดิบ 87% คิดเป็นมูลค่า ประมาณ 146 ล้านบาท และส่งออกผลิตภัณฑ์ยาง 13% กลับสร้างมูลค่าสูงถึงประมาณ 153 ล้านบาท (ข้อมูลจาก: www.rubberthai.com โดย สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร) ยางพาราจึงเป็นสินค้าเกษตรที่ทำรายได้

สูงเข้าประเทศเป็นอันดับ 1 รายได้จากยางพาราได้กระจายไปสู่เกษตรกรเจ้าของสวนยางและผู้เกี่ยวข้องมากกว่า 1 ล้านครัวเรือน นอกจากนี้ราคายางยังคงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกษตรกรที่ปลูกพืชอื่นหันมาปลูกยางพารากันอย่างแพร่หลาย แนวทางการแก้ปัญหาหากราคายางลดลง คือการสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมยางพาราทั้งระบบ โดยเฉพาะการเพิ่มมูลค่าโดยการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีศักยภาพในการส่งออก นอกเหนือจากการพึ่งพาการส่งออกวัตถุดิบเป็นหลัก

สำหรับมันสำปะหลัง ประเทศไทยไม่ใช่ผู้ผลิตมันสำปะหลังอันดับหนึ่งของโลก และประชากรไทยไม่บริโภคมันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ประเทศไทยจึงส่งออกผลผลิตแปรรูปมันสำปะหลังเป็นอันดับหนึ่งต่อเนื่องกันมาหลายปี การส่งออกในปี 2552 มีมูลค่า 47,800 ล้านบาท แม้มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ (มันเส้น มันอัดเม็ด แป้ง) ไม่สูงเมื่อเทียบกับการส่งออกข้าวหรือยาง แต่การใช้มันสำปะหลังในประเทศก่อให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องในประเทศมูลค่ามากกว่า 300,000 ล้านบาท และมีการจ้างงานประมาณ 1 ล้านคน ทั้งนี้ไม่นับรวมเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังของประเทศอีก 2.6 ล้านคน รูปแบบการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังในปัจจุบันยังเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปเบื้องต้น ขณะที่ความต้องการผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มจากมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล การผลิตกรดแล็กติก (Lactic acid) รวมทั้งการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ยา เคมีภัณฑ์ ทำความสะอาดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมของเหลวสำหรับใช้งานด้านอนามัยทางการแพทย์ เป็นต้น

จากการที่ประเทศไทยยังมีอุตสาหกรรมปลายน้ำที่แข็งแกร่ง ได้แก่ อุตสาหกรรมพลาสติก ในการรองรับการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ โดยผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ถุง กระจสบพลาสติก และแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจรวมเป็นมูลค่ากว่า 200,000 ล้านบาท ดังนั้นจึงเป็นโอกาสของประเทศไทยในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรของประเทศ เช่น มันสำปะหลังและยางพารา การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ จากยางธรรมชาติและมันสำปะหลัง นอกจากเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติและมันสำปะหลังแล้ว ยังรักษาเสถียรภาพราคายางธรรมชาติและมันสำปะหลัง อันจะนำไปสู่การกินดีอยู่ดีของเกษตรกร ในขณะที่เดียวกันจะลดการพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบปิโตรเลียมสำหรับอุตสาหกรรมพลาสติกทั่วไป และยังสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศในด้านการค้าของผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อันจะส่งผลให้ประเทศไทยสามารถก้าวขึ้นสู่ความเป็นผู้นำของอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพในภูมิภาคต่อไป ดังนั้นแนวทางการศึกษาการนำมันสำปะหลังและยางพาราผลิตเป็นวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตธรรมชาติจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการศึกษาเพื่อจะเป็นประโยชน์ในการใช้งานของพลาสติกชีวภาพที่ประเทศไทยจะผลิตได้ในอนาคต

จากข้อดีและข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่างานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่สำคัญ และจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้องทำเนื่องจากจะมีผลกระทบต่อขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทยต่อนานาประเทศ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากในประเทศอื่นๆ ได้พัฒนาการพลาสติก

ชีวภาพที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปขึ้นรูปไปนานแล้วและในอีกหลายประเทศก็มีการวิจัยทางด้านนี้อยู่ ทำให้ประเทศไทยผู้ซึ่งเป็นผู้ส่งออกวัตถุดิบสำคัญในการผลิตพลาสติกชีวภาพให้ต่างประเทศและต้องเป็นผู้สั่งซื้อพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากต่างประเทศเข้ามาผลิตหรือขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ อาจไม่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศในการส่งออกสินค้าที่ผลิตด้วยพลาสติกชีวภาพเพราะต้นทุนของเม็ดพลาสติกชีวภาพที่สูงถ้าประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตพลาสติกชีวภาพหรือมีสูตรคอมพาวด์พลาสติกชีวภาพที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่ต่างประเทศผลิตขายโดยมีราคาถูกกว่า

จากผลการศึกษาของผู้วิจัยที่ผ่านมาพบว่า การนำยางธรรมชาติดัดแปรในอัตราส่วนเพียงเล็กน้อย ผสมกับพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และยางธรรมชาติ ทำให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกและ%การดึงยืดออกของพลาสติกชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างมากประมาณ 300 %ของพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ผสมยางธรรมชาติ และมีค่าใกล้เคียงกับพลาสติกชีวภาพผสมที่ขายในทางการค้า แต่ราคาของพลาสติกชีวภาพผสมยางธรรมชาติจะให้ราคาที่ถูกกว่าประมาณ 2-3 เท่า

การใช้แป้งมันสำปะหลังมาผสมกับยางธรรมชาติเพื่อให้ได้วัสดุคอมโพสิตชีวภาพชนิดใหม่เป็นอีกแนวทางหนึ่งของการวิจัยที่น่าสนใจเนื่องจากการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีในประเทศไทย แต่จะมีปัญหาและอุปสรรคของการผสมกันระหว่างยางธรรมชาติกับแป้งในการให้ได้วัสดุคอมโพสิตที่มีความสามารถเข้ากันได้เนื่องจากการมีขี้ที่แตกต่าง และขนาดอนุภาคของแป้งที่มีขนาดใหญ่

ในการวิจัยครั้งนี้จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงความเข้ากันได้ของแป้งและยางธรรมชาติ โดยการลดความเป็นขี้ของแป้งและเพิ่มความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติ เพื่อให้วัสดุคอมโพสิตชีวภาพที่ได้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมภาชนะได้ นอกจากนี้ หากนำไปผสมกับพอลิแลคติกแอซิดจะทำให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ และยอมให้อากาศผ่านได้น้อยเพราะคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่ยอมให้อากาศผ่านได้น้อย ทำให้สามารถนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเกษตรได้หลากหลายเช่นฟิล์มคลุมดิน ถังบรรจุปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้สินค้าทางการเกษตร ทำให้ประเทศไทยสามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืนจากการใช้ทรัพยากรในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

การพัฒนาและวิจัยให้ได้นาโนเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลังเพื่อนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติดัดแปร

1.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

วัสดุคอมโพสิต เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปวัสดุคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (matrix) และวัสดุเสริมแรง (reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลักจะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยให้เพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลักให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน

อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (base materials) อย่างโลหะ เซรามิกส์ หรือพอลิเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภทโดยลำพัง ด้วยคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง และโครงสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์และวัสดุการแพทย์ เป็นต้น

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ เพราะนอกจากประเทศไทยได้ก้าวขึ้นสู่การเป็นประเทศผู้ผลิตยางอันดับ 1 ของโลกตั้งแต่ปี 2534 ยังได้มีการขยายพื้นที่ปลูกไปยังทุกภูมิภาคทั่วประเทศ ล่าสุดเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2553 คณะรัฐมนตรีได้อนุมัติโครงการปลูกยางในพื้นที่ใหม่อีกกว่า 8 แสนไร่ภายในปี 2553-2555 จากข้อมูลปี 2552 ที่ผ่านมามีการส่งออกยางพาราในรูปวัตถุดิบ 87% คิดเป็นมูลค่า ประมาณ 146 ล้านบาท และส่งออกผลิตภัณฑ์ยาง 13% กลับสร้างมูลค่าสูงถึงประมาณ 153 ล้านบาท (ข้อมูลจาก: www.rubberthai.com โดย สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร) ยางพาราจึงเป็นสินค้าเกษตรที่ทำรายได้สูงเข้าประเทศเป็นอันดับ 1 รายได้จากยางพาราได้กระจายไปสู่เกษตรกรเจ้าของสวนยางและผู้เกี่ยวข้องมากกว่า 1 ล้านครัวเรือน นอกจากนี้ราคายางยังคงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกษตรกรที่ปลูกพืชอื่นหันมาปลูกยางพารากันอย่างแพร่หลาย แนวทางการแก้ปัญหาหากราคายางลดลง คือการสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมยางพาราทั้งระบบ โดยเฉพาะการเพิ่มมูลค่าโดยการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีศักยภาพในการส่งออก นอกเหนือจากการพึ่งพาการส่งออกวัตถุดิบเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติมีข้อเสียบางประการเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์ การพัฒนายางธรรมชาติโดยการตัดแปรรูป หรือการทำเป็นวัสดุคอมโพสิตมีอยู่หลากหลายวิธี

ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ของผู้วิจัยแสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการเตรียมยางธรรมชาติตัดแปรรูปด้วยไกลซีดิลเมทาคริเลท โดยใช้วิธีการอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน จากการทดลองพบว่าไกลซีดิลเมทาคริเลทสามารถกราฟท์ลงบนยางธรรมชาติได้โดยวิธีการอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมยางธรรมชาติตัดแปรรูปด้วยไกลซีดิลเมทาคริเลท คือ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเวลา 8 ชั่วโมง ยางธรรมชาติตัดแปรรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ได้ตัดแปรรูปมาก อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงต่อการดึงยังต่ำอยู่

การปรับปรุงคุณสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์โดยทั่วไปมีอยู่หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมกันมาก คือ การใส่สารเสริมแรง (reinforcing agent) เช่น เส้นใยชนิดต่าง ๆ เมื่อความตึงตัวในด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น เส้นใยที่นิยมนำมาใช้ในการเสริมแรงจะเป็นเส้นใยธรรมชาติ เช่น เรยอน ป่าน ปอ ขนไก่ เซลลูโลส และเส้นใยอื่นๆ ซึ่งพบว่าเส้นใยเหล่านี้สามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลให้พอลิแลคติกแอซิดได้เป็นอย่างดี ช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการทนแรงกระแทก แรงดึง ทนความร้อนได้ดีขึ้น

เส้นใยธรรมชาติจากแหล่งที่มาต่างกันจะมีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และองค์ประกอบอื่นๆในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงองค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติ

Type of fiber	Cellulose (%)	Lignin (%)	Hemicellulose (or Pentosan) (%)	Pectin (%)	Ash (%)
A. Bast fiber					
Fiber flax	71	2.2	18.6–20.6	2.3	–
Seed flax	43–47	21–23	24–26	–	5
Kenaf	31–57	15–19	21.5–23	–	2–5
Jute	45–71.5	12–26	13.6–21	0.2	0.5–2
Hemp	57–77	3.7–13	14–22.4	0.9	0.8
Ramie	68.6–91	0.6–0.7	5–16.7	1.9	–
B. Core fiber					
Kenaf	37–49	15–21	18–24	–	2–4
Jute	41–48	21–24	18–22	–	0.8
C. Leaf fiber					
Abaca	56–63	7–9	15–17	–	3
Sisal	47–78	7–11	10–24	10	0.6–1
Henequen	77.6	13.1	4–8	–	–

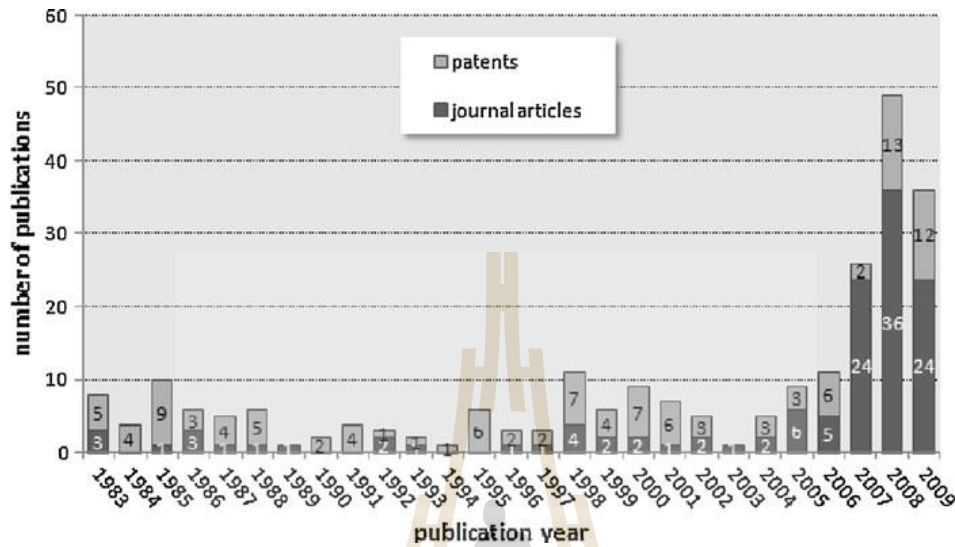
ความแข็งแรงของเส้นใยพืชแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกัน ตามตารางด้านล่างซึ่งแสดงสมบัติของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

ตารางที่ 1.2 ตารางแสดงสมบัติของเส้นใยธรรมชาติ

Fiber	Density (g/cm ³)	Elongation (%)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)
Cotton	1.5–1.6	3.0–10.0	287–597	5.5–12.6
Jute	1.3–1.46	1.5–1.8	393–800	10–30
Flax	1.4–1.5	1.2–3.2	345–1500	27.6–80
Hemp	1.48	1.6	550–900	70
Ramie	1.5	2.0–3.8	220–938	44–128
Sisal	1.33–1.5	2.0–14	400–700	9.0–38.0
Coir	1.2	15.0–30.0	175–220	4.0–6.0
Softwood kraft	1.5	–	1000	40.0
E-glass	2.5	2.5–3.0	2000–3500	70.0
S-glass	2.5	2.8	4570	86.0
Aramide (normal)	1.4	3.3–3.7	3000–3150	63.0–67.0
Carbon (standard)	1.4	1.4–1.8	4000	230.0–240.0

เส้นใยพืชโดยทั่วไปจะประกอบด้วยเซลลูโลส ไมโครไฟบริล ซึ่งภายในไมโครไฟบริลเหล่านี้จะประกอบด้วยนาโนไฟเบอร์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 5-50 นาโนเมตร การใช้กระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดจะช่วยแยกส่วนที่เป็นผลึกออกจากบริเวณอสัณฐานและได้ค่า elastic modulus ถึง 150 GPa ซึ่งสูงกว่าเส้นใยแก้ว S-glass (86 GPa) และเส้นใย Aramid (65 GPa) (Samir et al. 2004) นาโนเซลลูโลส จึงเป็นสารตัว

เติมอีกชนิดที่ได้จากการสกัดจากวัสดุธรรมชาติที่นักวิจัยได้ให้ความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน ดังแสดงในกราฟต่อไปนี้

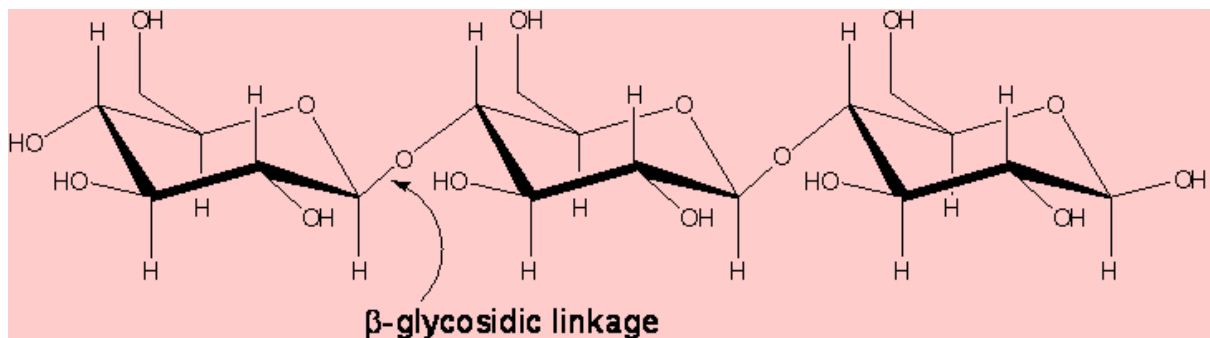


ภาพที่ 1.1 ภาพแสดงกราฟจำนวนวารสารที่เกี่ยวข้องกับนาโนเซลลูโลส

สิ่งท้าทายที่ยังคงให้คั่นคว้าคือความยากในการสกัดเซลลูโลสจากวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆให้ได้ในระดับนาโนเมตรและความสามารถในการนำไปขึ้นรูปเป็นนาโนคอมโพสิตเพื่อการใช้งานจริงในอุตสาหกรรม

องค์ประกอบหลักของเส้นใยจากพืช :

ก. เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) ในพืช เกิดจากหน่วยของ D-กลูโคส มาจับต่อกันด้วยพันธะ β -1, 4' ไกลโคซิดิก (β -1, 4' glycosidic bond) เซลลูโลสมีลักษณะเป็นโซ่ยาว เมื่อมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่ของเซลลูโลสนี้ จึงทำให้เกิดเป็นเส้นใยที่เรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril) เซลลูโลสไม่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกต์ แต่ถ้าไฮโดรไลซ์เซลลูโลสด้วยการต้มกับสารละลายกรด เซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซ์ได้กลูโคส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกต์



ภาพที่ 1.2 แสดง โครงสร้างของเซลลูโลส

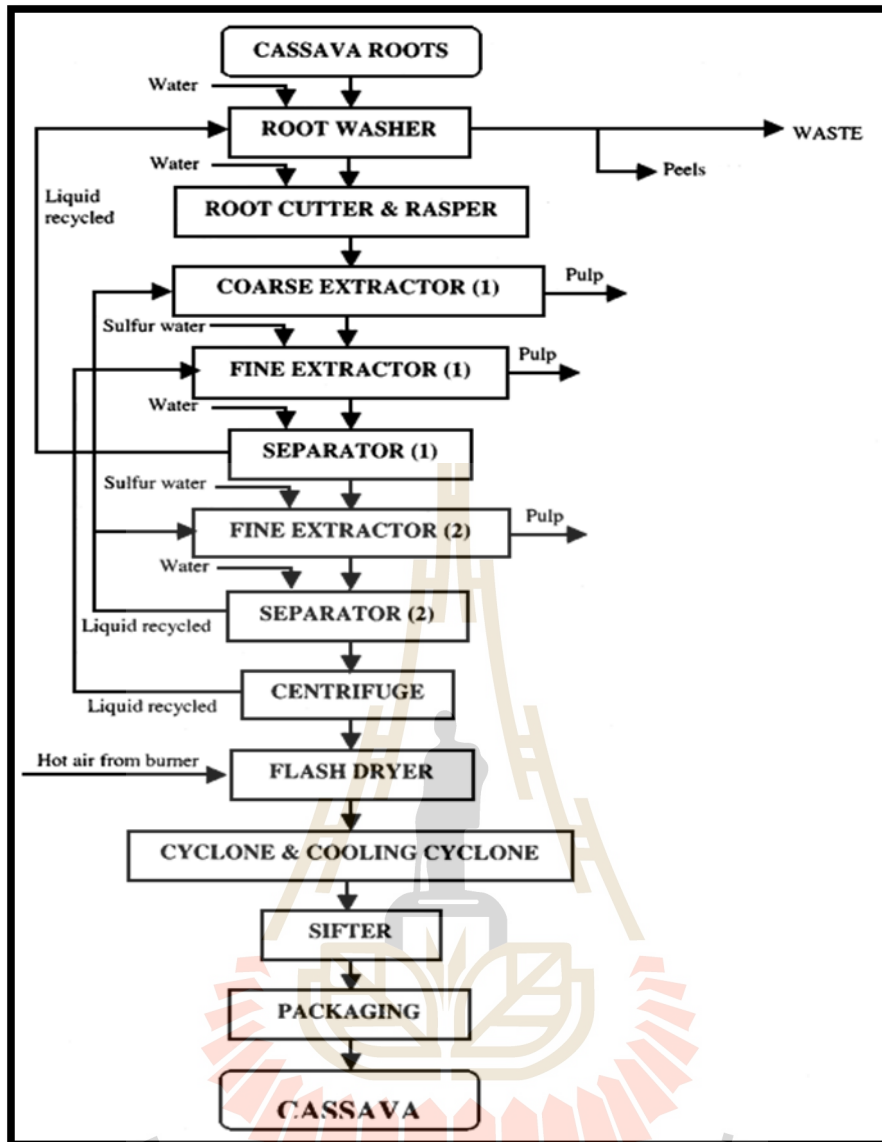
ข.เฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยว (Monosaccharide) ชนิดต่างๆ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเป็นจำนวน 100 โมเลกุล ที่มีคุณสมบัติในการละลายเหมือนกันคือ ละลายได้ในสารละลายต่าง น้ำตาลเชิงเดี่ยวนี้แบ่งได้ 2 ชนิดคือ เพนโทแซนส์ (pentosans) และเฮกโซแซนส์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non cellulose hexosans) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบมากในเฮมิเซลลูโลสคือ ดี-ไซแลนส์ (D-xylans) และ ดี-กลูโค-ดีแมนแนนส์ (D-gluco-D-mannans) และมีไซต์แซนส์เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น แอล-อะราบิโนส (L-arabinoses)

ค.ลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ที่พืชผลิตเมื่อแก่ขึ้น ทำให้ส่วนต่างๆ ของพืชมีโครงสร้างที่แข็งแรง เช่น เปลือกนอกของธัญพืช ซึ่งถูกทำลายในกระบวนการขัดสี

กากมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) อาจเรียกว่า cassava starch คือสตาร์ช (starch) ที่ผลิตได้จากหัวมันสำปะหลัง (tapioca) การผลิตแป้งมันสำปะหลัง (Native Tapioca Starch) มีดังนี้





ภาพที่ 1.3 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

หลังจากที่หัวมันสำปะหลังส่งมายังโรงงานจะเข้ากระบวนการแปรรูปดังนี้

1 การเตรียมวัตถุดิบ คือการทำความสะอาดหัวมันสำปะหลัง และปอกเปลือก

2. โม่หัวมัน (Rasp) : หลังจากมันสำปะหลังผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้ว จะถูกนำเข้าสู่เครื่องโม่หัวมัน (Root Chopper) ก่อนเพื่อสับเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว จากนั้นเข้าเครื่องโม่ (Rasper) เพื่อบดหัวมันพร้อมเติมน้ำให้สามารถโม่ได้ง่ายขึ้น ได้มันบดมีลักษณะเป็นของเหลวข้น

(Middle Fresh Pulp) ที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และ สารอาหารต่างๆ รวมทั้งสิ่งเจือปนต่าง ๆ

3. เครื่องแยกกากหยาบ (Coarse Extractor) : เครื่องแยกกากจะทำการแยกกากมันสำปะหลังที่ไม่ได้ใช้ในกระบวนการผลิตออกจากน้ำแป้ง โดยน้ำแป้งที่ได้จากเครื่องโม่หัวมัน จะมาผ่านเครื่องแยกกากหยาบ 2 ครั้ง กากหยาบที่ได้จากกระบวนการผลิตนี้จะถูกส่งต่อไปยังโรงอัดกาก
4. เครื่องแยกกากละเอียด (Fine Extractor) : น้ำแป้งภายหลังจากผ่านเครื่องแยกกากหยาบ มาแล้วนั้น ยังมีเยื่อของมันสำปะหลังหรือกากอ่อนรวมอยู่ในน้ำแป้ง ซึ่งจะทำให้ น้ำแป้งที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ดังนั้นน้ำแป้ง ภายหลังจากผ่านเครื่องแยกกากหยาบมาแล้ว จะถูกนำมาผ่านเครื่องแยกกากละเอียดอีกครั้งหนึ่ง
5. น้ำแป้ง 20 โบเม่ : น้ำแป้งที่ผ่านกระบวนการแยกกากละเอียด จะถูกนำมาปรับความเข้มข้น และความบริสุทธิ์ โดยการผ่านเครื่องแยกน้ำ (Separator) 2 ครั้ง ซึ่งจะทำให้ น้ำแป้งที่ผ่านกระบวนการนี้ จะมีความเข้มข้นประมาณ 20 โบเม่
6. เครื่องสลัดแป้ง (Centrifuge) : น้ำแป้งที่ได้จะไหลเข้าสู่เครื่องสลัดแป้ง ซึ่งจะทำการแปรสภาพน้ำแป้งเป็น แป้งหมาด โดยแป้งหมาดจะถูกส่งเข้าไปใน 2 กระบวนการผลิตคือ การผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native Tapioca Starch)
7. เครื่องอบแห้ง (Flash Dryer) : แป้งหมาดจะถูกลำเลียงตามสายพานเข้าสู่เครื่องอบแห้ง เพื่อผ่านลมร้อน ทำให้แป้งหมาดมีความชื้นลดลง จากนั้นก็จะทำให้เย็นลง แล้วส่งผ่านไปตามไซโลไปยังเครื่องร่อนแป้ง ซึ่งปัจจุบันเครื่องอบแห้งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง
8. เครื่องร่อนแป้ง (Sieve) : แป้งที่ผ่านเครื่องอบแห้งมานั้น จะถูกนำมาผ่านเครื่องร่อนแป้ง เพื่อคัดขนาดเม็ด แป้ง ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ
9. เครื่องบรรจุแป้ง : แป้งที่ผลิตได้จะถูกนำมาบรรจุใส่ถุงขนาด 25, 50, 500 หรือ 1000 กิโลกรัม แล้วแต่คำสั่งของลูกค้า

กากมันสำปะหลัง (cassava pulp) ที่จะนำมาใช้ในการวิจัยจะได้จากขั้นตอนที่ 3 และ 4 คือ หลังจากการแยกแป้งจากเครื่องแยกกากละเอียดออกมาแล้วจะได้กากมันสำปะหลัง ซึ่งจะมีองค์ประกอบของ แป้งประมาณ 40-60% และเส้นใยประมาณ 15-50% ดังนั้นการนำกากมันสำปะหลังมาสกัดให้ได้เป็นนาโน เซลลูโลสจึงน่าจะเป็นไปได้

ที่ผ่านมาได้มีนักวิจัย ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสกัดเส้นใยนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยและวัสดุธรรมชาติ ชนิดต่างๆ อาทิเช่น

N. Johar et al. ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสกัดและตรวจสอบเส้นใยเซลลูโลสและผลึกนาโนเซลลูโลส จากแกลบข้าว โดยพวกเขาได้ค้นพบว่าเมื่อทำการนำแกลบข้าวมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางเคมีจะทำให้ปริมาณของเซลลูโลสในตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 31 % เป็น 96 % และดัชนีความเป็นผลึกของตัวอย่างเพิ่มขึ้น

จาก 46.8 % เป็น 59.0 % ในขณะเดียวกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยตัวอย่างลดลงจาก 170 ไมโครเมตร เป็น 7 ไมโครเมตร ในส่วนของสมบัติทางความร้อน พบว่าค่าความเสถียรทางความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเซลลูโลสในตัวอย่างเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามในผลึกนาโนเซลลูโลสจะมีความเสถียรทางความร้อนที่ลดลง นักวิจัยกลุ่มนี้ประสบความสำเร็จในการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสจากแกนข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้กระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด โดยผลึกนาโนเซลลูโลสจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 10 นาโนเมตร ถึง 15 นาโนเมตร

H.A. Silvério et al. ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสกัดและตรวจสอบผลึกนาโนเซลลูโลสจากแกนข้าวโพดสำหรับประโยชน์ในการเป็นตัวเสริมแรงในวัสดุผสมระดับนาโน โดยในงานวิจัยนี้พวกเขาได้พบว่าเมื่อนำแกนข้าวโพดที่บดแล้วผ่านกระบวนการทางเคมีด้วยโซเดียมคลอไรด์และกระบวนการอัลคาไลน์เพื่อขจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลสจะทำให้ปริมาณของอัลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นพวกเขาได้นำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดที่เวลาต่างต่าง ผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการไฮโดรไลซิสจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางและอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความยาวมีค่าลดลง โดยในงานวิจัยนี้เวลาที่ที่ดีที่สุดของกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดในการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสคือ 60 นาที โดยตัวอย่างที่ได้จากสภาวะนี้จะให้ลักษณะผลึกนาโนคริสตัลที่มีลักษณะคล้ายเข็ม มีความเป็นผลึกสูงและมีความเสถียรต่อความร้อนที่ดี

A.C. Correa et al. ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมเส้นใยนาโนเซลลูโลสจากเส้นใย Curaua โดยใช้กระบวนการทางเคมีด้วยการทำอัลคาไลค์ทรีทเม้นท์ก่อนและทำการไฮโดรไลซิสด้วยกรดจะพบว่า เส้นใยนาโนเซลลูโลสที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 6-10 นาโนเมตร ความยาวอยู่ที่ประมาณ 80- 170 นาโนเมตร และอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความยาวจะอยู่ที่ประมาณ 13-17

R.M. Sheltami et al. ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสจากใบ Mengkuang ในการสกัดผลึกนาโนเซลลูโลสได้ใช้กระบวนการอัลคาไลน์ทรีทเม้นท์และกระบวนการฟอกสกัดเพื่อแยกเอาแต่เส้นใยเซลลูโลส และได้ใช้กระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด พบว่าผลึกนาโนเซลลูโลสที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-25 นาโนเมตร และมีความยาวประมาณ 50-400 นาโนเมตร

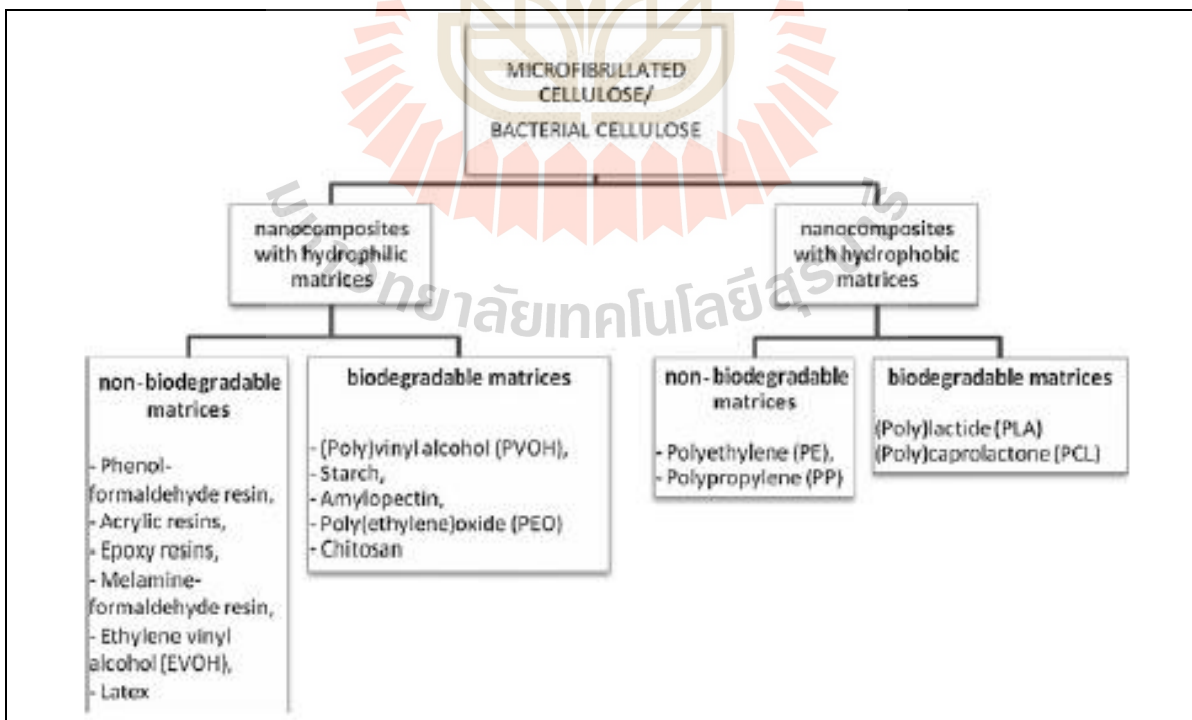
การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกของมัลเบอร์รี่ (*Morus alba* L.) โดยทำการปรับปรุงด้วยอัลคาไลน์ที่อุณหภูมิ 130°C และตามด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก AFM image จะแสดงให้เห็นว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี FT-IR และ XRD ชี้ให้เห็นว่าเฮมิเซลลูโลสและลิกนินจะถูกเอาออกไปใช้ในรูปของเซลลูโลสอย่างกว้างขวางในแบบของผลึก 73.4% TGA curve จะแสดงพฤติกรรมการสลายตัวระบายนความร้อนของเซลลูโลสสองขั้นตอน เส้นใยจะเป็นตัวพากลุ่มซัลเฟตเข้าไปในผลึกในกระบวนการย่อยสลายกรดซัลฟิวริก เส้นใยเซลลูโลสที่ได้สามารถนำมาใช้ในงานที่มีศักยภาพในด้านของวัสดุเชิงประกอบที่เป็นเฟสเสริมแรงทั้งในอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมสารเติมแต่งได้

การเตรียมเส้นใยมัลเบอร์รี่จะทำโดยตัดก้านมัลเบอร์รี่ที่มีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร และล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเพื่อเอาฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกบนพื้นผิวเปลือกออก ทำการปรับปรุงเปลือกโดย

การแช่ลงในสารละลาย 1 w/v% NaOH ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงตามด้วยการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เพียงพอที่จะกำจัดชั้น epidermis ของมัลเบอร์รี่ จากนั้นก็นำมัลเบอร์รี่ที่ไม่มีชั้น epidermis มาทำการปรับปรุง โดยใช้สารละลาย 1 w/v% NaOH ที่เติม 1 w/v% Na₂S แช่ในอ่างด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 30 ที่อุณหภูมิ 80°C และ 130°C ตามลำดับเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมงเพื่อให้ได้เส้นใยเซลลูโลส นำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้มาทำการฟอกขาวโดยใช้สารละลายผสมระหว่าง 0.7 v/v% sodium chlorite และบัพเฟอร์ของอะซิเตตที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง (เตรียมจากการเติม NaOH 2.7 กรัมและ glacial acetate 7.5 mL ลงในน้ำกลั่น 100 mL)

การวัดความเสถียรทางความร้อนของเปลือกมัลเบอร์รี่ที่ยังไม่ทำการปรับปรุงและเส้นใยเซลลูโลส โดยใช้ Pyris I thermogravimetric analyzer (Pyris Diamond TGA, Perkin-Elmer, USA) ภายใต้สภาวะของแก๊สไนโตรเจน gas flow 20 มิลลิลิตรต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 700°C และใช้ heating rate 20°C ต่อนาที พบว่า TG and DTG curves ของมัลเบอร์รี่ดั้งเดิมที่ปรับปรุง ด้วยอัลคาไลน์ที่ 130°C และเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก จะมีการเริ่มสูญเสียน้ำหนักเริ่มต้นที่ 60°C เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำในตัวอย่างนั้น การสูญเสียน้ำหนักของเส้นใยเริ่มต้นที่ประมาณ 210°C ซึ่งถึงจุดสูงสุดที่โดดเด่นที่ 350°C บน DTG curve คิดเป็นไพโรไลซิสเซลลูโลส ในทางกลับกันเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงด้วยอัลคาไลน์ จะแสดงอุณหภูมิการสลายตัวสูงขึ้นที่ 397°C ซึ่งจะสูงกว่าเปลือกของมัลเบอร์รี่ดั้งเดิม

การนำนาโนเซลลูโลสไปใช้ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ชนิดต่างๆมีมากมาย ดังแสดงในรูป



ภาพที่ 1.4 การนำนาโนเซลลูโลสไปใช้ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ชนิดต่างๆ

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เส้นใยธรรมชาติในยางธรรมชาติพบว่า ยางธรรมชาติดัดแปรด้วยไกลซีดิลเมทาคริเลท ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิด เส้นใยหญ้าแฝกและยางธรรมชาติ ความเข้ากันได้ของพอลิแลคติกแอซิด เส้นใยหญ้าแฝกและยางธรรมชาติถูกปรับปรุงโดยการเติมยางธรรมชาติดัดแปรด้วยไกลซีดิลเมทาคริเลท เมื่อเติมยางธรรมชาติดัดแปรด้วยไกลซีดิลเมทาคริเลทพบว่าค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดและค่าความต้านทานแรงกระทำของพอลิเมอร์คอมพอสิต ระหว่างพอลิแลคติกแอซิด เส้นใยหญ้าแฝกและยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้น



บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ได้หลังจากขั้นตอนที่มีการทำความสะอาดและกำจัดสิ่งสกปรกจากหัวมันสดแล้ว และแยกกากมันออกจากแป้งมันสำปะหลังโดยเครื่องแยกกากมันสำปะหลังละเอียด กากมันสำปะหลังที่ได้จะนำมาบดและคัดแยกขนาด และอบให้แห้ง

2.2 การเตรียมนาโนเซลลูโลส

นำกากมันสำปะหลัง มาสกัดนาโนเซลลูโลสโดยผ่านกระบวนการทางเคมี โดยการแช่ในกรด เปรียบเทียบชนิด เวลาและอุณหภูมิของสภาวะการสกัดนาโนเซลลูโลส โดยใช้กรด 2 ชนิด ได้แก่ HCl และ H₂SO₄ และเบส คือ NaOH ร่วมกับการฟอก (bleaching)

ขั้นตอนและวิธีการเตรียม

1. บดกากมันสำปะหลังแห้ง (Cassava pulp) ด้วยเครื่องบดละเอียด (Fine grinding)
2. แยกขนาดของกากมันสำปะหลังแห้ง ด้วยเครื่องแยกขนาดด้วยการเขย่า ขนาดที่ต้องการคือ 150-250 ไมโครเมตร อบกากมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 120 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
3. นำกากมันสำปะหลังที่ได้ ไปผ่านกระบวนการอัลคาไลน์เซชัน โดยการนำกากมันสำปะหลังไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน โดยใช้อัตราส่วนกากมันสำปะหลัง 10 กรัม ต่อสารละลาย 200 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และมีการกวนด้วยความเร็วสม่ำเสมอเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเป็นการขจัดสารจำพวกแป้งออกจากกากมันสำปะหลัง
4. ทำการกรองและล้างกากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการอัลคาไลน์เซชันด้วยน้ำกลั่น จนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจนหมด
5. หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนข้างต้นมาผ่านกระบวนการฟอกขาวด้วยสารละลายที่ทำจากการผสมสัดส่วนที่เท่ากันของสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรท์ในน้ำกับสารละลายบัพเฟอร์(สารผสมระหว่าง 27 กรัมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับ 75 มิลลิลิตรกรดอะซิติก และทำการละลายในน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร) โดยจะใช้สัดส่วนสารที่ได้จากกระบวนการอัลคาไลน์เซชัน 2-3 กรัม(15-20 % ของตัวอย่างแห้งในน้ำ) ต่อสารละลายฟอกขาว 200 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
6. ทำการกรองและล้างกากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการฟอกขาวด้วยน้ำกลั่น จนสารละลายฟอกขาวออกจนหมด (น้ำหนักแห้งของตัวอย่างหลังจากผ่านกระบวนการนี้จะเหลือประมาณ 1.5-2 กรัม ต่อ กากมันสำปะหลัง 10 กรัม)
7. นำตัวอย่างที่จากการฟอกขาวได้ไปแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างๆที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และมีการกวนด้วยความเร็วสม่ำเสมอเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วน

8. นำตัวอย่างที่แช่ในสารละลายกรดไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกสารละลายกรดออกจากตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างที่ผ่านการแยกกรดออกแล้วไปใส่ในหลอดโตอะไลซิสแล้วแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2-4 วัน (เปลี่ยนน้ำที่แช่ทุก 12 ชั่วโมง) หรือจนกระทั่งตัวอย่างมีค่าเป็นกลาง
9. หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาผ่านกระบวนการ sonicated โดยใช้ Ultrasonic bath เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เส้นใยเกิดการกระจายตัว

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยและสัณฐานวิทยา

การตรวจสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาทำโดยใช้เครื่อง Transmission electron microscope (TEM)

การตรวจสอบองค์ประกอบของเส้นใยทำตามมาตรฐาน Animal feed (EN ISO 13906:2008 and AOAC 973.18) โดยวิธี neutral detergent fibers (NDF), acid detergent fibers (ADF) and acid detergent lignin (ADL) เพื่อหาค่าปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน สำหรับชนิดของเซลลูโลสและปริมาณผลึกศึกษาจาก Infrared spectrum ของเส้นใย ซึ่งได้จาก Fourier transform infrared spectrometer (FTIR, Bruker/Tenser27) และ X-ray diffraction (XRD)

2.4 การเตรียมยางธรรมชาติดัดแปร และการผสมนาโนเซลลูโลสกับยางธรรมชาติดัดแปร

ผสมนาโนเซลลูโลสที่เตรียมได้กับยางธรรมชาติดัดแปรด้วยไกลซีดิลเมทาคริเลตที่ถูกเตรียมโดยวิธีอิมัลชันโพลีเมอไรเซชันในห้องปฏิบัติการ และขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยมีการเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมของนาโนเซลลูโลสต่อยางธรรมชาติดัดแปรเป็น 1, 3, 5 %wt วิธีการดัดแปรยางธรรมชาติใช้วิธีที่ได้ศึกษาและเผยแพร่ก่อนหน้านี้แล้ว [P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y. Ruksakulpiwat, "Glycidyl methacrylate grafted natural rubber: synthesis, characterization and mechanical property", J Appl. Polym. Sci., vol. 122, no. 5, p. 3152-3159, 2011]

2.5 การตรวจสอบสมบัติทางกลและสัณฐานวิทยา

ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 การตรวจสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาทำโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์เส้นใยนาโนเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลัง

3.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

กากมันสำปะหลังที่ผ่านการบด ถูกแบ่งตามขนาดรูของตะแกรงร่อนดังนี้ 150-250, 250-425 และ 425-600 ไมครอน จากตารางที่ 3.1 ผู้วิจัยจึงเลือกกากมันสำปะหลังที่มีขนาด 150-250 ไมครอน ในการทำงานวิจัยนี้เนื่องจากเป็นขนาดที่พบปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดคือ ร้อยละ 20.90 ส่วนเฮมิเซลลูโลสพบ ร้อยละ 5.15 , ลิกนิน ร้อยละ 3.99 และ สารอื่น ๆ (คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, ไขมัน และซีเถ้า) ร้อยละ 69.96 โดยมีมวล

ตารางที่ 3.1. องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

ขนาดรูตะแกรงร่อน (ไมครอน)	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	สารอื่น ๆ (%)
<150	13.04	1.66	34.49	50.82
150-250	20.90	5.15	3.99	69.96
250-425	19.66	4.16	9.48	66.70
425-625	20.56	4.31	9.96	65.17

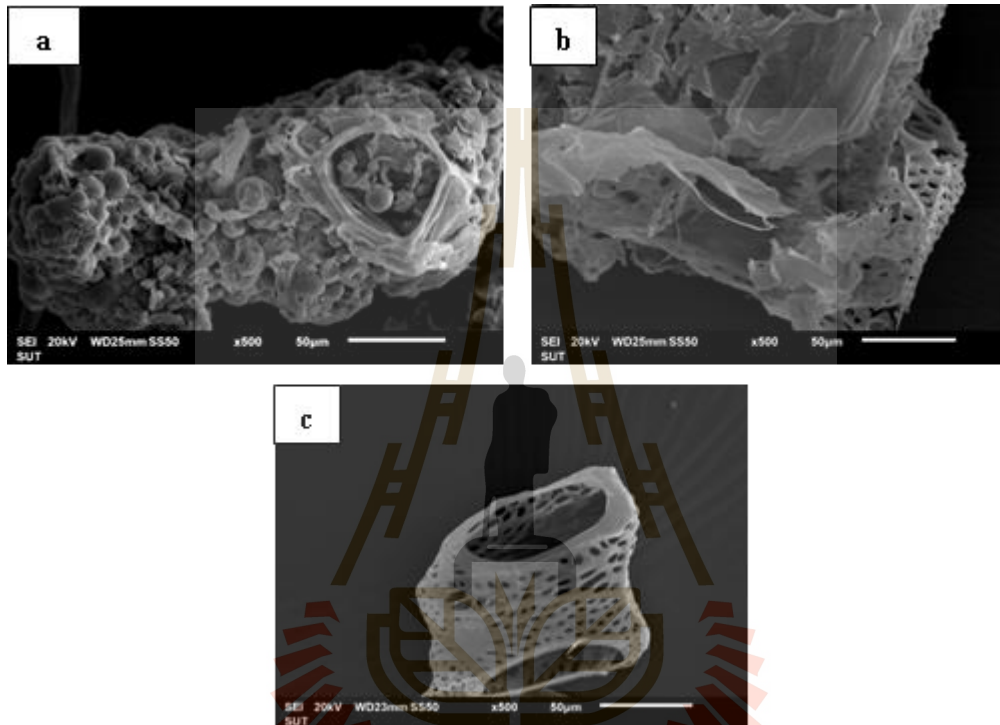
ภายหลังจากการปรับสภาพพื้นผิวกากมันสำปะหลังด้วยอัลคาไลน์พบว่า ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นสามเท่า ในขณะที่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณเซลลูโลสที่เท่ากัน ส่วนลิกนินจะถูกกำจัดออกอย่างมากในระหว่างกระบวนการฟอกขาว ซึ่งกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อปริมาณเฮมิเซลลูโลส

ตารางที่ 3.2. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ กากมันสำปะหลัง (CP), กากมันสำปะหลังที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยแอลคาไลน์ (TCP) และ กากมันสำปะหลังที่ผ่านการฟอกขาว (BP)

	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	สารอื่น ๆ (%)
CP	20.90±0.23	5.15±0.10	3.99±0.02	69.96±0.31
TCP	69.39±0.23	5.83±0.48	11.22±0.07	13.56±0.66
BCP	85.97±0.19	6.24±0.51	0.45±0.02	7.35±0.40

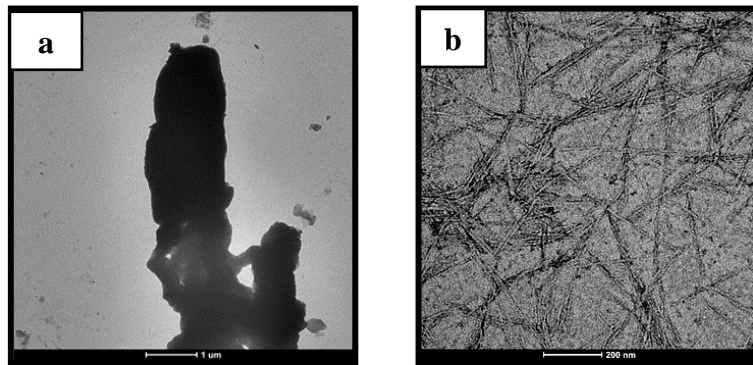
3.1.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใย

ศึกษาโครงสร้างของกากมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลังที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยแอลคาไลน์ และ กากมันสำปะหลังที่ผ่านการฟอกขาว โดยใช้เทคนิค SEM (รูปที่ 3.1) โดยอนุภาคของแป้งบนกากมันสำปะหลังแสดงดังภาพที่ 3.1a หลังจากผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยอัลคาไลน์ แป้งจะถูกกำจัดออกจากพื้นผิวของเส้นใยดังรูปภาพที่ 3.1b ภายหลังจากการฟอกขาวเส้นใยจะมีลักษณะที่เรียบและเห็นพื้นผิวของเซลลูโลสอย่างชัดเจน



ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของกากมันสำปะหลัง (a) กากมันสำปะหลังที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยแอลคาไลน์ (b) และ กากมันสำปะหลังที่ผ่านการฟอกขาว (c)

ภาพที่ 3.2 แสดงภาพเส้นใยนาโนเซลลูโลสที่ผ่านการฟอกขาวโดยกรดไฮโดรคลอริก (CNFc) และ กรดซัลฟิวริก (CNFso) ที่ได้จากเทคนิค TEM ซึ่งเส้นใยที่ผ่านการฟอกขาวโดยกรดไฮโดรคลอริกจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ไมครอน (รูปที่ 3.2a) ส่วนเส้นใยที่ผ่านการฟอกขาวโดยกรดซัลฟิวริกจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-15 นาโนเมตร ความยาวประมาณ 200-800 นาโนเมตร (รูปที่ 3.2b) และมีค่าความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(L/D) เท่ากับ 30-75 แสดงว่าการเตรียมผิวด้วยกรดซัลฟิวริกจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการเตรียมด้วยกรดไฮโดรคลอริก

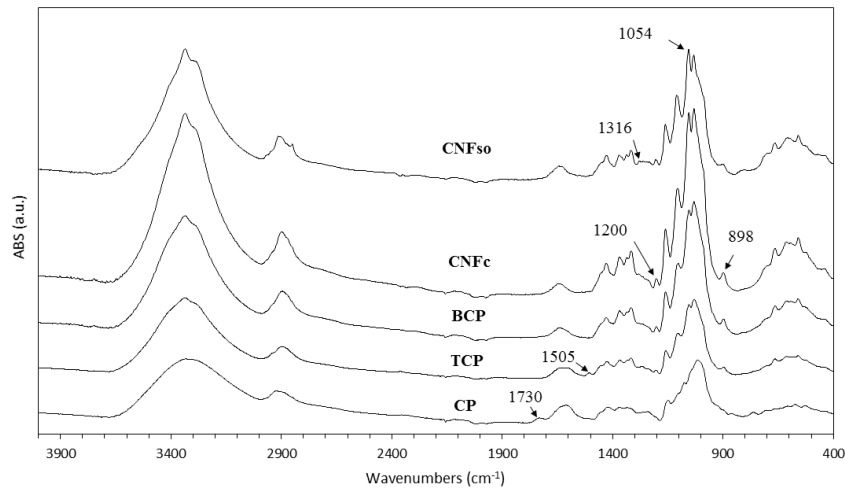


ภาพที่ 3.2 เส้นใยนาโนเซลลูโลสที่ผ่านการฟอกขาวโดยกรดไฮโดรคลอริก(a) และ กรดซัลฟิวริก(b)

3.1.3 การวิเคราะห์หาเอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค FTIR

ภาพที่ 3.3 แสดงสเปกตรัมของ CP, TCP, BCP, CNFc และ CNFso พบหมู่ฟังก์ชันแสดงพีคการดูดกลืนที่เกิดจากการยืดของพันธะ -OH ของเซลลูโลสในช่วงเลขคลื่น $3000\text{-}3700\text{ cm}^{-1}$ โดยพีคนี้เพิ่มสูงขึ้นหลังจากการเตรียมพื้นผิวด้วยอัลคาไลน์ การฟอกขาว และการไฮโดรไลซิสด้วยกรด เพราะเกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณเซลลูโลส ส่วนพีคในช่วงเลขคลื่น $2800\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ จะแสดงการดูดกลืนที่เกิดจากการยืดของพันธะ -CH ของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส

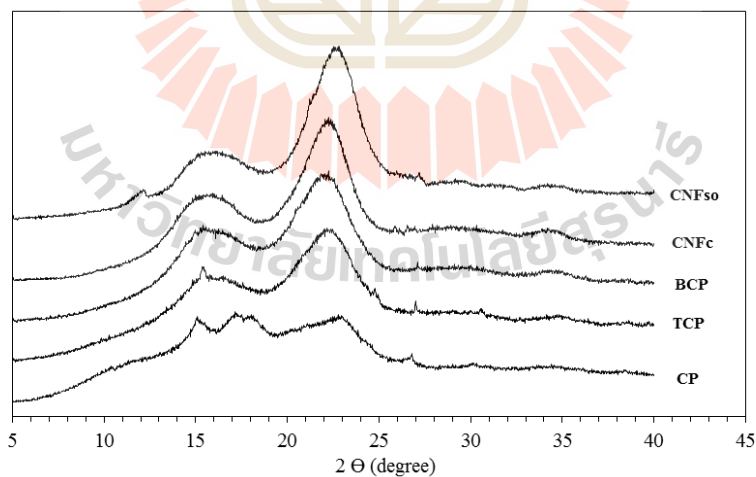
ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1730 cm^{-1} พบพีคขึ้นเป็นชั้น ซึ่งผลมีความสอดคล้องกับเก้าแกลบข้าวที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมพื้นผิว โดยเป็นการแสดงถึงหมู่อะซิติกและหมู่เอสเทอร์ในเฮมิเซลลูโลสหรือ หมู่คาร์บอกซิลิกในลิกนิน พีคที่เป็นชั้นนี้จะหายไปเมื่อเกิดการเตรียมพื้นผิวจากมันสำปะหลังโดยใช้เคมี พีคที่เลขคลื่นประมาณ 1300 cm^{-1} , $1266\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$, $1060\text{-}1050\text{ cm}^{-1}$ และ 890 cm^{-1} จะเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนที่เกิดจากการยืดของพันธะ -CH ขององค์ประกอบเซลลูโลสสเปกตรัมของเส้นใยที่ถูกฟอกขาวด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 3.3 แสดง FTIR spectra ของ CP, TCP, BCP, CNFc และ CNFso

3.1.4 การวิเคราะห์หาเอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค XRD

ภาพที่ 3.4 แสดง XRD pattern ของ CP, TCP, BCP, CNFc และ CNFso ซึ่งพบผลึกของเซลลูโลส I ที่ $2\theta = 16^\circ$, 22° และ 35° ซึ่งค่าดัชนีความเข้มของผลึก(CrI) สรุปไว้ดังตารางที่ 3.3 โดย TCP และ BCP มีค่าดัชนีสูงกว่า CP เนื่องจากกระบวนการเตรียมพื้นผิวด้วยอัลคาไลน์ และการฟอกขาวจะกำจัดโครงสร้างของสารประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป ส่วนค่าดัชนีของ CNFso พบว่ามีค่าสูงกว่า CNFc เพราะว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะกำจัดโครงสร้างอสัณฐานของเซลลูโลสออกได้น้อยกว่าการใช้กรดซัลฟิวริก



ภาพที่ 3.4 X-ray diffraction patterns of CP, TCP, BCP, CNFc and CNFso

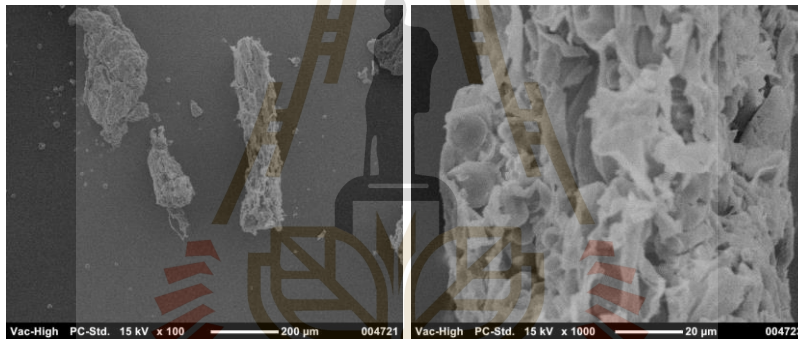
ตารางที่ 3.3 ค่าดัชนีความเข้มของผลึก(CrI) ของ CP, TCP, BCP, CNFc และ CNFso

ตัวอย่าง	CrI (%)
CP	10.5
TCP	24.4
BCP	26.8
CNFc	36.4
CNFso	45.1

3.2 การศึกษาทางธรรมชาติตัดแปรและการผสมนาโนเซลลูโลสกับยางธรรมชาติตัดแปร

3.2.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของกากมันสำปะหลัง

ภาพที่ 3.5 แสดงรูปแบบของอนุภาคกากมันสำปะหลัง 2 แบบ คือ แบบทรงกลม และแบบเส้นใย โดยที่บริเวณเปลือกจะพบปริมาณเส้นใยมากกว่า



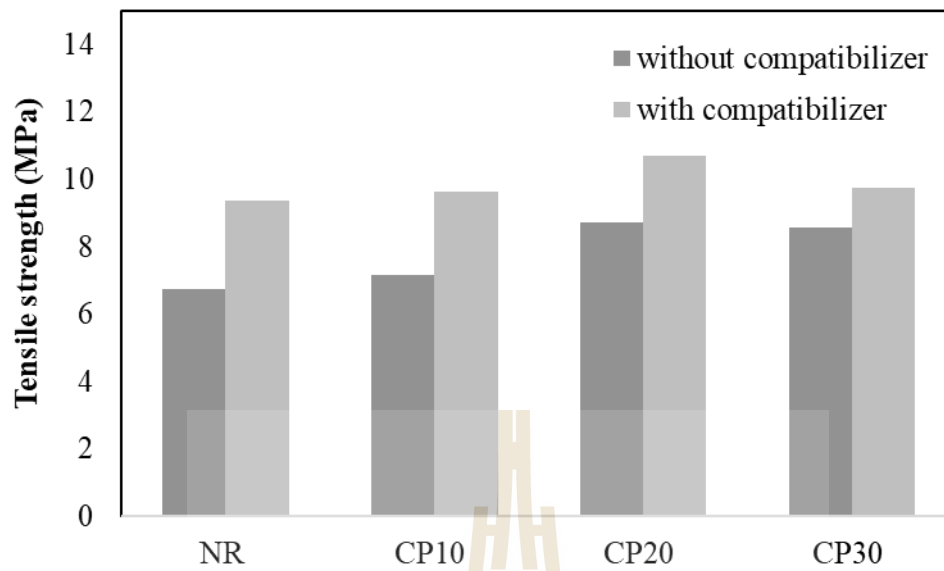
ภาพที่ 3.5 แสดงลักษณะของกากมันสำปะหลัง

3.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติตัดแปรและการผสมนาโนเซลลูโลสกับยางธรรมชาติตัดแปร

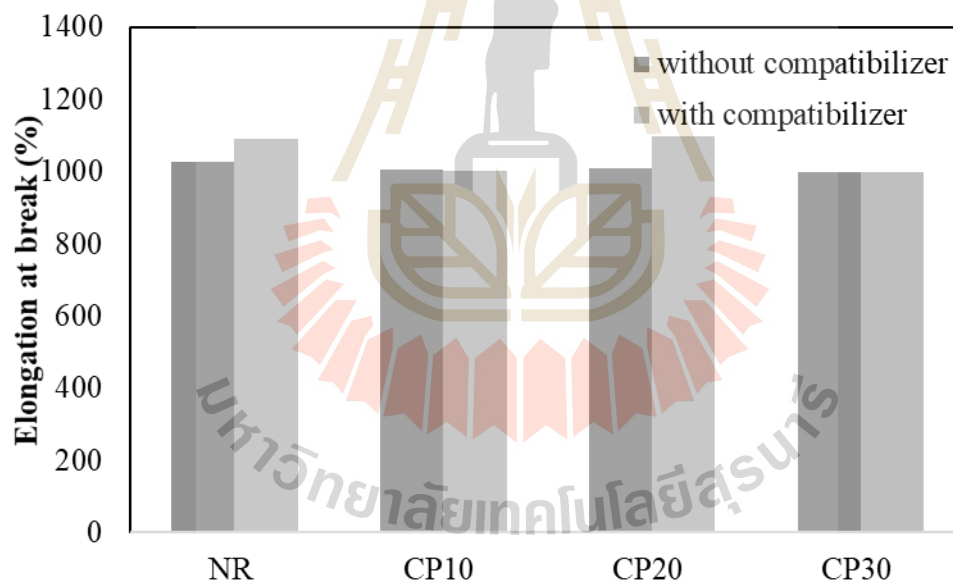
ตารางที่ 3.4 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์(Curing time) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางกับกากมันสำปะหลัง (CP)

	NRP	CP10	CP20	CP30	NRG	CP10	CP20	CP30
Curing time	3.45	3.12	3.56	3.49	2.45	2.05	2.17	2.20

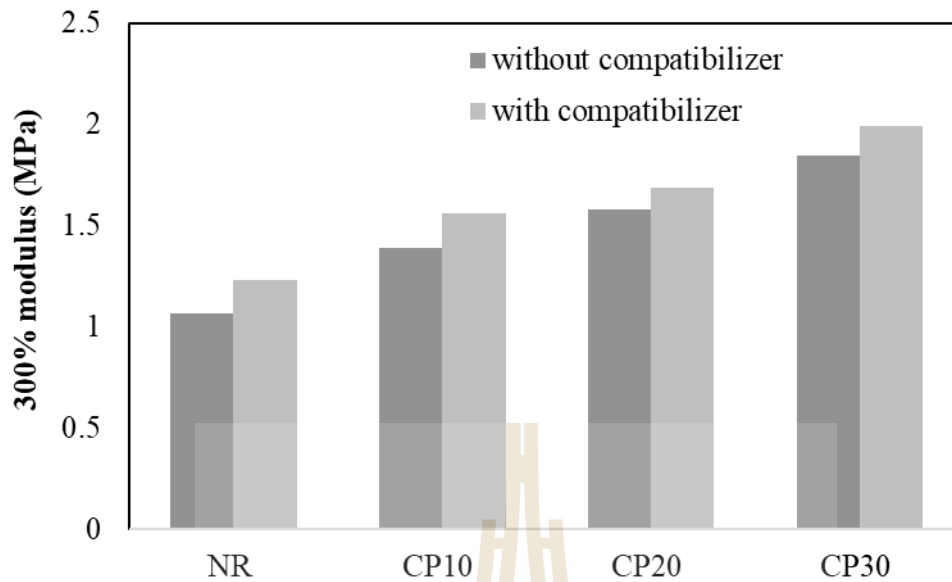
จากตารางที่ 3.4 ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติลดลงเมื่อผ่านการตัดแปร แสดงว่าการตัดแปรช่วยให้อัตราวัลคาไนซ์ของยางเพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CP ในวัสดุเชิงประกอบส่งผลให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องมาจากการรวมกลุ่มกันของปริมาณ CP



ภาพที่ 3.6 Tensile strength of natural rubber composites



ภาพที่ 3.7 Elongation at break of natural rubber composites

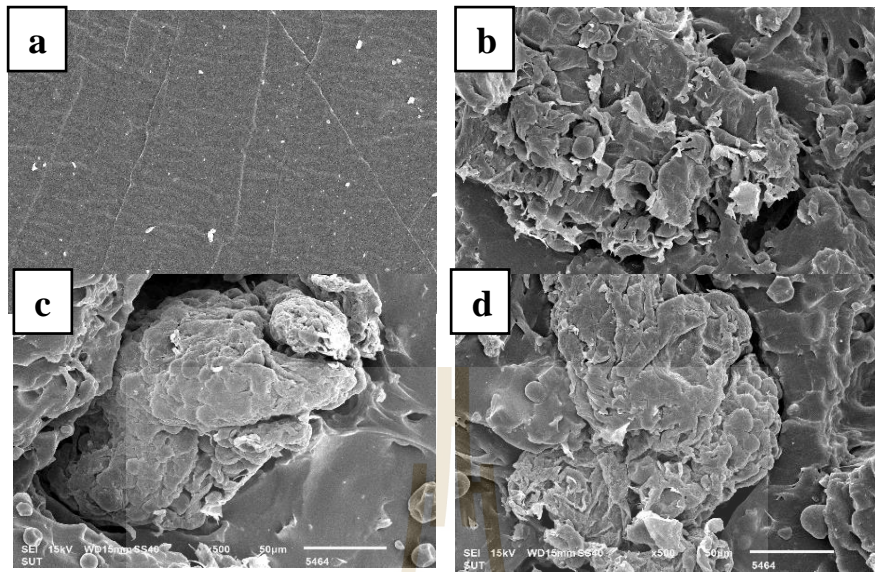


ภาพที่ 3.8 300% modulus of natural rubber composites

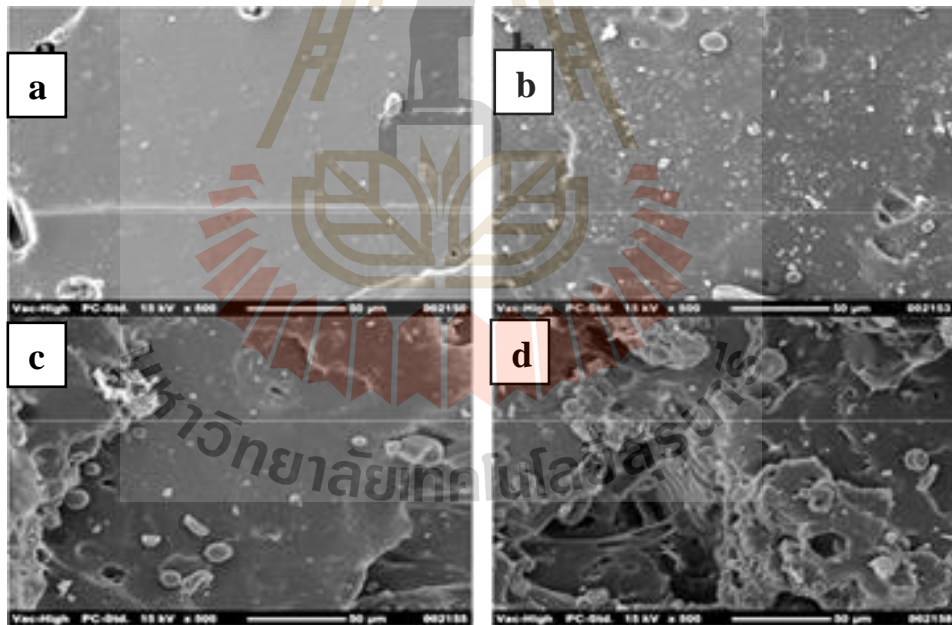
การเติม CP ปริมาณ 20 phr ลงไปในวัสดุเชิงประกอบส่งผลให้ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเกิดแรงยึดเหนี่ยวที่ดีต่อกันระหว่างอนุภาคของกามันสำปะหลังและเฟสของยาง ซึ่งสังเกตได้จากภาพ SEM แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ CP เป็น 30 phr ส่งผลให้ค่า Tensile strength ลดลง อาจเป็นผลมาจากการกระจายตัวที่ไม่ดีของกามันสำปะหลังในเฟสของยางธรรมชาติ

ค่า Elongation at break ของวัสดุเชิงประกอบไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ CP ส่วนค่า 300% Modulus ของวัสดุมีการเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ CP เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใส่ปริมาณ CP ลงไปมาก ทำให้วัสดุมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่มากขึ้น ส่วนวัสดุเชิงประกอบของยางธรรมชาติที่ผ่านการตัดแปรรจะมีสมบัติทางกลที่ดีกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ยางธรรมชาติไม่ผ่านการตัดแปรร

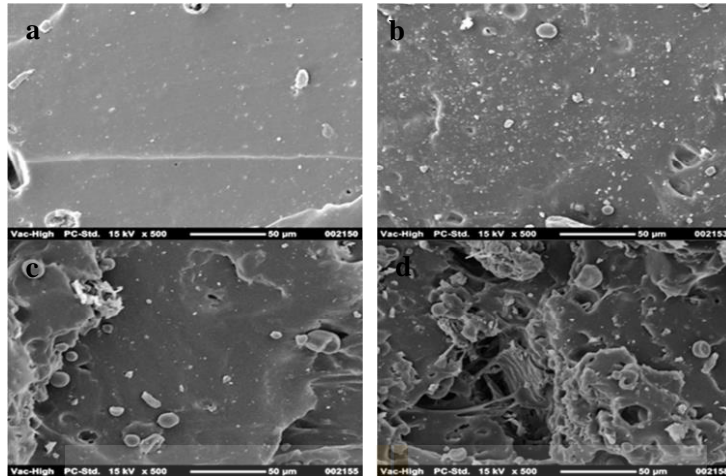
3.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ



ภาพที่ 3.9 SEM micrographs of composites a) NRP b) CP10 c) CP20 d) CP30



ภาพที่ 3.10 SEM micrographs of composites a) NRG b) CP10G c) CP20G d) CP30G



จากภาพ SEM ของพื้นผิวรอยแตกหักของวัสดุเชิงประกอบพบว่า ภาพที่ 3.9 มีรูจำนวนมากหลังจากที่กากมันสำปะหลังถูกดึงออกจากยางธรรมชาติและพื้นผิวของกากมันสำปะหลังไม่มีความเข้ากันได้ดีกับเฟสยาง แต่จากภาพที่ 3.10 เมื่อผ่านการดัดแปรแล้วจะพบว่า กากมันสำปะหลังมีความเข้ากันได้ดีกับเฟสยางและมีขนาดรูที่เล็กกว่าจึงส่งผลให้มีสมบัติทางกลที่ดีกว่าเมื่อใส่สารปรับความเข้ากันได้

บทที่ 4

บทสรุป

การสกัดให้ได้เซลลูโลสบริสุทธิ์ต้องใช้วิธีการเตรียมพื้นผิวทางเคมีทั้งการใช้อัลคาไลน์และการฟอกขาว จากการทดลองพบว่าการเตรียมพื้นผิวโดยอัลคาไลน์จะเป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลส ส่วนการฟอกขาวจะเป็นการกำจัดลิกนิน ซึ่งการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย การศึกษาสัณฐานวิทยา การใช้เทคนิค Infrared spectroscopy การวิเคราะห์โดย X-ray diffraction การศึกษาทั้งหมดเป็นการยืนยันว่าสารที่ไม่ใช่เซลลูโลสได้ถูกกำจัดออกไป การใช้วิธีการเตรียมพื้นผิวด้วยกรดซัลฟิวริกจะทำให้ได้ปริมาณผลึกมากกว่า การเตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรคลอริก ภาพจาก TEM แสดงขนาดของเส้นใยนาโนเซลลูโลสอยู่ในช่วง 10-30 นาโนเมตร

เมื่อเพิ่มปริมาณของกากมันสำปะหลังไปจนถึง 20 phr พบว่าวัสดุเชิงประกอบ NR/ NR-g-GMA/CP มีค่า tensile strength ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณกากมันสำปะหลังจนมากกว่า 30 phr ส่งผลให้ค่า Tensile strength ค่อยๆ ลดลง โดยจากรูปภาพ SEM แสดงว่าอนุภาคของกากมันสำปะหลังเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มกันเป็นก้อนในเฟสของยางธรรมชาติ ซึ่งค่า Elongation at break ของวัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณกากมันสำปะหลัง ส่วนค่า โมดูลัสที่ 300% มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ NR-g-GMA สามารถช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของกากมันสำปะหลังและเฟสของยางธรรมชาติได้

บรรณานุกรม

1. Kochthongrasamee, T., Prasassarakich, P. and Kiatkamjornwong, S,(2006). Effects of redox initiator on graft copolymerization of methyl methacrylate onto natural rubber, **J. Appl. Polym. Sci.**, **101**, 2587-2606.
2. Oliveira, P.C., Oliveira,A.M., Garcia, A., Barboza,J.C.S., Zavaglia, C.A.C. and Santos, A.M. (2005). Modification of natural rubber: A study by ¹H NMR to assess the degree of graftization of polyDMAEMA or polyMMA onto rubber particles under latex form in the presence of a redox couple initiator, **Eur.Polym. J.**, **41**,1883-1892.
3. Songsing K., Vatanatham T., Hansupalak N. (2013). Kinetics and mechanism of grafting styrene onto natural rubber in emulsion polymerization using cumene hydroperoxide tetraethylenepentamine as redox initiator, **Eur.Polym. J.**, **49**, 1007-1016.
4. Changjie, Y., Qiuyu, Z., Dezhong, Y., Junwei, G., Guangbi, G. and Tao, L.(2011). Studies on Preparation and Properties of VTES grafted Styrene-Butadiene rubber, **J. Appl. Polym. Sci**, **119**, 2808-2814.
5. Jiao, C., Wang,Z., Gui, Z. and Hu, Y.(2005). Silane grafting and crosslinking of ethylene-octene copolymer, **Eur.Polym. J**, **41**,1204-1211.
6. Juntuek, P., Ruksakulpiwat,C., Chumsamrong,P. and Ruksakulpiwat,Y.(2011). Glycidyl Methacrylate Grafted Natural Rubber: Synthesis,Characterization, and Mechanical Property, **J. Appl. Polym. Sci**, **122**, 3152-3159.
7. Papken, N., Karger-Kocsis, J. (1999). Determination Methods of the Grafting Yield in Glycidyl Methacrylate-Grafted Ethylene/ Propylene/ Diene Rubber (EPDM-g-GMA): Correlation Between FTIR and ¹H-NMR Analysis, **J. Appl. Polym. Sci.**, **74**, 2616–2624.
8. Bengtsson, M. and Oksman, K. (2006). Silane crosslinked wood plastic composites: Processing and properties, **Compos. Sci. Technol**, **66**, 2177-2186.
9. Mcintiraen, F.C., Schenck, J.R. (1948). Polysaccharide Acid Esters as Cation Exchange Media, **J. Am. Chem. Soc.**, **70 (3)**, 1193–1194.

10. Fang, J.M., Fowler, P.A., Sayers, C., Williams, P.A. (2004). The chemical modification of a range of starches under aqueous reaction conditions, **Carbohydr. Polym.**, **55**, 283–289.
11. Bhandari, P.N., Singhal, R.S. (2002). Studies on the optimisation of preparation of succinate derivatives from corn and amaranth starches, **Carbohydr. Polym.**, **47**, 277–283.
12. Yiu, P.H., S.L.Loh, A.R., Wong, S.C., Bong, C.F.J. (2008). Physiochemical Properties of Sago Starch Modified by Acid Treatment in Alcohol, **American Journal of Applied Sciences.**, **4**, 307-311.
13. Shi, S.S., He, G.Q. (2012). Process optimization for cassava starch modified by octenyl succinic anhydride, **Procedia Eng.**, **37**, 255 – 259.
14. Tupa, M., Maldonado, L., Vázquez, A., Foresti, M.L. (2013). Simple organocatalytic route for the synthesis of starch esters, **Carbohydr. Polym.**, **98**, 349–357.
15. Wu, Y-P., Qi, Q., Liang, G-H. and Zhang, L-Q. (2006). A strategy to prepare high performance starch/ rubber composites: In situ modification during latex compounding process, **Carbohydr. Polym.**, **65**, 109-113.
16. Carvalho, A.J.F., Job, A.E., Alves, N., Curvelo, A.A.S., and Gandini, A. (2003). Thermoplastic starch/natural rubber blends, **Carbohydr. Polym.**, **53**, 95-99.
17. Rouilly, A., Rigal, L. and Gilbert, R.G. (2004). Synthesis and properties of composites of starch and chemically modified natural rubber, **Polymer**, **45**, 7813-7820.
18. Pongtanayut, K., Thongpin, C. and Santawitee, O. (2013). The effect of rubber on morphology, thermal properties and mechanical properties of PLA/NR and PLA/ENR blends, **Procedia Eng**, **34**, 888-897.
19. Dechatiwong Na Ayutthaya, W., and Poompradub, S. (2014). Thermal and mechanical properties of poly(lactic acid)/natural rubber blend using epoxidized natural rubber and poly(methyl methacrylate) as co-compatibilizers, **Macromol. Res.**, **22**, 686-692.

20. Yuan, D., Chen, K., Xu, C., Chen, Z., and Chen, Y. (2014). Crosslinked bicontinuous biobased PLA/NR blends via dynamic vulcanization using different curing systems, *Carbohydr. Polym.*, **113**, 438-445.
21. สุกัญญา ศรีตัญญ์เลิง. (2555). การเพิ่มเสถียรภาพของน้ำยางธรรมชาติโดยการกราฟต์ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนอนุภาคยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์. ขอนแก่น, บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น.
22. Liu, C., Shao, Y., and Jia, D. (2008). Chemically modified starch reinforced natural rubber composites, *Polymer*, **49**, 2176-2181.
23. Surya, I., Ismail, H., and Azura, A.R., (2013). Alkalonamide as an accelerator, filler dispersant and a plasticizer in silica-filled natural rubber compounds, *Polymer Testing*, **32**, 1313-1321.
24. Riyajan, S.A., Sasithornsonti, Y. and Phinyocheep, P. (2012). Green natural rubber-g-modified starch for controlling urea release, *Carbohydrate Polymers*, **89**, 251-258.
25. นิธินาถ ศุภกาญจน์ และ อุทัย มีคำ. (2546). การศึกษาเบื้องต้นของการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม เพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายตัวได้. รายงานการวิจัย. นครราชสีมา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
26. Xu, T., Jia Z., Luo, Y., Jia, D., Peng, Z. (2015). Interfacial interaction between the epoxidized natural rubber and silica in natural rubber/silica composites. *Appl. Surf. Sci.*, **328**. 306-313.
27. พิภูล ราชพลแสน. (2551). การสังเคราะห์เยื่อเลือกผ่านแบบชอบน้ำจากยางธรรมชาติดัดแปลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์. ขอนแก่น, บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น.
28. Dubitsky, Y., Zaopo, A., Zannoni, G., and Zetta, L. (2000). ¹H NMR study of the hydrolysis of vinyltrialkoxysilanes. *Mater. Chem. Phys.*, **64**. 45-53.
29. ปิยะภรณ์ นิลทัญ, ศิริชัย ก้านกิ่ง, ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภาพ และเอกชัย วิมลมาลา. การศึกษาเชิงกลพลวัตและพฤติกรรมคาร์คินกลับตัวทางฮิสตริกของยางเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเสริมแรงร่วมกับสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาสำหรับการใช้งานในระบบไฮดรอลิก.(2555), วารสารวิจัยและพัฒนาฉบับที่ 2 ปีที่ 35. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

30. Zuo, Y., Gu, J., Yang, L., Qiao, Z., Tan, H., Zhang, Y. (2013). Synthesis and characterization of maleic anhydride esterified cornstarch by the dry method, **Int. J. Biol. Macromol.**, **62**, 241– 247.
31. Lopez-Rubio, A., Flanagan, B.M., Gilbert, E.P., Gidley, M.J. (2008). A Novel Approach for Calculating Starch Crystallinity and Its Correlation with Double Helix Content: A Combined XRD and NMR Study, **Biopolymers**, **89**, 761-768.
32. Chi, H., Xu, K., Wu, X., Chen, Q., Xue, D., Song, C., Zhang, W., and Wang, P. (2008). Effect of acetylation on the properties of corn starch, **Food Chem.**, **106**, 923-928.
33. Rattanasoma, N., Saowapark, T., and Deeprasertkul, C. (2007). Reinforcement of natural rubber with silica/carbon black hybrid filler, **Polym. Test.**, **26**, 369-377.
34. พงษ์ธร แซ่ฮ้อย., ชาคริต สิริสิงห. (2550). **ยาง กระบวนการผลิตและการทดสอบ**, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
35. Nakason, C., Kaesaman, A. and Eardrod, K. (2005). Cure and mechanical properties of NR rubber-g-poly(methyl methacrylate)-cassava starch compounds, **Materials Letters**, **59**, 4020-4025.
36. Afiq, M.M., Azura, A.R. (2013). Effect of sago starch loadings on soil decomposition of Natural Rubber Latex (NRL) composite films mechanical properties, **International Biodeterioration and Biodegradation**, **85**, 139-149.
37. Chonkaew, W., Mingvanish, W., Kungliean, U., Rochanawipart, N., and Brostow, W. (2010). Vulcanization characteristics and dynamic mechanical behavior of natural rubber reinforced with silane modified silica, **J. Nanosci. Nanotechnol.**, **10**, 2018-2024.
38. Tábi, T., Sajó, I. E., Szabó, F., Luyt, A. S., and Kovács, J. G. (2010). Crystalline structure of annealed polylactic acid and its relation to processing, **eXPRESS Polym. Lett.**, **4**, 659-668.

39. Hassan, E., Wei, Y., Jiao, H., and Muhuo, Y. (2013). Dynamic mechanical properties and thermal stability of Poly(lactic acid) and Poly(butylene succinate) blends composites, *J. Fiber Bioeng. Inf.*, **6:1**, 85-94.
40. ศิริศาสตร์ เอื้อใจ. (2552). การขึ้นรูปและศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยเซลลูโลสของ ปาล์มน้ำมัน และพอลิแลคติกแอซิด. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
41. Promdum, Y., Klinpituksa, P., and Ruamcharoen, J. (2009). Grafting copolymerization of natural rubber with 2-hydroxyethyl methacrylate for plywood adhesion improvement, *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, **34(4)**, 453-457.
42. Yi, S. , Su, Y. , and Wan, Y. (2010) . Preparation and characterization of vinyltriethoxysilane (VTES) modified silicalite-1/ PDMS hybrid pervaporation membrane and its application in ethanol separation from dilute aqueous solution, *J. Membr. Sci.*, **360**, 341-351.
43. Rehman, F. , Rahim, A. , Airoldi, C. , and Volpe, P.L.O. (2016) . Preparation and characterization of glycidyl methacrylate organo bridges grafted mesoporous silica SBA-15 as ibuprofen and mesalamine carrier for controlled release, *Mater. Sci. Eng., C*, **59**, 970-979.
44. Choi, J. K. , Girek, T. , Sin, D. H. , and Lim, S. T. (2002) . Structural and physical characterization of octenylsuccinyl β -cyclodextrin, *Carbohydr. Polym.*, **49**, 289–296.
45. Xu, T., Jia Z., Luo, Y., Jia, D., Peng, Z. (2015). Interfacial interaction between the epoxidized natural rubber and silica in natural rubber/silica composites. *Appl. Surf. Sci.*, **328**. 306-313.
46. Promdum, Y., Klinpituksa, P., and Ruamcharoen, J. (2009). Grafting copolymerization of natural rubber with 2-hydroxyethyl methacrylate for plywood adhesion improvement, *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, **34(4)**, 453-457.

47. Zuo, Y., Gu, J., Yang, L., Qiao, Z., Tan, H., Zhang, Y. (2013). Synthesis and characterization of maleic anhydride esterified cornstarch by the dry method, *Int. J. Biol. Macromol.*, 62, 241– 247.
48. Garg, S., and Jana, A.K. (2011). Characterization and evaluation of acylated starch with different acyl groups and degrees of substitution, *Carbohydr. Polym.*, 83, 1623–1630.
49. Chi, H., Xu, K., Wu, X., Chen, Q., Xue, D., Song, C., Zhang, W., and Wang, P. (2008). Effect of acetylation on the properties of corn starch, *Food Chem.*, 106, 923-928.
50. Sweedman, M.C., Tizzotti, M.J., Schäferb, C., and Gilbert, R.G. (2013). Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: A review, *Carbohydr. Polym.*, 92, 905–920.
51. Tizzotti, M.J., Sweedman, M.C., Tang, D., Schaefer, C., and Gilbert, R.G. (2011). New ¹H NMR Procedure for the Characterization of Native and Modified Food-Grade Starches, *J. Agric. Food. Chem.*, 59, 6913–6919.
52. Marimuthu, M., Sundaram, U., and Gurumoorthi, P. (2013). X-ray Diffraction and Starch Analysis of Nano Sized Seed Powder of Velvet Bean, *Iajps.*, 3, 4319-4329.
53. Zobel, H.F., Young, S.N., and Rocca, L.A. (1988). Starch Gelatinization: An X-ray Diffraction Study, *Cereal Chem.*, 65(6), 443-446.



ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 22-4433 โทรสาร (044) 22-4431 E-mail: yupa@sut.ac.th จบ การศึกษาปริญญาเอกสาขา Polymer Engineering จาก University of Akron มลรัฐ OHIO ประเทศ สหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Polymer Processing and Characterization และ Polymer Crystallization and Morphology มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่แล้ว อาทิเช่น

1. Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., Rugmai, S., Soontaranon, S., Ruksakulpiwat, Y. Crystallization behavior studied by synchrotron small-angle X-ray scattering of poly (lactic acid)/cellulose nanofibers composites(2017) Composites Science and Technology, 143, pp. 106-115.
2. Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y., Biocomposites of Poly(Lactic Acid) and Cellulose Nanofibers from Cassava Pulp, Key Engineering Materials (2017), 753, pp 13-17.
3. Teamsinsungvon, A., Jarapanyacheep, R., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Melt processing of maleic anhydride grafted poly(lactic acid) and its compatibilizing effect on poly(lactic acid)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) blend and their composite(2017) Polymer Science - Series A, 59 (3), pp. 384-396.
4. Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. Effect of acid/fiber ratio on physical properties of cellulose nanofibers extracted from cassava pulp(2017) Materials Science Forum, 890 MSF, pp. 103-107.
5. Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. Extraction of cellulose microfibrils from cassava pulp(2017) Key Engineering Materials, 723 KEM, pp. 427-433.
6. Triwises P., Ruksakulpiwat Y. and Ruksakulpiwat C., THE MODIFICATION OF TAPIOCA STARCH BY ESTERIFICATION TECHNIQUE, Suranaree J. Sci. Technol. (2016), 23, pp.157-165
7. Pongputtipat W., Ruksakulpiwat Y. and Chumsamrong P., EFFECT OF POLY(D-LACTIC ACID) ON PHYSICAL PROPERTIES OF POLY(LACTIC ACID)/NATURAL RUBBER BLENDS, Suranaree J. Sci. Technol. (2016), 23, pp.129-134

8. Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. The study on the grafting of glycidyl methacrylate onto Poly(lactic acid) in an internal mixer (2016) *Walailak Journal of Science and Technology*, 13, pp. 1037-1046.
9. Kangwanwatthanasiri, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. Glycidyl methacrylate grafted polylactic acid: Morphological properties and crystallization behavior (2015) *Macromolecular Symposia*, 354 (1), pp. 237-243.
10. Ruangudomsakul, W., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from cassava pulp (2015) *Macromolecular Symposia*, 354 (1), pp. 170-176.
11. Srisuwan, S., Ruksakulpiwat, Y., Chumsamrong, P. Physical properties of poly(lactic acid)/hydroxyl terminated natural rubber blends (2015) *Macromolecular Symposia*, 354 (1), pp. 118-124.
12. Juntuek, P., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y., Ruksakulpiwat, C. Effect of vetiver grass fiber on soil burial degradation of natural rubber and polylactic acid composites (2014) *International Polymer Processing*, 29 (3), pp. 379-388.
13. Kangwanwatthanasiri, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. Biocomposites from cassava pulp/polylactic acid/poly (butylenes succinate) (2013) *Advanced Materials Research*, 747, pp. 367-370.
14. Buakaew, W., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W. Mechanical, thermal and morphological properties of poly(butylene succinate) filled with Bio-Functional filler from eggshell waste (2013) *Advanced Materials Research*, 747, pp. 72-75.
15. Ruksakulpiwat, C., Wanasut, W., Singkum, A., Ruksakulpiwat, Y. Cogon grass fiber-epoxidized natural rubber composites (2013) *Advanced Materials Research*, 747, pp. 375-378.
16. Ruangudomsakul, W., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. The study of using bio-filler from cassava pulp in natural rubber composites (2013) *Advanced Materials Research*, 747, pp. 371-374.
17. Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Preparation and Characterization of Poly(lactic acid)/Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Blends and Their Composite (2013) *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 52 (13), pp. 1362-1367.

18. Sutapun, W., Pakdeechote, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, Y. Application of Calcined Eggshell Powder as Functional Filler for High Density Polyethylene (2013) *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 52 (10), pp. 1025-1033.
19. Buakaew, W., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W. Effect of compatibilizers on mechanical and thermal properties of high density polyethylene filled with bio-filler from eggshell (2013) *Advanced Materials Research*, 699, pp. 57-62.
20. Rakmae, S., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Suppakarn, N. Effect of silane coupling agent treated bovine bone based carbonated hydroxyapatite on in vitro degradation behavior and bioactivity of PLA composites (2012) *Materials Science and Engineering C*, 32 (6), pp. 1428-1436.
21. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Effect of glycidyl methacrylate-grafted natural rubber on physical properties of polylactic acid and natural rubber blends (2012) *Journal of Applied Polymer Science*, 125 (1), pp. 745-754.
22. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Comparison between mechanical and thermal properties of polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as fillers (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 59-62.
23. Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Poly (lactic acid)/Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Blend and its composite: Effect of maleic anhydride grafted poly (lactic acid) as a compatibilizer (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 51-54.
24. Boonying, S., Sutapun, W., Supakarn, N., Ruksakulpiwat, Y. Crystallization behavior of vetiver grass fiber- polylactic acid composite (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 55-58.
25. Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N. Effect of heat treatment on chemical structure of a bio-filler from vetiver grass (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 71-74.

26. Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Jeencham, R., Aontee, A. Characterization of precipitated calcium carbonate from eggshell powder (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 228-231.
27. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Glycidyl methacrylate grafted natural rubber: Synthesis, characterization, and mechanical property (2011) *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (5), pp. 3152-3159.
28. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as filler (2011) *ICCM International Conferences on Composite Materials*, 4 p.
29. Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Mechanical and morphological properties of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate)/calcium carbonate composite (2011) *ICCM International Conferences on Composite Materials*, 5 p.
30. Rakmae, S., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Suppakarn, N. Effects of mixing technique and filler content on physical properties of bovine bone-based CHA/PLA composites (2011) *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (4), pp. 2433-2441.
31. Rakmae, S., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Suppakarn, N. Physical properties and cytotoxicity of surface-modified bovine bone-based hydroxyapatite/poly(lactic acid) composites (2011) *Journal of Composite Materials*, 45 (12), pp. 1259-1269.
32. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blends using vetiver grass fiber as filler (2010) *Advanced Materials Research*, 123-125, pp. 1167-1170.
33. Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Properties of biodegradable poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate)/calcium carbonate composites (2010) *Advanced Materials Research*, 123-125, pp. 193-196.
34. Sutapun, W., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, Y. Study of characteristic of vetiver fiber before and after alkaline treatment (2010) *Advanced Materials Research*, 123-125, pp. 1191-1194.
35. Ruksakulpiwat, Y., Sridee, J., Suppakarn, N., Sutapun, W. Improvement of impact property of natural fiber-polypropylene composite by using natural rubber and EPDM rubber (2009) *Composites Part B: Engineering*, 40 (7), pp. 619-622.

36. Somnuk, U., Suppakarn, N., Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y. Shear-induced crystallization of injection molded vetiver grass-polypropylene composites (2009) *Journal of Applied Polymer Science*, 113 (6), pp. 4003-4014.
37. Sanmuang, S., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W. Chicken eggshell as a filler for polymer composites: Preparation and characterizations (2008) *Advanced Materials Research*, 47-50 PART 1, pp. 490-493.
38. Ruksakulpiwat, Y., Sridee, J., Suppakarn, N., Sutapun, W. Natural rubber and EPDM rubber as an impact modifier in vetiver grass-polypropylene composites (2008) *Advanced Materials Research*, 47-50 PART 1, pp. 427-430.
39. Jarukumjorn, K., Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y., Kluengsamrong, J. Effect of silane coupling agent and compatibilizer on properties of short rossells fiber/poly(propylene) composites (2008) *Macromolecular Symposia*, 264 (1), pp. 67-72.
40. Somnuk, U., Eder, G., Phinyocheep, P., Suppakarn, N., Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y. Quiescent crystallization of natural fibers-polypropylene composites (2007) *Journal of Applied Polymer Science*, 106 (5), pp. 2997-3006.
41. Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W., Thomthong, W. Vetiver-polypropylene composites: Physical and mechanical properties (2007) *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38 (2), pp. 590-601.
42. Ruksakulpiwat, Y., Somnuk, U., Kleungsumrong, J., Phinyocheep, P., Suppakarn, N., Sutapun, W. Shear-induced crystallization of natural fiber-polypropylene composites (2006) *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*, 3, pp. 1225-1229.
43. Jarukumjorn, K., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Kluensamrong, J. Compatibilization of natural fibers/PP composites (2006) *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*, 1, pp. 330-333.
44. Suppakarn, N., Sanmaung, S., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Lorprayoon, C., Ekgasit, S. Mechanical properties of natural hydroxyapatite/PP composites (2006) *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*, 1, pp. 325-329.
45. Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W., Thomthong, W. The study of using vetiver grass as a filler in polypropylene composites (2004) *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*, 2, pp. 1641-1645.

46. Isayev, A.I., Churdpant, Y., Guo, X. Comparative Study of Ziegler-Natta and Metallocene Based Polypropylenes in Injection Molding: Simulation and Experiment (2000) International Polymer Processing, 15 (1), pp. 72-82.
47. Churdpant, Y., Isayev, A.I. Comparison of birefringence and mechanical properties of injection molded metallocene and Ziegler-Natta based isotactic polypropylene (2000) Journal of Polymer Engineering, 20 (2), pp. 77-96.



ผู้ร่วมโครงการวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 22-4882 โทรสาร (044) 22-4431 E-mail: charuk@sut.ac.th จบ การศึกษาปริญญาเอกสาขา Polymer Science จาก University of Akron มลรัฐ OHIO ประเทศ สหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Rubber technology มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ แล้วดังต่อไปนี้

1. Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., Rugmai, S., Soontaranon, S., Ruksakulpiwat, Y.
Crystallization behavior studied by synchrotron small-angle X-ray scattering of poly (lactic acid)/cellulose nanofibers composites (2 0 1 7) Composites Science and Technology, 143, pp. 106-115.
2. Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y.
Extraction of cellulose microfibrils from cassava pulp (2 0 1 7) Key Engineering Materials, 723 KEM, pp. 427-433.
3. Nguyen, T.C., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y.
Effect of acid/fiber ratio on physical properties of cellulose nanofibers extracted from cassava pulp (2017) Materials Science Forum, 890 MSF, pp. 103-107.
4. Nguyen Chi Thanh, Ruksakulpiwat, Y., Ruksakulpiwat, C.
The Study on the Grafting of Glycidyl Methacrylate onto Poly(lactic acid) in an Internal Mixer (2016) Walailak J Sci & Tech 2016; 13(12):
- 5 . Triwises P., Ruksakulpiwat Y. and Ruksakulpiwat C., THE MODIFICATION OF TAPIOCA STARCH BY ESTERIFICATION TECHNIQUE, Suranaree J. Sci. Technol. (2016), 23, pp.157-165
6. Nguyen Chi Thanh, Ruksakulpiwat, Y., Ruksakulpiwat, C.
Effect of Glycidyl Methacrylate (GMA) Content on Grafting Yield and Mechanical Properties of GMA Grafted Poly(Lactic Acid) Prepared by Melt Mixing Method (2016) Key Engineering Materials, 709, pp 27-31.
7. Nguyen Chi Thanh, Ruksakulpiwat, Y., Ruksakulpiwat, C.
Extraction of Cellulose Microfibrils from Cassava Pulp (2 0 1 6) Key Engineering Materials, 723, pp 427-433
8. Kangwanwatthanasiri, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y.
Glycidyl methacrylate grafted polylactic acid: Morphological properties and crystallization behavior (2015) Macromolecular Symposia, 354 (1), pp. 237-243.
9. Ruangudomsakul, W., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y.
Preparation and characterization of cellulose nanofibers from cassava pulp

- (2015) *Macromolecular Symposia*, 354 (1), pp. 170-176.
10. Juntuek, P., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y., Ruksakulpiwat, C.
Effect of vetiver grass fiber on soil burial degradation of natural rubber and polylactic acid composites (2014) *International Polymer Processing*, 29 (3), pp. 379-388.
 11. Ruksakulpiwat, C., Wanasut, W., Singkum, A., Ruksakulpiwat, Y.
Cogon grass fiber-epoxidized natural rubber composites (2013) *Advanced Materials Research*, 747, pp. 375-378.
 12. Kangwanwatthanasiri, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y.
Biocomposites from cassava pulp/polylactic acid/poly (butylenes succinate) (2013) *Advanced Materials Research*, 747, pp. 367-370.
 13. Ruangudomsakul, W., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y.
The study of using bio-filler from cassava pulp in natural rubber composites (2013) *Advanced Materials Research*, 747, pp. 371-374.
 14. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y.
Effect of glycidyl methacrylate-grafted natural rubber on physical properties of polylactic acid and natural rubber blends (2012) *Journal of Applied Polymer Science*, 125 (1), pp. 745-754.
 15. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y.
Comparison between mechanical and thermal properties of polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as fillers (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 59-62.
 16. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y.
Glycidyl methacrylate grafted natural rubber: Synthesis, characterization, and mechanical property (2011) *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (5), pp. 3152-3159.
 17. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y.
Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as filler (2011) *ICCM International Conferences on Composite Materials*, 4 p.
 18. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y.
Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blends using vetiver grass fiber as filler (2010) *Advanced Materials Research*, 123-125, pp. 1167-1170.
 19. Wongthep, W., Ruksakulpiwat, C., Amnuaypanich, S.

Membranes prepared from a blend of poly(acrylic acid) and Natural rubber-graft-poly(vinyl alcohol) (PAA/NR-g-PVA) (2010) Advanced Materials Research, 93-94, pp. 268-271.

20. Ruksakulpiwat, C., Nuasaen, S., Poonsawat, C., Khansawai, P.

Synthesis and modification of epoxidized natural rubber from natural rubber latex

(2008) Advanced Materials Research, 47-50 PART 1, pp. 734-737.

21. Srijaranai, S., Siriangkhawut, W., Srijaranai, S., Ruksakulpiwat, C., Deming, R.L.

Effect of bound copper(II) on the LC separation of selected phenols using an aminophosphonic acid silica stationary phase (2004) Analytical Letters, 37 (12), pp. 2577-2594.

22. Hamed, G.R., Ruksakulpiwat, C. Bonding of vulcanized rubber to polyester cord using RFL adhesives modified with chlororesorcinolic resin (2004) Journal of Applied Polymer Science, 91 (3), pp. 1993-1996.

วารสารทางวิชาการระดับชาติที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI

1. ปฎิมา บุตรชา, ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์ และ ปวีณา ฆารไสว

การเตรียมการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างเมทิลเมทาคริเลตกับยางธรรมชาติ โดยกระบวนการอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน KKU Resaerch Journal ปีที่ 13 ฉบับที่ 6 2551 หน้า 663-668

2. รินรวี อินทรภูมิ, ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์, สิทธิพงษ์ อำนวยพานิชย์

แอตไมเซลลาร์พอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิ (เมทิล เมทาคริเลต) และพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลต) บนอนุภาคยางธรรมชาติ KKU Resaerch Journal ปีที่ 13 ฉบับที่ 6 2551 หน้า 701-706

3. ปิยวิทย์ เหล่าบ้านค้อ, ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย

ผลของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่มีต่อสมบัติของยางผสมระหว่างยางสไตรีน-บิวตาไดอีน และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก KKU Resaerch Journal ปีที่ 14 ฉบับที่ 11 2551 หน้า 1061-1071