

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุ
เชิงประกอบจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ/นาโนเซลลูโลส

CHARACTERIZATION IN CHEMICAL PROPERTIES AND DYNAMIC
PROPERTIES OF DEPROTEINIZED NATURAL RUBBER (DPNR) /
NANOCELLULOSE (NCC) COMPOSITES

พิมพ์ณญาณ์ พัฒน์ณพัชญ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุ
เชิงประกอบจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ/นาโนเซลลูโลส

พิมพ์ณญาณ์ พัฒนพงษ์ชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุเชิงประกอบจาก
ยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ/นาโนเซลลูโลส

Characterization in Chemical Properties and Dynamic Properties
of Deproteinized Natural Rubber (DPNR)/Nanocellulose (NCC)
Composites

ชื่อ - นามสกุล

นางสาวพิมพ์ณญาณ์ พัฒน์ณพัชญ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.

ปีการศึกษา

2566

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)


กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ธีรารุณ พงศ์ประยูร, ปร.ด.)


กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีดิ์, Ph.D.)


กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีดิ์, Ph.D.)
วันที่ 17 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้า
ขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis consists of research materials conducted at the Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright owner. I
hereby certify that the thesis does not contain any forms of plagiarism.

.....
(นางสาวพิมพ์ณญาณ์ พันธุ์ณพัชญ์)



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุ เชิงประกอบจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ/นาโนเซลลูโลส
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพิมพ์ณญาณ์ พัฒน์ณพัชญ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

น้ำยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง อย่างไรก็ตามพบว่ายางธรรมชาติมีส่วนประกอบของโปรตีนซึ่งสามารถก่อให้เกิดการแพ้ได้สำหรับผู้ใช้งานราย ดังนั้นการลดโปรตีนในยางธรรมชาติ และการเสริมแรงให้กับวัสดุ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาอาการแพ้โปรตีนในยาง และทำให้วัสดุมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุเชิงประกอบจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ และนาโนเซลลูโลส เพื่อเป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรมและไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้แก่ผู้ใช้งาน

กระบวนการผลิตยางธรรมชาติโปรตีนต่ำถูกเตรียมจากน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูงในสถานะน้ำยาง โดยการบ่มด้วยยูเรียและสารลดแรงตึงผิว ทดสอบหาปริมาณโปรตีน และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี เตรียมนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยกล้วยโดยกระบวนการปรับสภาพด้วยอัลคาไลน์ การฟอกขาว และกระบวนการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 56% นาโนเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้นำมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ดัชนีความเป็นผลึก และรูปแบบโครงสร้างผลึก จากนั้นเตรียมน้ำยางพริ้วคานาซีโดยสูตรลงมืออย่างสำหรับขึ้นรูปลงมืออย่างจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและนาโนเซลลูโลสในอัตราส่วนที่ต่างกัน ได้แก่ 0, 1.5, 3, 4.5 และ 5 wt% แล้วนำมาศึกษาค่าความทนต่อแรงดึง และสมบัติเชิงกลพลวัต เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลงมืออย่างจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl และ FTIR พบว่าวิธีดังกล่าวสามารถลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางได้จริง และผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่านาโนเซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงกว่าเส้นใยกล้วยถึง 1.89 เท่า หลังจากนั้นศึกษาสมบัติทางกล และสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุเชิงประกอบจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ/นาโนเซลลูโลส พบว่ามีค่าความทนต่อแรงดึง เพิ่มขึ้น 1.5 เท่า เมื่อเพิ่มนาโนเซลลูโลส 5 wt% ในน้ำยางโปรตีนต่ำ ในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง และพบว่าปริมาณนาโนเซลลูโลสที่ถูกเพิ่มเข้ามาในน้ำยางโปรตีนต่ำมีความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผันตามกันต่อค่า Storage modulus (E') กล่าวคือ เมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสที่ผสมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่า Storage modulus (E') ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ส่งผลให้วัสดุนี้มีความทนต่อแรงดึงมากขึ้น และมีคุณสมบัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้สำหรับผู้ใช้งาน ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์การผลิตลงมืออย่างเป็นอย่างมาก

คำสำคัญ : ลงมืออย่าง วัสดุเชิงประกอบ ยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ นาโนเซลลูโลส สมบัติเชิงกลพลวัต

Thesis Title	Characterization in Chemical Properties and Dynamic Properties of Deproteinized Natural Rubber (DPNR) / Nanocellulose (NCC) Composites
Name-Surname	Ms. Pimnaya Phannapat
Program	Materials Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Warunee Ariyawiriyanan Dr.Eng.
Academic Year	2023

ABSTRACT

Natural latex is an important raw material in the production of rubber products. However, latex has been found to contain proteins which can cause allergic reactions in some users. Therefore, reducing the protein in natural rubber but reinforcement of materials is one option to solve the problem of allergic reactions to rubber proteins while creating the material gain better mechanical properties. In this research, we focus on the analysis of chemical properties and dynamic mechanical properties of low-protein natural rubber composite materials, and nanocellulose to be a material that has properties suitable for industrial use and does not cause allergic reactions to users.

The production process of low protein natural rubber is prepared from high ammonia latex concentrate in the latex state by means of curing with urea and surfactants, conducting tests for protein content and analyzing chemical structure, preparing nanocellulose from banana fibers by alkaline pretreatment process, bleaching, and hydrolysis process with sulfuric acid at a concentration of 56%. The synthesized nanocellulose gained was analyzed for its chemical structure, crystallinity index and crystal structure patterns. Then pre-vulcanized latex was prepared by formulating rubber gloves for molding rubber gloves from low-protein natural latex and nanocellulose in different ratios viz 0, 1.5, 3, 4.5 and 5 wt%. Finally, it was investigated the tensile strength value, and dynamic mechanical properties in order to determine the optimum conditions for gloves made from low protein natural rubber reinforced with nanocellulose.

Regarding the results of protein content analysis using Kjeldahl and FTIR methods, it was found that these methods could actually reduce the protein content in latex. In addition, the results of the XRD crystallinity analysis revealed that nanocellulose had 1.89 times higher crystallinity than banana fibers. Later, based on the examination of the mechanical properties, and dynamic mechanical properties of low protein natural rubber/nanocellulose composites, it was shown that there was a tolerance value of tensile strength increased 1.5 times when adding 5 wt% nanocellulose to low protein latex while the value of elongation at break decreased. Moreover, It was revealed that the amount of nanocellulose added to low protein latex had a proportional relationship with the storage modulus (E'). This means that when the amount of nanocellulose mixed increased, the storage modulus (E') would increase in value as well. As a result, this material had greater tensile strength, and had environmentally friendly properties but not causing food allergies for users which was highly appropriate for use in the rubber glove production industry.

Keywords: rubber gloves, composites, deproteinized natural rubber, nanocrystalline cellulose, dynamic properties

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ รวมทั้งการเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณรงค์ชัย โอเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ถิรารุช พงศ์ประยูร และ รองศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภวสุปรีย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ Professor KAWAHARA Seiichi ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย รวมทั้งนักศึกษาในมหาวิทยาลัย Nagaoka University of Technology ประเทศญี่ปุ่น ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือในการทดสอบภายในมหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัย Nagaoka University of Technology ประเทศญี่ปุ่น ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนเครื่องมือในการทดสอบ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบ รวมถึงคณาจารย์และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ภายในภาควิชา ขอขอบคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องที่คอยให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและการเงินมาโดยตลอด รวมทั้งให้ความรัก ความเอาใจใส่ และกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยผู้วิจัยขอขอบคุณตัวเองเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบคุณที่ทุ่มเทเวลา แรงกาย แรงใจ ทำงานวิจัยอย่างหนักมาโดยตลอด ขอขอบคุณที่อดทนต่อความยากลำบาก ขอขอบคุณที่ไม่เคยย่อท้อต่ออุปสรรค ขอขอบคุณที่เชื่อมั่นในตัวเอง และขอบคุณที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พิมพ์ณญาณันท์ พัฒนณณพัชญ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	12
1.2 วัตถุประสงค์.....	13
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	13
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 ยางธรรมชาติ.....	15
2.2 น้ำยางธรรมชาติ.....	17
2.3 โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ.....	20
2.4 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช.....	29
2.5 นาโนเซลลูโลส.....	33
2.6 วัสดุเชิงประกอบ.....	35
2.7 สมบัติทางกลแบบพลวัตของโพลิเมอร์.....	44
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	49
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	55
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	55
3.2 วัสดุและอุปกรณ์.....	55
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	61
3.4 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์จากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ.....	62
3.5 ขั้นตอนการเตรียมนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลส.....	63
3.6 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์และ นาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลส (P-DPNR/NCC).....	64
3.7 การทดสอบสมบัติ.....	64

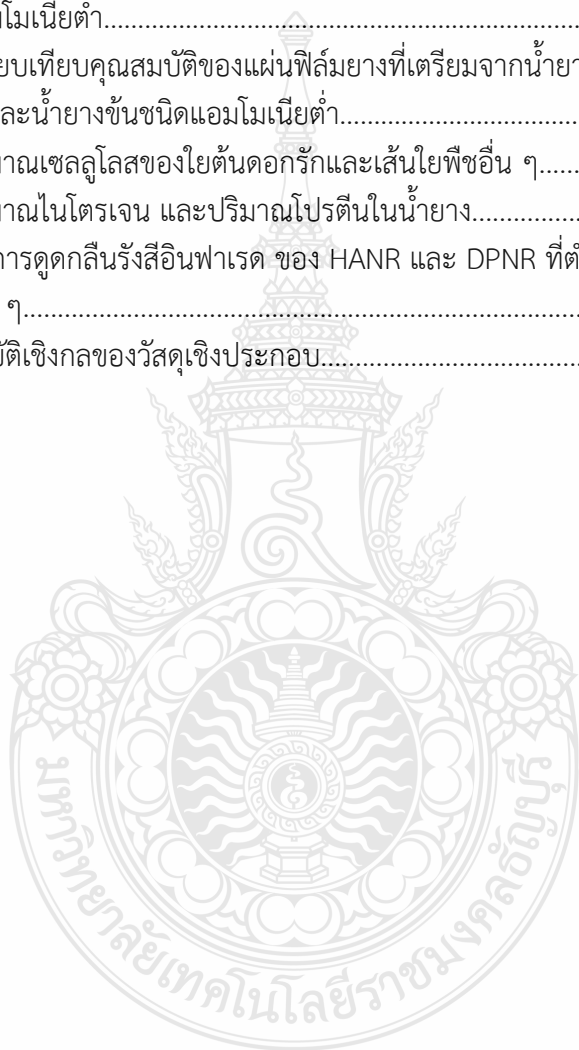
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	68
4.1 ผลการทดสอบน้ำยาง.....	68
4.2 ผลการทดสอบเส้นใย.....	70
4.3 การทดสอบวัสดุเชิงประกอบ.....	74
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	78
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	78
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	78
บรรณานุกรม.....	79
ภาคผนวก.....	84
ประวัติผู้เขียน.....	109



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณโปรตีนที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ที่เหลืออยู่ในถุงมียางและน้ำยางธรรมชาติ.....	22
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ.....	28
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ.....	29
ตารางที่ 2.4 ปริมาณเซลล์ลูลอสของใยต้นดอกรักและเส้นใยพืชอื่น ๆ.....	33
ตารางที่ 4.1 ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในน้ำยาง.....	68
ตารางที่ 4.2 พื้คการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ของ HANR และ DPNR ที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่าง ๆ.....	70
ตารางที่ 4.3 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ.....	74



สารบัญรูป

			หน้า
รูปที่ 2.1		ลักษณะโครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	17
รูปที่ 2.2		น้ำยางจากต้นยาง.....	17
รูปที่ 2.3		แสดงปริมาณสารก่อให้เกิดภูมิแพ้ในน้ำยางที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ.....	24
รูปที่ 2.4		แสดงค่า Crosslink density ของแผ่นฟิล์มจากน้ำยางที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ....	24
รูปที่ 2.5		กลไกการแทนที่ของโปรตีนโดยซิลิกา.....	25
รูปที่ 2.6		ปริมาณโปรตีนและสารอื่นๆ ในน้ำยางดิบก่อนและหลังการเหวี่ยงหมุน.....	26
รูปที่ 2.7		การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ.....	27
รูปที่ 2.8		แสดงปริมาณไนโตรเจนในน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นชนิด แอมโมเนียต่ำ.....	29
รูปที่ 2.9		การชุดเส้นใยไฟด้วยเครื่องแยกเส้นใย.....	30
รูปที่ 2.10		ต้นรักสายพันธุ์โปรซีรา (Calotropis procera).....	32
รูปที่ 2.11		เส้นใยต้นรักที่ผ่านการแยกสกัดโดยการ (ก) หมักด้วยต่าง (ข) ชูดยด้วยมือ (ค) แช่วัยกรด.....	32
รูปที่ 2.12		การจำแนกประเภทของวัสดุคอมโพสิตตามชนิดของเมทริกซ์และลักษณะของ สารเสริมแรง.....	38
รูปที่ 2.13		สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เปรียบเทียบกับวัสดุองค์ประกอบ....	39
รูปที่ 2.14		วัสดุคอมโพสิต Polymer ที่ถูกใช้ในเครื่องบินพาณิชย์โบอิง 777.....	41
รูปที่ 2.15		วัสดุคอมโพสิตเซรามิกที่นำมาใช้ในเครื่องยนต์กังหันแก๊ส.....	42
รูปที่ 2.16		วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ที่ถูกใช้เป็นส่วนประกอบในรถยนต์.....	42
รูปที่ 2.17		วัสดุคอมโพสิตโลหะที่ถูกใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องยนต์.....	43
รูปที่ 2.18		แผนผังของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลส.....	44
รูปที่ 2.19		ยางรถยนต์ ตัวอย่างที่ได้รับแรงกระทำแบบเป็นคาบในขณะการใช้งาน.....	46
รูปที่ 2.20		พื้นรองเท้าจากยางที่ต้องรับแรงกระทำแบบเป็นคาบในขณะการใช้งาน.....	46
รูปที่ 2.21		ตัวอย่างรูปร่างต่าง ๆ ที่จะนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกลแบบพลวัตด้วยเทคนิค DMA.....	48
รูปที่ 3.1		เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเหนือศีรษะ.....	56
รูปที่ 3.2		เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด.....	56
รูปที่ 3.3		เครื่องหมุนเหวี่ยง.....	57
รูปที่ 3.4		ตู้อบ.....	57
รูปที่ 3.5		ชุดทดสอบปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl's method.....	57
รูปที่ 3.6		เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 เครื่องเอกซเรย์ดีฟแฟรกชัน.....	58
รูปที่ 3.8 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี.....	59
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	59
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัต.....	60
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	61
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ.....	62
รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาง P-DPNR.....	63
รูปที่ 4.1 สเปกตรัม FT-IR ของ HANR และ DPNR.....	69
รูปที่ 4.2 สเปกตรัม FT-IR ของ HANR และ DPNR หลังกำจัดโปรตีน.....	69
รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของ BF, A-BF, B-BF และ NCC.....	70
รูปที่ 4.4 สเปกตรัม X-RD ของ BF, A-BF, B-BF และ NCC.....	72
รูปที่ 4.5 สเปกตรัม NMR ของ BF, A-BF, B-BF และ NCC.....	73
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Storage modulus (E') กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของ DPNR, DPNR/1.5%NCC, DPNR/3%NCC, DPNR/4.5%NCC และ DPNR/5%NCC.....	76
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Loss modulus (E'') กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของ DPNR, DPNR/1.5%NCC, DPNR/3%NCC, DPNR/4.5%NCC และ DPNR/5%NCC.....	77
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tan δ กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของ DPNR, DPNR/1.5%NCC, DPNR/3%NCC, DPNR/4.5%NCC และ DPNR/5%NCC.....	77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	American Society of Testing and Materials
DRC	ปริมาณเนื้อยางแห้ง
HANR	น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโนเนียความเข้มข้นสูง
DPNR	น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ
NCC	นาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลส
phr	อัตราส่วนต่อร้อย
SDS	โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต
° C	หน่วยองศาเซลเซียส



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

น้ำยาง (Latex) คล้ายกับน้ำนมและประกอบด้วย cis-1,4-polyisoprene เป็นส่วนหลัก มาจากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ซึ่งพบได้ในประเทศมาเลเซีย, อินโดนีเซีย, และไทย นอกจากนี้ยังมีโปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, และสารอินทรีย์อื่น ๆ เช่น โพแทสเซียม, แมกนีเซียม, ทองแดง, สังกะสี, และเหล็ก โปรตีนในน้ำยางมีมากกว่า 250 ชนิด โดยปริมาณเริ่มต้นที่ 1-1.8% และมีความแตกต่างตามแหล่งที่มาของน้ำยาง นอกจากนี้ยังมีโปรตีนอื่น ๆ ที่เชื่อว่าเป็นสาเหตุของอาการแพ้ประมาณ 30-60 ชนิด [1] วิธีการที่สามารถใช้เพื่อป้องกันอาการแพ้และลดระดับโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Deproteinisation) ได้แก่ การใช้วิธีการ เช่น การเหวี่ยงหมุน หรือการแยกด้วยเมมเบรน และวิธีเคมี เช่น การย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ หรือการใช้สารสบู่แล้วตามด้วยการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เครื่องมือเหวี่ยงให้ตกตะกอนหรือส่วนที่หนักกว่านอนก้น หรือการทำให้น้ำยางเป็นเนื้อคล้ายครีมยังเป็นที่เลือกอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพได้ดี [2]

Prevulcanization คือ กระบวนการที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์บางส่วน เกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแหขึ้นภายในอนุภาคน้ำยาง ผลลัพธ์ที่ได้คือ แผ่นยางแห้งที่มีโครงสร้างของ Polymer ที่มีการเชื่อมขวาง คล้ายกับยางแห้งที่ผ่านการวัลคาไนเซชันแบบปกติ Prevulcanization ของน้ำยางธรรมชาติเป็นวิธีการที่มีผลต่อโปรตีนที่ถูกสกัดออกมาโดยการผสมสารเสริมความคงทน (Stabilizers) เพื่อป้องกันการรวมตัวของอนุภาคน้ำยางระหว่างกระบวนการผลิต และตัวช่วยเชื่อม (Crosslink agents) เช่น สารเร่งการทำใหยางแข็งตัวดีออกไซด์ไทโอคาร์บาเมท, ซิงค์ออกไซด์, และกำมะถัน ในยางเพื่อสร้างโครงสร้างตาข่ายสามมิติระหว่างโพลิเมอร์ของยาง เพื่อให้แผ่นฟิล์มยางแห้งมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่น อุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส เมื่อแผ่นฟิล์มยางแห้งจะมีคุณสมบัติดีขึ้น แต่ความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มน้ำยางที่ผ่านการ Prevulcanization ในขั้นตอนที่มีลักษณะคล้ายเจลเปือก มีค่าน้อยกว่าแผ่นฟิล์มน้ำยางที่ Nonprevulcanization ปกติน้ำยางที่ผ่านการ Prevulcanization จะมีปริมาณโปรตีนที่ถูกสกัดออกมาสูงกว่ายางที่พรีวัลคาไนส์เซชันแล้ว น่าจะเป็นเพราะน้ำยางที่ผ่านการ Prevulcanization มีปริมาณน้ำและความเป็นรูปทรงของแผ่นฟิล์มมากกว่า ทำให้โปรตีนที่ถูกสกัดออกมาอาจมีการซึมเข้าสู่ผิวด้านหน้าของแผ่นฟิล์มยางได้ขณะทำให้แห้ง และเมื่อมีการใช้ความร้อนในการอบให้แห้งสูงมากเท่าไรก็จะทำให้ปริมาณโปรตีนที่ถูกสกัดออกมาสูงขึ้นด้วย [3]

ผลผลิตและผลพลอยได้ทางเกษตรเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่สำคัญในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ซึ่งหนึ่งในผลพลอยได้ทางการเกษตรคือเส้นใยจากพืช ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีปริมาณมากและมีความสามารถในการนำมาสกัดเอาเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ได้ เทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้การสกัดและการลดขนาดของเซลลูโลสเป็นไปได้โดยหลากหลายวิธี รวมถึงการใช้เอนไซม์ สารเคมี และแรงกล นาโนเซลลูโลสสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน เช่น เป็นสารให้ความคงตัว สารทดแทนไขมันอิมัลซิไฟเออร์ โยอาหาร และเป็นองค์ประกอบในบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร อื่น ๆ [4] การนำเส้นใยกล้วยมาใช้ใน

การผลิตนาโนเซลลูโลสเป็นอีกหนึ่งวิธีที่น่าสนใจอย่างมากในด้านเทคโนโลยีและวัสดุที่ยังคงอยู่ในกระแสของวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุ เส้นใยกล้วยมีลักษณะที่แข็งและมีความแข็งแรงสูง และสามารถยืดหยุ่นได้ดี ทำให้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่น่าสนใจสำหรับการใช้ในการผลิตนาโนเซลลูโลส นอกจากนี้เส้นใยกล้วยยังมีส่วนประกอบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมาจากวัสดุธรรมชาติ และยังสามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วหลังจากที่ถูกใช้งานเสร็จสิ้น เนื่องจากเส้นใยกล้วยมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการเสริมความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุในระดับนาโนเช่นเดียวกับการปรับปรุงคุณสมบัติอื่น ๆ ของวัสดุ อาทิเช่น ความต้านทานต่อแสง UV หรือการป้องกันการกัดกร่อนโดยสารที่มีฤทธิ์กระตุ้นทางชีวภาพ การนำเส้นใยกล้วยมาใช้ในการผลิตนาโนเซลลูโลสยังเป็นทางเลือกที่ยังไม่ค่อยได้รับการศึกษาอย่างละเอียดมาก่อน แต่มีศักยภาพที่สูงมากในการเป็นวัสดุทดแทนที่ยังคงทำให้รับรู้ในอุตสาหกรรมนาโนเทคโนโลยีและวัสดุในอนาคต การวิจัยและพัฒนาในส่วนนี้จึงเป็นสิ่งที่น่าติดตามอย่างใกล้ชิดในอนาคต.

ในงานวิจัยเรื่องจึงได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตยางธรรมชาติโปรตีนต่ำถูกเตรียมจากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงในสภาวะน้ำยาง โดยการบ่มด้วยยูเรียและสารลดแรงตึงผิว ทดสอบหาปริมาณโปรตีน และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี เตรียมนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยกล้วยโดยกระบวนการปรับสภาพด้วยอัลคาไลน์ การฟอกขาว และกระบวนการสกัดด้วย Sulfuric ที่ความเข้มข้น 56% นาโนเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้นำมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ดัชนีความเป็นผลึก และรูปแบบโครงสร้างผลึก จากนั้นเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สำหรับถลุงมือจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและนาโนเซลลูโลสในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 1.5, 3, 4.5 และ 5 wt% แล้วนำมาศึกษาค่าความทนต่อแรงดึง และสมบัติเชิงกลพลวัต เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับถลุงมือจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียม และทดสอบหาปริมาณโปรตีน และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียม และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ดัชนีความเป็นผลึก และรูปแบบโครงสร้างผลึก

1.2.3 เพื่อศึกษาค่าความทนต่อแรงดึง และสมบัติเชิงกลพลวัต เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับถลุงมือจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 เตรียมน้ำยาง DPNR จากน้ำยาง HANR โดยวิธีการบ่มด้วยยูเรียและสารลดแรงตึงผิว โซเดียมไดออกไซด์

1.3.2 ทดสอบสมบัติของน้ำยาง HANR และน้ำยาง DPNR

1.3.2.1 ทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen content) และปริมาณโปรตีนในน้ำยาง (Protein content) โดยวิธี Kjeldahl

1.3.2.2 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำยางด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) และเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR)

1.3.3 เตรียมนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยกล้วยในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี

1.3.4 ทดสอบเส้นใยและ เส้นใยที่ปรับปรุงพื้นผิว และนาโนเซลลูโลส

1.3.4.1 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

1.3.4.2 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffractometer, XRD) และเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR)

1.3.5 เตรียมวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณเซลลูโลสต่างกัน คือ 0, 1.5, 3.0, 4.5, และ 5.0%

1.3.6 ทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตด้วยเทคนิค Dynamic Mechanical Analysis, DMA

1.3.7 ทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 882

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงวิธีการเตรียม และทดสอบหาปริมาณโปรตีน และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

1.4.2 ทราบถึงวิธีการเตรียม และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ดัชนีความเป็นผลึก และรูปแบบโครงสร้างผลึก

1.4.3 ทราบถึงค่าความทนต่อแรงดึง และสมบัติเชิงกลพลวัต เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับถ่วงมือจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ (Natural rubber) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมากประกอบด้วย หน่วยเล็ก ๆ ของสารที่อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ที่ได้จากธรรมชาติ ประกอบด้วยพอลิไอโซพรีน (Polyisoprene) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดหนึ่ง โมเลกุลของพอลิไอโซพรีนมีโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ เมื่อรวมกันเป็นลูกโซ่ โดยธรรมชาติแล้ว พอลิไอโซพรีนนี้เกิดขึ้นในธรรมชาติจากน้ำยาง (Rubber latex) ซึ่งมักจะมาจากพืช *Hevea brasiliensis* หรือพืชยางบาซิล โดยทั่วไปแล้วยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการผลิตสินค้าที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น ยางรถยนต์ ถุงยาง หรือผลิตภัณฑ์ยางอื่น ๆ

ยางธรรมชาติมักถูกใช้ในอุตสาหกรรมยางเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีเกี่ยวกับความยืดหยุ่นและความทนทานต่อสภาพแวดล้อม อีกทั้งยางธรรมชาติยังจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้ในอุตสาหกรรมยางนอกเหนือจากยางเรียบ ๆ ด้วยคุณสมบัติที่เฉพาะเจาะจง เช่น ความต้านทานต่อสภาพอากาศ ความยืดหยุ่นและความแข็งแรงที่ดี ซึ่งทำให้มีการใช้งานในส่วนต่าง ๆ ของอุตสาหกรรม เช่น การผลิตยางล้อรถยนต์ การผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ในการฉีดยา หรือในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ต้องการความยืดหยุ่นและความทนทานต่อสภาพอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้บ่อยครั้ง

2.1.1. แหล่งผลิตยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมักถูกผลิตในประเทศที่มีสภาพอากาศและดินที่เหมาะสมในการการเจริญเติบโตของต้นยาง เช่น ประเทศไทย เวียดนาม อินโดนีเซีย มาเลเซีย และบราซิล เป็นต้น ในประเทศไทย พื้นที่ที่ผลิตยางมากที่สุดคือ ภาคใต้ โดยเฉพาะจังหวัดสงขลา ระยอง และปัตตานี ซึ่งมีพื้นที่ปลูกยางแพร่หลายในแต่ละจังหวัด ในปัจจุบัน ยางธรรมชาติยังเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตยางรถยนต์และผลิตภัณฑ์ยางอื่น ๆ อีกมากมาย ปัจจุบันเครื่องจักรและเทคโนโลยีทางการเกษตรได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยว การเจริญเติบโตของต้นยาง และการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ใช้ระบบท่อน้ำเพื่อให้เข้าถึงต้นยางอย่างต่อเนื่อง การใช้รถไถเพื่อเปิดทางน้ำในสวนยาง เป็นต้น การผลิตยางธรรมชาติในปัจจุบันมีสำคัญต่ออุตสาหกรรมในกลุ่มประเทศที่มีการผลิตมาก ๆ เนื่องจากสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและเป็นส่วนสำคัญของการส่งออกของประเทศนั้น ๆ อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อการจัดการสิ่งแวดล้อมและการอยู่ร่วมกันของชุมชนท้องถิ่นด้วย การผลิตยางธรรมชาติก็มีความท้าทายเกี่ยวกับการระบาดของโรคพืช เช่น โรคใบจุดขอบใบไหม้ที่สามารถทำลายต้นยางได้ การค้าขายยางที่มีราคาต่ำลงเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ อย่างการแข่งขันจากยางราคาถูกจากประเทศอื่น ๆ และการผลิตยางรังสีสีม่วงที่มีผลกระทบต่อนสิ่งแวดล้อม ทำให้การจัดการที่ดีและมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตยางธรรมชาติ

2.1.2. ลักษณะของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีสมบัติเชิงกลดี มีความยืดหยุ่น (Elastic) สูง มีความเหนียว (Toughness) มีความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) สูง และสามารถยึดติดกับวัสดุอื่น เช่น โลหะและสิ่งทอได้ดีจึงสามารถนำไปใช้งานทางวิศวกรรมได้หลากหลายมากขึ้นอุตสาหกรรมยางประกอบด้วยอุตสาหกรรม 2 ส่วน คือ อุตสาหกรรมต้นน้ำ ซึ่งผลิตวัตถุดิบ และอุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งผลิตผลิตภัณฑ์

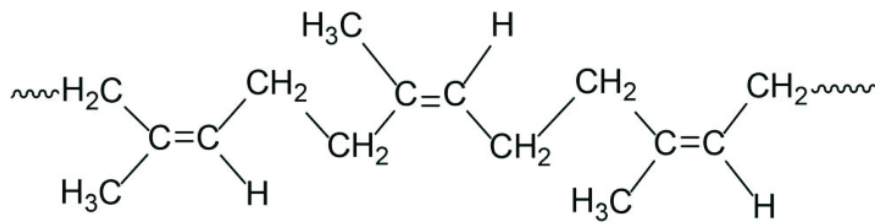
2.1.2.1. ยางแปรรูปขึ้นต้นได้มาจากวัตถุดิบ คือ น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม ต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้เน่าเสีย ยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการ ซึ่งการนำน้ำยางสดมาแปรรูปเป็นยางแปรรูปขึ้นต้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- ยางแท่ง แบ่งตามกรรมวิธีการผลิตเป็น 3 ประเภท คือ 1. ยางแบบธรรมดา ผลิตโดยวิธีดั้งเดิม ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ, 2. ยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานตามสากล ได้แก่ ยางแท่งมาตรฐาน, 3. ยางแบบอื่นๆ ที่มีวิธีการผลิตเฉพาะตัว เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะสมกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ หรือเพื่อวัตถุประสงค์จะปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติได้แก่ ยางที่มีความเหนียวคงที่ ยางเทอร์โมพลาสติก ยางอีพอกซีไดซ์ยางผง ยางเหลว เป็นต้น

- ของเหลว ได้แก่ น้ำยางข้น ซึ่งมี 2 ประเภท คือ 1. น้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยสารเคมีหรือวิธีการใดๆ เพื่อให้โมเลกุลของยางเปลี่ยนไป, 2. น้ำยางข้นที่ผ่านกระบวนการตัดแปรด้วยสารเคมีหรือการฉายรังสีให้โมเลกุลของยางเปลี่ยนแปลง เรียกว่า “น้ำยางคงรูป” หรือ “น้ำยางพรีวัลคาไนซ์”

2.1.3. โครงสร้างของยางธรรมชาติ

โครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ ชื่อทางเคมีของยางธรรมชาติ คือ cis-1,4-polyisoprene โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน มีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมัน แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี สมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติได้แก่ความยืดหยุ่นสูง มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ -72°C สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก ทำใหยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง มีการใส่กรดฟอร์มิคเจือจางลงในน้ำยางเพื่อเกิดการจับตัวเป็นก้อน และเกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก และมีสมบัติเป็นคอลลอยด์ ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน และทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซน การออกสูตรยางจำเป็นจะต้องมีแอนติออกซิแดนท์และแอนตี้โอโซนแทนที่ด้วย ยางธรรมชาติมีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำใหยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี และมีความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล [6]



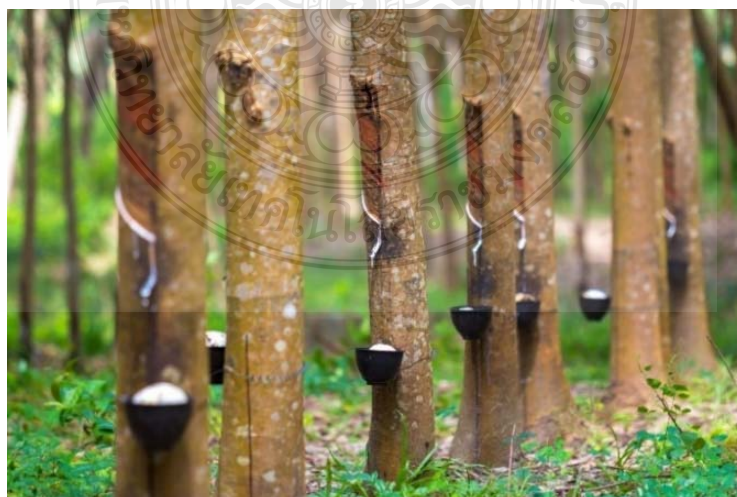
รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของยางธรรมชาติ [6]

2.2 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) เป็นของเหลวที่ได้จากการแก้ไขพืชยาง เช่น พืช *Hevea brasiliensis* หรือพืชยางบาซิล มีลักษณะคล้ายกับน้ำมะพร้าวเข้มข้น แต่มีส่วนประกอบที่สำคัญคือโพลีโอซิน (polyisoprene) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์หลักที่ประกอบยางธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติมักถูกเก็บรวบรวมจากต้นยางโดยการทำเป็นรอยแผลบนเปลือกต้นยางแล้วเก็บน้ำยางที่ไหลออกมา เมื่อน้ำยางถูกเก็บรวบรวมมากพอ ๆ ก็จะถูกนำไปผสมกับสารกาวและสารเติมที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการ เช่น ถุงยาง ยางนินรภัย หรือผลิตภัณฑ์ยางอื่น ๆ ตามที่ต้องการใช้งาน

น้ำยางธรรมชาติมักมีลักษณะเป็นเม็ดยางเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำเป็นรูปแบบของน้ำยางเอมัลชัน (emulsion) โดยมีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 และมักมีการใส่กรดพอร์มิกเจือเพื่อช่วยให้เกิดการจับตัวของเม็ดยาง และเกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ น้ำที่ปนอยู่ในยางจะถูกกำจัดออกไปโดยการรีดด้วยลูกกลิ้ง วิธีการนี้ช่วยให้ได้ยางที่มีคุณภาพและความสมบูรณ์ที่ดีในการใช้งานต่อไป

น้ำยางธรรมชาติมีคุณสมบัติที่ดีเกี่ยวกับความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งทำให้เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย [12]



รูปที่ 2.2 น้ำยางจากต้นยาง [13]

2.2.1. ประวัติของน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางมาจากต้นไม้น้ำยาง มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ ยางพารา [14] ยางพารามีต้นกำเนิดในลุ่มน้ำอเมซอนที่ตั้งอยู่ในประเทศบราซิลและเปรูบนทวีปอเมริกาใต้ ประชากรท้องถิ่นในภูมิภาคอเมริกากลางได้มีการใช้ยางพาราอย่างแพร่หลายตั้งแต่ยุคก่อนปี พ.ศ. 2000 โดยมีการจุ่มลงในน้ำยางดิบเพื่อผลิตรองเท้า รวมถึงการใช้ยางพาราในการผลิตผ้ากันฝน ขวดน้ำ และลูกบอลยางในการเล่นเกมนานาชาติต่าง ๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2036-2039 คริสโตเฟอร์ โคลัมบัสเดินทางมาสำรวจทวีปอเมริกาใต้ และพบว่าชาวบ้านบนเกาะไฮติกำลังมีการเล่นลูกบอลยางอย่างชัดเจน โดยลูกบอลนี้สามารถกระดอนได้ สถานการณ์นี้ทำให้นักสำรวจตกใจและกลายเป็นเหตุการณ์ที่น่าสนใจในการศึกษาวัฒนธรรมและสังคมของพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งเป็นการใช้เครื่องเล่นยางธรรมชาติที่มีผลกระทบต่อพัฒนาการของสังคมได้อย่างชัดเจนและน่าสนใจ

ในปี พ.ศ. 2279 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อชาลส์ มาริเดอลา คอนดามีน (Charles Merie de la Condamine) ได้ทำการตั้งชื่อให้กับยางตามคำพื้นเมืองของชาวไมกาว่าว่า "คาโอชู" (Caoutchouc) ซึ่งมีความหมายว่าต้นไม้อ่อนนุ่ม เพื่อป้องกันสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อต้นยางถูกกรีดและน้ำยางไหลออกมา ซึ่งชื่อนี้ได้รับความนิยมและกลายเป็นนามสกุลของวัตถุภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับยางธรรมชาติในอดีต ในทางเทคนิค, ในปี พ.ศ. 2369, ไมเคิล ฟาราเดย์ (Faraday) ได้ทำการวิจัยและรายงานถึงสมบัติของน้ำยางโดยระบุว่ามีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน และระบุสูตรเคมีเอมไพริคัล C_5H_8 ซึ่งเป็นสารที่มีความสำคัญในการกำหนดและเข้าใจสมบัติของยางพารา เมื่อเข้าสู่ยุคที่ต้องการใช้น้ำยางธรรมชาติในระดับกว้างขวาง นักวิจัยทั้งในฝรั่งเศสและทั่วโลกได้ทำการปรับปรุงสมบัติของยางพาราเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ใช้งานได้กว้างขึ้น ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ในการผลิตน้ำยางธรรมชาติในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพและอย่างทันท่วงที

ที่แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นแหล่งผลิตน้ำยางใหญ่ที่สุดในโลก ซึ่งมีส่วนร้อยละ 90 ของการผลิตทั้งหมด ภายในเขตนี้นี้มีการปลูกพันธุ์ยางฮีเวาเบราซิลเลียนซิส (Hevea brasiliensis) ซึ่งจัดเป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมในการผลิตน้ำยาง น้ำยางที่เกิดขึ้นจากต้นมักถูกรูดออกมาเป็นน้ำยางสด (Field latex) มีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็ก ๆ ที่กระจายอยู่ในน้ำเป็นรูปอิมัลชัน (Emulsion) โดยมักมีสีขาวและความหนืดประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ น้ำยางสดมักมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ คือ โปรตีน แอลคาลอยด์ สารอาหารจากแบง น้ำตาล น้ำมัน และเชื้อจากหมากฝรั่งธรรมชาติ น้ำยางในรูปอิมัลชันมักถูกใช้ในการป้องกันแมลงกินพืช และมีการปรับปรุงสมบัติของยางพาราเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ใช้งานได้กว้างขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ในการใช้งานและการประยุกต์ใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน การวิจัยในปี พ.ศ. 2369 ได้พบว่าน้ำยางประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งทำให้มีการปรับปรุงสมบัติของยางพาราให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในการใช้งานในด้านต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้อย่างทันท่วงที และนำไปสู่การพัฒนาและการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงสุดในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบัน [14]

2.2.1.1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35% หมายถึง ส่วนของน้ำยางธรรมชาติที่มีเนื้อเป็นส่วนประกอบของกัมมันตรังสี (Isoprene) อยู่ในอัตราส่วนประมาณ 35% ของน้ำยางทั้งหมด ส่วนนี้มักถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางล้อรถ หรือการผลิตสินค้าอย่างอื่น ๆ โดย

มีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นและทนทานต่อการทำงานในสภาวะต่าง ๆ เช่น การยืดอย่างต่อเนื่องและการทำงานในสภาวะอุณหภูมิสูงหรือต่ำ

2.2.1.2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65% หมายถึง ส่วนของน้ำยางธรรมชาติที่ไม่ใช่ส่วนของเนื้อยาง ส่วนนี้สามารถประกอบไปด้วยสารอื่น ๆ ที่เข้ามาในน้ำยางรวมถึงน้ำและสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้น ร่วมกับกระบวนการสกัดน้ำยางธรรมชาติ นอกจากนี้ ส่วนที่ไม่ใช่ยางยังอาจมีสารผสมที่เพิ่มความหนืดและความแข็งแรงให้กับน้ำยางเช่น สารยึดติด สารเสริม หรือสารเคมีอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น เช่น ลดการแตกแยก ป้องกันการชำรุด หรือเพิ่มความยืดหยุ่น ส่วนนี้มักถูกใช้ในการผลิตยางเป็นส่วนใหญ่และยังสามารถนำไปใช้ในการผลิตสินค้าอื่น ๆ ที่ไม่ได้เป็นยางด้วย

2.2.1.2.1. ส่วนที่เป็นน้ำ 55% หมายถึง ส่วนของน้ำยางธรรมชาติที่เป็นส่วนที่ไม่มีส่วนร่วมในการสร้างเนื้อยาง โดยมีปริมาณประมาณ 55% ของน้ำยางทั้งหมด เนื่องจากการสกัดน้ำยางธรรมชาติจะให้น้ำออกมาพร้อมกับน้ำยาง ซึ่งน้ำนี้จะต้องถูกแยกจากเนื้อยางก่อนนำเนื้อยางไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป น้ำมีความสำคัญในการสกัดน้ำยางเนื่องจากเป็นสารละลายที่ช่วยให้สารต่าง ๆ ในน้ำยางมีการไหลไปด้วย และช่วยลดความหนืดของน้ำยางทำให้ง่ายต่อการจัดเก็บและการนำไปใช้งานต่อไป น้ำยางที่เหลือหลังจากการแยกน้ำออกจะเป็นเนื้อยางที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดี

2.2.1.2.2. ส่วนของลูทอยด์ 10% หมายถึง ส่วนของน้ำยางธรรมชาติที่ประกอบด้วยลูทอยด์ (latex) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช่น้ำและไม่ใช่น้ำยาง โดยมีปริมาณประมาณ 10% ของน้ำยางทั้งหมด ลูทอยด์เป็นส่วนสำคัญที่ประกอบด้วยสารต่าง ๆ ที่มีความหนืดและมีคุณสมบัติที่ให้น้ำยางมีความยืดหยุ่น นอกจากนี้ ลูทอยด์ยังมีสารป้องกันและควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และกากในน้ำยาง ทำให้ลูทอยด์มี ส่วนที่เป็นแบ่งแยกอย่างชัดเจนและมีความสำคัญในการผลิตสินค้ายางและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ใช้วัตถุดิบจากน้ำยางธรรมชาติ

การเริ่มกรีดยางสดจากต้นยางมีข้อจำกัดในระยะเวลาที่สามารถคงความสดในระดับที่เหมาะสมได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง ซึ่งเกิดจากการรบกวนของแบคทีเรียจากอากาศและเปลือกของต้นยางที่กรีด ซึ่งอาจทำให้สารอาหารในน้ำยางถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นก๊าซต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ทำให้เกิดการบูดเน่าและกลิ่นเหม็น เมื่อกระบวนการนี้เกิดขึ้น มักส่งผลให้น้ำยางสดเสื่อมสภาพ โดยหน้าตาของมันจะเริ่มมีความหนืดมากขึ้น โดยอนุภาคของยางเริ่มจับตัวกันเป็นเม็ดเล็ก ๆ และสุดท้ายจะเป็นก้อนใหญ่ ๆ นั่นหมายความว่าน้ำยางเริ่มแยกเป็นสองส่วน คือ เนื้อยางและเซรุ่ม ดังนั้น เพื่อป้องกันการสูญเสียคุณภาพของน้ำยาง การใช้สารเคมีเคลือบที่เรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้รับการนำมาใช้ เช่น แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ และฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อรักษาความสมดุลของน้ำยางให้คงที่และไม่สูญเสียคุณภาพ ทั้งนี้ เพื่อให้กระบวนการผลิตน้ำยางธรรมชาติมีประสิทธิภาพที่สูงที่สุด จึงต้องมีการพัฒนาและวิจัยในด้านต่าง ๆ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตและประสานงานให้เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำยางให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีคุณค่าในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทั่วโลก

การใช้งานยางธรรมชาติแบ่งเป็นสองรูปแบบหลักๆ คือการใช้เนื้อยางและการใช้ยางแท่ง ในกระบวนการใช้น้ำยาง น้ำยางสดจะถูกแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเนื้อยาง วิธีที่ได้รับการ

ยอมรับอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมคือการใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ เมื่อพูดถึงการใช้ยางแห้ง มักใช้วิธีการใส่กรดอะซิติกเข้าไปในน้ำยางสด กรณีนี้ เมื่อกรดอะซิติกถูกใส่เข้าไป น้ำยางจะเป็นก้อนและเกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ การนี้ช่วยให้สามารถทำให้ยางแห้งสนิทและพร้อมใช้งานได้ เนื่องจากยางมาจากแหล่งที่แตกต่างกัน เช่น ต้นยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ จึงมีการแบ่งชั้นของยางตามคุณภาพและสมบัติต่าง ๆ เพื่อให้ได้ยางแห้งสนิทที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ มีวิธีการหลัก เช่น การรมควันยางและการทำยางเครฟ ที่ผู้ผลิตและนักวิจัยยางใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของยางแห้งให้ดียิ่งขึ้นและมีความสมบูรณ์ที่สูงสุดในการใช้งานและการประยุกต์ใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน [14]

2.3 โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Protein in natural rubber latex) เป็นสารประกอบที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่พบในน้ำยางธรรมชาติ นอกเหนือจากกัมมันตรังสี (Isoprene) และอื่น ๆ สารเคมี โปรตีนมีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติของน้ำยาง และมีผลต่อความแพ้ของบางบุคคลต่อน้ำยาง

โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติมักจะทำให้เกิดอาการแพ้หรือการระคายเคืองแพ้ (Latex allergy) ในบางบุคคล เนื่องจากการสัมผัสกับโปรตีนนี้อาจทำให้เกิดอาการแพ้ที่หนังหรือในระบบทางเดินหายใจ เช่น คัน ผื่นแดง ระคายเคือง ซึ่งอาจเกิดขึ้นในผู้ที่มีความไวต่อโปรตีนในน้ำยาง การประมาณผลกระทบของโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติต่อสุขภาพมนุษย์จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถพัฒนาวัสดุและกระบวนการผลิตที่ปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งานโดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

น้ำยางเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากต้นยางพารา พบได้ในประเทศมาเลเซีย, อินโดนีเซีย, และไทย มีลักษณะคล้ายน้ำมัน ประกอบด้วย cis-1,4-polyisoprene เป็นองค์ประกอบหลัก มีโปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, และสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณของโปรตีนอยู่ระหว่าง 1-1.8% มีโปรตีนมากกว่า 250 ชนิด โดยโปรตีนแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน [15]

ในปี 2004 ปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประมาณ 1.08 ล้านตัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผู้มีอาการแพ้ส่วนใหญ่แสดงให้เห็นถึงการเกิดผื่นคันและผิวหนังอักเสบ ซึ่งในปัจจุบันมีจำนวนมากถึงมากกว่า 70% ของผลิตภัณฑ์ยางใช้แปรงข้าวโพด แป้งเป็นสาเหตุของอาการแพ้ เนื่องจากโปรตีนในน้ำยางและแป้งมีสารแพ้ให้ระดับโปรตีนที่เป็นสาเหตุของการแพ้เพิ่มขึ้น การลดปริมาณสารแพ้ในน้ำยางอาจช่วยลดความเสี่ยงของอาการแพ้ การทดลองแสดงว่า ถ้ามีสารแพ้น้อยกว่า 2 ไมโครกรัมต่อกรัม ของน้ำยาง ที่ทำให้ผู้ใช้งานผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติไม่เกิดอาการแพ้ [16]

การลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากอาการแพ้โปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเหวี่ยงหมุนเพื่อให้โปรตีนตกตะกอน การใช้เอนไซม์ การใช้สารลดแรงตึงผิว และการล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดโปรตีนที่ตกค้างในน้ำยางออก การลดโปรตีนสามารถผลิตน้ำยางที่ไม่มีส่วนผสมของโปรตีนหรือลดจำนวนโปรตีนในน้ำยางลงได้ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของน้ำยาง เช่น การยืดหยุ่น แต่โปรตีนยังมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติการยืดหยุ่นของยาง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำยางธรรมชาติ การลดโปรตีนอาจทำให้ความเสถียรของน้ำยางลดลงและเปลี่ยนคุณสมบัติในการจับตัวเป็นก้อนของน้ำยาง แต่โปรตีนยังช่วยรักษาความเสถียรของคอลลอยด์ในน้ำยางขณะผลิตยางโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติประกอบด้วย Carcon (C), Hydrogen (H), Nitrogen (N),

Oxygen (O) และ Sulfur (S) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ เมื่อถูกย่อยสลาย โปรตีนจะลดความยาวเหลือหมู่อะมิโน การย่อยโปรตีนสามารถเกิดขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะต่างของสารละลายแอมโมเนีย โครงสร้างบางส่วนของโปรตีนสามารถไฮโดรไลซ์เป็นเพปไทด์เล็ก ๆ และการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำยาง [18]

2.3.1. อาการแพ้ที่เกิดขึ้นจากโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางธรรมชาติมักเกิดขึ้นเมื่อร่างกายมีการตอบสนองที่ผิดปกติต่อโปรตีนดังกล่าว อาการแพ้ที่เกิดขึ้นอาจมีความรุนแรงตั้งแต่เล็กน้อยจนถึงระดับที่อาจเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ บางครั้งอาการแพ้อาจเริ่มต้นด้วยอาการเล็กน้อยเช่น ผื่นแดง คัน หรือน้ำมูกไหล แต่ในกรณีที่รุนแรงอาจทำให้เกิดอาการแพ้รุนแรงมากขึ้น เช่น หายใจมีปัญหา หรือตกใจหรือหมดสติได้ อาการแพ้ที่มีสาเหตุมาจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติสามารถเป็นได้หลากหลาย

2.3.1.1. ผื่นแพ้ (Allergic Dermatitis): ผื่นแพ้เป็นอาการที่พบบ่อยในผู้ที่แพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ อาการสามารถเริ่มต้นด้วยผื่นแดง คัน บวม หรือผิวหนังแห้งและระคายเคืองได้

2.3.1.2. อาการทางเดินหายใจ (Respiratory Symptoms): การสัมผัสโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติอาจทำให้เกิดอาการแสบร้อนในทางเดินหายใจ หรืออาจทำให้เกิดอาการหายใจลำบาก เรียกว่าอาการหืดทางเดินหายใจ (Respiratory Asthma) ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ในกรณีที่มีการหืดรุนแรง

2.3.1.3. อาการทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Symptoms): บางผู้ที่แพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติอาจมีอาการทางเดินอาหาร เช่น ปวดท้อง คลื่นไส้อาเจียน หรือท้องผูก โดยอาการเหล่านี้อาจเกิดขึ้นหลังจากการบริโภคอาหารหรือสารที่มีโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

2.3.1.4. อาการรุนแรง (Anaphylaxis): อาการรุนแรงเป็นอาการที่เกิดขึ้นในกรณีที่แพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติอย่างรุนแรง โดยมีอาการหายใจลำบาก หายใจเป็นลม หรือช็อกอาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งอาการรุนแรงเหล่านี้อาจเป็นอันตรายต่อชีวิตและต้องรับการรักษาทันที

การระบุและรับรู้การแพ้ที่เกิดขึ้นจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติมีความสำคัญ เพื่อป้องกันและจัดการกับอาการแพ้ให้เหมาะสม หากมีความสงสัยเกี่ยวกับการแพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ ควรปรึกษาแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์เพื่อการวินิจฉัยและการจัดการที่เหมาะสม

2.3.2. การกำจัดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Deproteinisation) เป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอาการแพ้ต่อโปรตีน เพื่อให้ให้น้ำยางธรรมชาติมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในหลากหลายอุตสาหกรรม โดยมีวิธีการกำจัดโปรตีนในน้ำยางได้หลายวิธีดังนี้ [21]

2.3.2.1. วิธีเคมีในการกำจัดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติเป็นการใช้สารเคมีเพื่อทำลายหรือกำจัดโปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ วิธีเคมีสามารถทำได้โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเคมีที่สามารถตอบสนองกับโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติได้ เพื่อทำให้โปรตีนเสียหายหรือสลายละลาย ดังนั้น ตัวอย่างของวิธีการเคมีในการกำจัดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติได้แก่ [15]

2.3.2.1.1. Inorganic salts ที่นำมาใช้ได้แก่ อะลูมิเนียมคลอไรด์, อะลูมิเนียมซัลเฟต, แมกนีเซียมคลอไรด์, ซิลเวอร์ไนเตรต, และซิงค์ไอโอไดด์ ซึ่งเป็นเกลือที่สามารถละลายในน้ำกลั่นได้

2.3.2.1.2. Inorganic oxides และ Inorganic hydroxide ที่นำมาใช้ได้แก่ อะลูมินัมไฮดรอกไซด์, ไททาเนียมไดออกไซด์, ฟูมซิลิกา (Fumed silica), และซีโอไลต์ (Zeolite) จึงใช้เติมลงใน Sodium hydroxide 45-50% หรือ Potassium Hydroxide ก่อน ส่วน Titanium Dioxide จะสามารถละลายในความเป็นต่างได้เป็นส่วนใหญ่ โดยจะเติมลงใน Sodium hydroxide 50%

2.3.2.1.3. Metal powder ได้แก่ อะลูมินัม ซิลเวอร์ และอะลูมินัมไวร์ ที่อยู่ในรูปของผง สามารถใช้เติมในน้ำยางธรรมชาติได้โดยตรง

2.3.2.1.4. Organic compounds ได้แก่ พอร์มาลดีไฮด์ เกลือโซเดียมของเบนซีนซัลโฟนิค และกรดเบนซีนซัลโฟนิค โซเดียมดีซัลซัลเฟต อะคริลลาไมด์ ซิงค์กลูโคเนต ซิงค์อะซิเตต และคอปเปอร์อะซิเตต ที่สามารถเติมในน้ำยางได้ทั้งในรูปของของเหลว สารละลายหรือของแข็ง

2.3.2.1.5. Polymeric absorbents ได้แก่ Lupamin 9010, Lupamin 1595 (BASF), Lupasol FG, lupasol G20 (BASF) และ lignins [22]

2.3.2.2. การใช้เอนไซม์ในการย่อยสลายโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมักนิยมในการกำจัดโปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเอนไซม์มีความสามารถในการย่อยโปรตีนอย่างเลือกชนิด และมักมีความเฉพาะที่สำคัญต่อโปรตีนที่ต้องการถูกย่อยอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น เอนไซม์มักถูกนำมาใช้ในการกำจัดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติในวิธีการต่อไปนี้ [23]

การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยสลายโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ทำงานในสภาวะต่าง 0.025% กับน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียที่ผ่านการ Centrifugation ที่อุณหภูมิ 13-32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน จากนั้น ET-NRL ที่ได้จะทำการนำไปแช่ในสภาวะแห้งเพื่อให้เกิดการละลายและเหวี่ยงหมุนเพื่อแยกโปรตีนที่สกัดออกมา แล้วจึงทำการหาปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ภายหลังจากกระบวนการผลิตจะมีการนำโปรตีนมาสกัดด้วยสารละลายที่มี pH 7.4 เป็นระยะเวลาเวลา 2 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบ เพื่อหาปริมาณโปรตีนทั้งหมด ELISA เพื่อหา Allergenic protein ในน้ำยางธรรมชาติ และ RAST inhibition เพื่อหาสารก่อภูมิแพ้ ที่เป็นปัญหาของผู้ใช้งาน ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 2.1 [17]

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณโปรตีนที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ที่เหลืออยู่ในถุงมือยางและน้ำยางธรรมชาติ

Test methods	RAST		ELISA	Lowry
	(mg/mL)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)
Samples	NRL	NRL	NRL	NRL
Untreated control	3311.0 ± 680.1	364.6 ± 129.6	211.2 ± 43.9	89.0 ± 30.6
(a)				
Enzyme treated (b)				
Expt 1	33.0 ± 50.5 (n=5)	13.4 ± 9.8 (n=5)	0.8 ± 0.8 (n=5)	101.6 ± 13.8 (n=5)
Expt 2	-	5.8 ± 3.6 (n=5)	1.0 ± 0.7 (n=5)	-

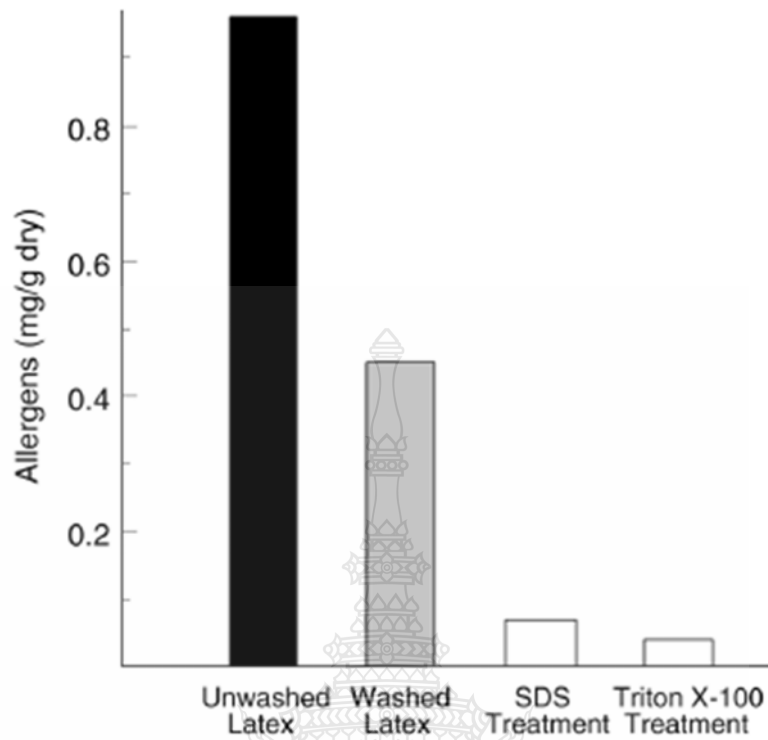
Test methods	RAST		ELISA	Lowry
	(mg/mL)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)
Samples	NRL	NRL	NRL	NRL
% Reduction (100 - (b/a))	>99	>96	>99	-14

2.3.2.3. การใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด Non-ionic surfactant เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้มักถูกใช้เพื่อลดแรงตึงผิวของโปรตีน ทำให้โปรตีนไม่สามารถระเหยออกมาจากน้ำยางได้ง่าย เมื่อโปรตีนถูกลือกและไม่สามารถเคลื่อนไหวยออกมาจากน้ำยาง การกำจัดโปรตีนนั้นจะง่ายขึ้น และโปรตีนนั้นจะไม่สามารถเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลให้เกิดอาการแพ้ได้

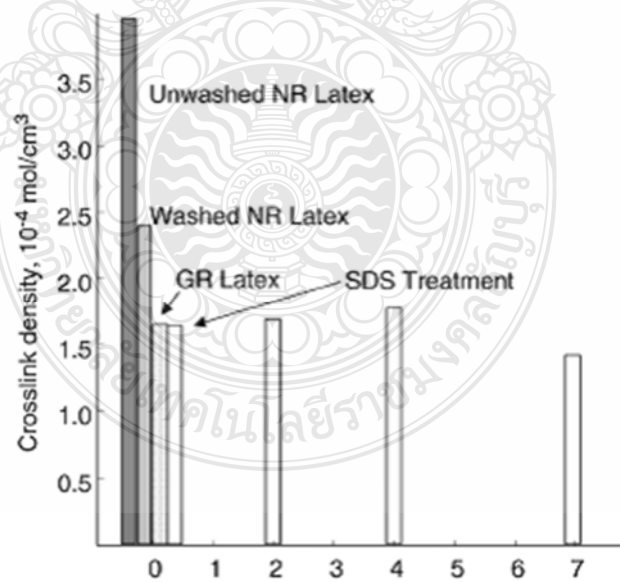
สารลดแรงตึงผิวชนิด Non-ionic surfactant มักมีคุณสมบัติที่เป็นกรด-เบสเป็นอิสระ ไม่มีประจุไฟฟ้า และมีลักษณะทางเคมีที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมในทางเคมี ซึ่งทำให้มีความเหมาะสมในการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย นอกจากนี้ การใช้ Non-ionic surfactant ยังมักจะมีความปลอดภัยสูงและไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำยาง

วิธีการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด Non-ionic surfactant ในการกำจัดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติมักเป็นการผสมสารลดแรงตึงผิวเข้ากับน้ำยาง และนำไปผ่านกระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำยาง การผสมนี้จะช่วยลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการกำจัดโปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด Non-ionic surfactant เพื่อกำจัดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติมักเป็นวิธีที่มีความปลอดภัยสูงและมีประสิทธิภาพ และมักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางและผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับน้ำยางในหลายๆ รูปแบบ



รูปที่ 2.3 แสดงปริมาณสารก่อภูมิแพ้ในน้ำยางที่ผ่านขั้นตอนต่างๆ [24]



รูปที่ 2.4 แสดงค่า Crosslink density ของแผ่นฟิล์มจากน้ำยางที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ [24]

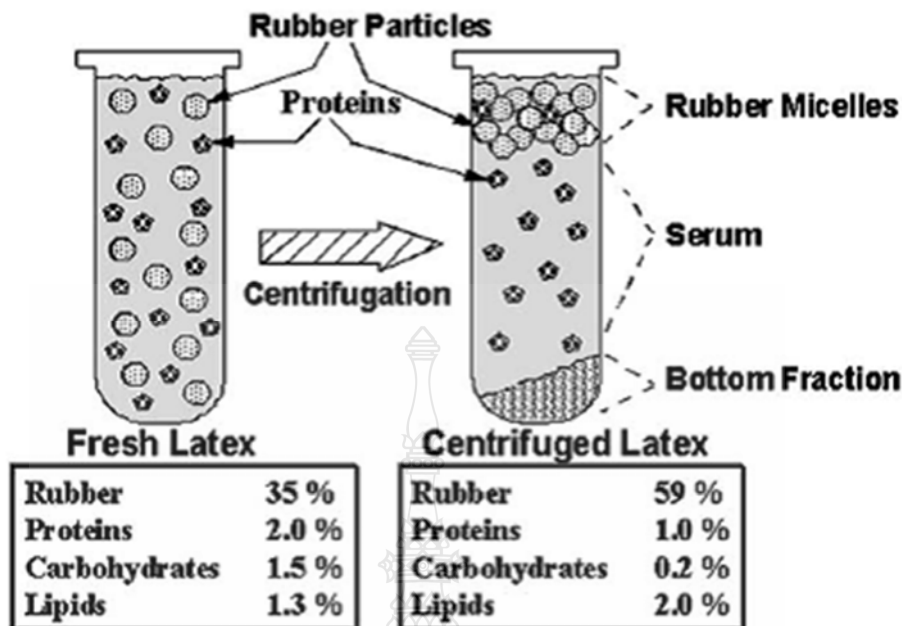
2.3.2.4. Fumed silica เป็นสารที่ใช้ลดโปรตีนและสารก่อภูมิแพ้ในน้ำยางชิลิกาธรรมชาติ ปกติจะใช้ประมาณ 1-5% เพื่อลดโปรตีนและประมาณ 1% เพื่อลดสารก่อภูมิแพ้ โดยผลทดสอบ พบว่าโปรตีนและสารก่อภูมิแพ้มีค่าน้อยกว่า 28 ส่วนในล้าน และ 0.2 ส่วนในล้าน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของยาง เช่น ความทนทานต่อแรงดึง และการสึกหรอ อนุภาคของผงซิลิคอนไดออกไซด์มีความละเอียดสูง ทำให้แผ่นฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการวัลคาไลเซชันที่ผลิตขึ้นมีลักษณะสว่างและโปร่งแสง และช่วยควบคุมการไหลของยางด้วย [26]



รูปที่ 2.5 กลไกการแทนที่ของโปรตีนโดยซิลิกา [25]

2.3.3. วิธีการที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ สามารถแบ่งออกเป็นหลายวิธีตามลักษณะการใช้งานและการปรับปรุงคุณภาพของน้ำยาง ดังนี้

2.3.3.1. การเหวี่ยงหมุนน้ำยางธรรมชาติเป็นหนึ่งในวิธีการที่สามารถช่วยลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเหวี่ยงหมุน (Centrifugation) เป็นกระบวนการที่ใช้แรงเสียดทานที่เกิดจากการหมุนเพื่อแยกสารต่าง ๆ ออกจากกัน โดยมีหลักการคือการใช้แรงเสียดทานที่เกิดจากการหมุนเพื่อแยกสารที่มีความหนืดที่แตกต่างกันออกจากกัน โปรตีนมักจะมีน้ำหนักมากกว่าส่วนมวลอื่น ๆ ในน้ำยางธรรมชาติ ดังนั้นการเหวี่ยงหมุนน้ำยางสามารถช่วยในการแยกโปรตีนออกจากน้ำยางได้



รูปที่ 2.6 ปริมาณโปรตีนและสารอื่น ๆ ในน้ำยาง [17]

2.3.3.2. การทำให้น้ำยางมีลักษณะเป็นเนื้อครีมโดยใช้เทคนิค Creaming เป็นวิธีที่ใช้ในการแยกส่วนของน้ำยางออกจากส่วนของน้ำ เพื่อให้สามารถเก็บเนื้อครีมที่เกิดขึ้นบนผิวน้ำยางได้ง่ายขึ้น วิธีการนี้มักถูกนำมาใช้ในการผลิตน้ำยางธรรมชาติเพื่อให้สามารถใช้งานในหลายๆ แอปพลิเคชันได้

2.3.3.3. การ Prevulcanization เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโดยการใช้ความร้อนและสารเคมีที่เหมาะสมก่อนที่จะนำน้ำยางไปผลิตสินค้าสำเร็จรูป กระบวนการนี้ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำยาง เช่น ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ดังนั้น น้ำยางธรรมชาติที่ได้ผ่านการผสมสาร Prevulcanization จะมีคุณภาพที่ดีขึ้นและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ

2.3.4. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ [22]

2.3.4.1. การปรับค่าความเป็น กรด-ด่าง ในกระบวนการผลิตน้ำยางเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อให้เกิดการคงที่ในระหว่างกระบวนการผลิต ใช้ Potassium hydroxide หรือ Potassium hydroxide ร่วมกับ Ammonium hydroxide หรือ Sodium hydroxide เพื่อปรับค่าความเป็น กรด-ด่าง ให้เหมาะสมกับกระบวนการ โดยเริ่มจากค่าความเป็น กรด-ด่าง ที่ต่ำกว่า 10 และเพิ่มไปเรื่อย ๆ จนถึง 11 ก่อนการเติมสารปรับค่าความเป็น กรด-ด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ การเพิ่มสารเหล่านี้จะเพิ่มปริมาณสารประกอบโปรตีนจาก 1,123.7 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เป็น 60,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งการใช้ความเป็น กรด-ด่าง สูงและอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ช่วยลดปริมาณสารประกอบโปรตีนลงได้มากกว่าการใช้สารอื่น

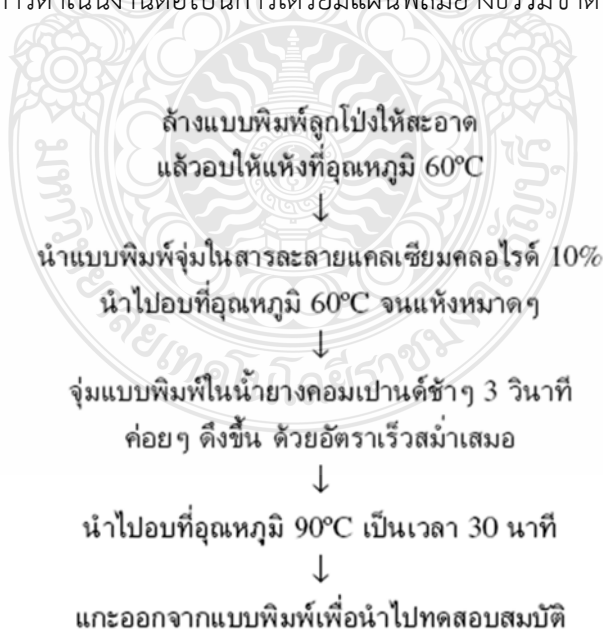
2.3.4.2. การใช้สารประกอบอินทรีย์ เช่น แมกนีเซียมคลอไรด์, อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์, อะลูมิเนียมคลอไรด์, ซิลเวอร์ไนเตรต, อะลูมิเนียมซัลเฟต, มีประสิทธิภาพในการลดสารประกอบโปรตีนได้ดีกว่าการใช้สารประกอบอินทรีย์ เช่น คอปเปอร์อะซิเตต, ซิงค์กลูโคเนต, ซิงค์อะซิเตต, และเกลือโซเดียมของกรดเบนซีนซัลโฟนิค

2.3.4.3. ซิลเวอร์และอะลูมิเนียม สามารถลดปริมาณสารประกอบโปรตีน ได้ครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมด ในขณะที่ ไททาเนียมไดออกไซด์ และ Fumed silica ช่วยลดปริมาณสารประกอบโปรตีนลงอย่างมีประสิทธิภาพ (จาก 116 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็น 384 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ซึ่งซิลโอไลต์ก็มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารประกอบโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติด้วยสารประกอบอินทรีย์ เช่น Merrifield's peptide resin, Acrylamide, Polyacrylamide, Vinylamine-vinylformamide, และ Polyethylenimine มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารประกอบโปรตีน

2.3.4.4. การใช้สารหลายชนิดในกระบวนการเพื่อลดปริมาณสารประกอบโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติเป็นเรื่องที่มีความสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของน้ำยาง เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอาการแพ้หรือการระคายเคืองแพ้ อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตด้วย การใช้สารหลายชนิดร่วมกันสามารถช่วยให้การดำเนินงานในการกรีดน้ำยางเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้นด้วย [22]

2.3.5. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

2.3.5.1. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและท้าทายที่ต้องใช้เทคโนโลยีและวิธีการพิเศษเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง โดยปกติแล้ว กระบวนการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำมักมีขั้นตอนการดำเนินงานต่อไปนี้การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ [11]



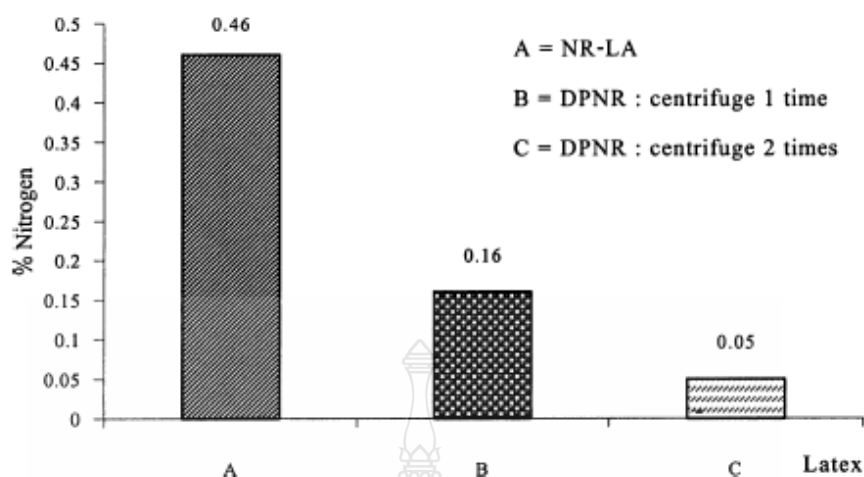
รูปที่ 2.7 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

2.3.6. คุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

น้ำยาง DPNR และแผ่นฟิล์มยาง DPNR มีคุณสมบัติที่สำคัญที่มีผลต่อการนำไปใช้งานในหลากหลายแวดวง โดยตัวอย่างของคุณสมบัติเหล่านี้ประกอบด้วย ความยืดหยุ่น (Elasticity) น้ำยาง DPNR และแผ่นฟิล์มยาง DPNR มักมีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น ถุงยาง แผ่นยาง หรือฟิล์มยาง, ความแข็งแรง น้ำยาง DPNR และแผ่นฟิล์มยาง DPNR อาจมีความแข็งแรงที่เพียงพอต่อการใช้งานในสภาวะที่ต้องการความคงทนต่อแรงกระแทกหรือแรงกดของสิ่งต่าง ๆ , ความหนืด น้ำยาง DPNR และแผ่นฟิล์มยาง DPNR มักมีความหนืดที่ดี เป็นผลให้มีความทนทานต่อการแตกแยกหรือการชนของสิ่งต่าง ๆ , ความต้านทานต่อสารเคมี น้ำยาง DPNR และแผ่นฟิล์มยาง DPNR มักมีความต้านทานต่อสารเคมี ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีสารเคมีต่าง ๆ อยู่ เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเคมีหรือสารอื่น ๆ , ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม น้ำยาง DPNR และแผ่นฟิล์มยาง DPNR มักมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อาทิ เช่น ความทนทานต่ออุณหภูมิสูง หรือต่อการสัมผัสกับแสงแดดและอื่น ๆ , ความสามารถในการรับรองรับแรงกระแทก น้ำยาง DPNR และแผ่นฟิล์มยาง DPNR มักมีความสามารถในการรับรองรับแรงกระแทกได้ดี เช่น ในการใช้งานในการทำสปริงบอร์ดหรือโองน้ำยางที่ต้องมีความทนทานต่อการกระแทก

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ

Properties	NR-LA	DPNR
DRC (%)	60.38	60.41
TSC (%)	61.59	61.36
pH	10.03	9.23
Viscosity (cps)	94.0	72.0
Surface tension (dyne/cm)	44.0	34.5
MST (sec)	720	2,426
Average Particle size (mm)	0.827	0.818
Molecular weight (g/mol)	6.92×10^5	6.71×10^5



รูปที่ 2.8 แสดงปริมาณไนโตรเจนในน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ [11]

จากตารางที่ 2.3, คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากยาง DPNR และน้ำยาง NR-LA แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสมบัติระหว่างทั้งสองชนิด โดย DPNR มีค่าที่ต่ำกว่า NR-LA ในดัชนีต่าง ๆ โดยเฉพาะในส่วนของ Elongation at break และ Tensile strength ทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง ส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียหายของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR มีค่าต่ำกว่า NR-LA เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนบนอนุภาคยางธรรมชาติน้อยลง ซึ่งขั้วกายภาพในการยึดติดบนพื้นผิวของยางธรรมชาติมีความลดลงและส่งผลให้ค่าสมบัติทางกายภาบน้อยลงเช่นกัน

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ [11]

สมบัติ	NR-LA		DPNR	
	ก่อนเติม	หลังเติม	ก่อนเติม	หลังเติม
300 % Modulus (MPa)	1.72 ±0.24	2.51 ±0.17	1.03 ±0.28	1.39 ±0.19
500 % Modulus (MPa)	2.75 ±0.30	6.55 ±0.20	1.46 ±0.32	2.16 ±0.12
Tensile Strength (MPa)	29.38 ±1.40	21.47 ±1.37	23.20 ±1.07	17.46 ±1.50
Elongation at break (%)	811 ±32	612 ±25	992 ±37	762 ±15
Friction coefficient	1.21	**	0.82	**

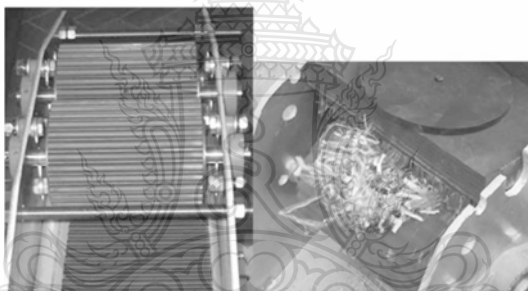
2.4 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช

การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชเริ่มต้นจากการแยกสกัดเส้นใยและการย่อยสลายกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติให้เป็นเส้นใยเชิงเดี่ยว หรือการกำจัด Lignin และ Hemicellulose เพื่อเส้นใยพืชที่ได้มี

ลักษณะเนียนนุ่มขึ้นและมีขนาดเล็กลง เทคโนโลยีเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาคุณภาพของเส้นใยพืชธรรมชาติ โดยทั่วไปกระบวนการนี้จะพัฒนาจากวิธีการแยกสกัดเส้นใยพืชแบบดั้งเดิมซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่ายและต้นทุนการผลิตต่ำ มี 4 วิธีหลักคือ กระบวนการเชิงกล กระบวนการเคมี กระบวนการชีวภาพ และกระบวนการเชิงกลเคมี แต่ละวิธีมีขั้นตอนและกระบวนการแตกต่างกัน

2.4.1. กระบวนการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติจากพืชด้วยกรรมวิธีทางเชิงกลหมายถึงการใช้แรงหรือกลไกทางกายภาพโดยตรงกับเส้นใยพืชเพื่อลดขนาดของกลุ่มเซลล์ลูลอส วิธีการทางเชิงกลที่นิยมใช้มีหลายวิธีดังนี้:

2.4.1.1. การใช้แรงทางกลเพื่อลดขนาดเส้นใย เช่น การทุบ การบด เป็นต้น การกระทำเหล่านี้จะทำให้ผลึกของเซลล์ลูลอสลดลง โดยธรรมชาติเส้นใยมักมีความยาวประมาณ 0.2-2 มิลลิเมตร วิธีการแรกในการใช้แรงทางกลคือการบดด้วยลูกกลิ้ง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ ตัวอย่างการใช้เครื่องแยกเส้นใยไผ่แสดงในรูปที่ 2.9 นั้น จะทำให้ค่าความผิดปกติของเซลล์ลูลอสลดลง และเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา การลดขนาดของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับขนาดสุดท้ายของวัสดุและลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้



รูปที่ 2.9 การชุดเส้นใยไผ่ด้วยเครื่องแยกเส้นใย

(ก) ลักษณะลูกกลิ้งและสายพาน

(ข) ลักษณะเส้นใยไผ่ที่ได้

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่า เครื่องแยกสกัดเส้นใยสามารถชุดเส้นใยไผ่ให้มีขนาดเล็กลงโดยไม่ต้องใช้สารเคมี จึงเป็นแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชแบบเชิงกลที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป แต่จะมีจุดเด่นในด้านของสิ่งทอเพื่อความแข็งแรงเฉพาะด้านหรือสิ่งทอเทคนิค

2.4.1.2. การย่อยสลายด้วยความร้อน ไพโรไลซิสหมายถึงการอบในอุณหภูมิที่ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงเพื่อทำให้เส้นใยธรรมชาติเปลี่ยนสภาพเป็นสถานะไอน้ำหรือสถานะของแข็ง การกระทำนี้จะเกิดขึ้นซ้ำและการระเหยจะต่ำลงเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจะต้องใช้ความร้อนและอุณหภูมิที่เหมาะสม การใช้อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมไม่เกิดเป็นผลลัพธ์ที่ดี การให้ความร้อนเป็นวิธีการปรับสภาพเส้นใยพืชโดยการทำลายเนื้อเยื่อของเซลล์ลูลอส ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิมากกว่า 150-180 องศาเซลเซียส แต่จำเป็นต้องทำให้วัสดุมีขนาดเล็กลงก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยเส้นใยด้วยความร้อน

2.4.2. การปรับปรุงเส้นใยพืชด้วยการใช้สารเคมีถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลล์ลูลอสในเส้นใยพืช วิธีนี้มีจุดเด่นในการขจัดลิกนินอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถทำ

ได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่มีค่าใช้จ่ายสูง สารเคมีที่นิยมใช้ เช่น สารออกซิไดซ์ กรดต่างๆ และเกลือ สามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ วิธีนี้สามารถทำภายใต้ความดันและอุณหภูมิปกติได้ ตัวอย่างของสารที่ใช้ได้แก่ Sodium hydroxide, Ammonia และ Ammonium sulfate กรดที่ใช้ได้แก่ Sulfuric Acid และ Hydrochloric Acid แก๊สที่ใช้ได้แก่ Chlorine dioxide, Nitrogen dioxide, Sulfur dioxide สารออกซิไดซ์เพิ่มเติมได้แก่ Hydrogen peroxide, Ozone และสารละลายที่ใช้ได้ เช่น Ethanol, Benzene และสารที่ทำให้เกิดการพองบวม

2.4.2.1. การใช้การใช้อ่าง (Alkali treatment) เป็นวิธีที่มีศักยภาพในการ Treatment คุณภาพเส้นใยธรรมชาติทั่วไปหรือเส้นใยพืชที่เหลือใช้ทางการเกษตร การใช้อ่างมีผลต่อวัสดุที่เกี่ยวข้องกับลิกนิน ผลของการใช้อ่างนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของลิกนินในเส้นใย กลไกการทำงานของอ่างคือการเพิ่มการพองตัวในโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส ซึ่งทำให้เกิดการบวมภายในเซลล์และเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ลดผลึกของเซลลูโลส และลดขนาดของพอลิเมอร์ นอกจากนี้ยังสามารถแยกโครงสร้างระหว่างลิกนินกับคาร์โบไฮเดรตได้ โดยการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนิน ด่างที่นิยมใช้ในการแยกลิกนิน คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จากงานวิจัย ที่ศึกษาการปรับปรุงสภาพข้าวบาร์เลย์ด้วยแอมโมเนีย พบว่าแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เวลา 24-72 ชั่วโมง สามารถสกัดแยกเอาส่วนของลิกนินออกได้ร้อยละ 50-66

2.4.2.2. กระบวนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชโดยใช้กรด (Acid treatment) มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่สูงจากเส้นใย โดยมีหลายชนิดของกรดที่สามารถใช้ได้ เช่น Sulfuric acid, Nitric acid และ Phosphoric acid การใช้กรดเจือจางเป็นวิธีหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อเพิ่มการทำงานของไฮโดรไลซิส ในกระบวนการนี้ เราสามารถใช้กรดเข้มข้นหรือกรดเจือจางได้ ตามความเหมาะสมของกระบวนการ เมื่อใช้กรดเจือจาง เพื่อปรับปรุงคุณภาพเส้นใย มักจะใช้กรดซัลฟูริกหรือกรดฟอสฟอริก โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เพื่อให้เกิดกลูโคส การใช้กรดเจือจางสามารถทำได้ในรูปแบบสองแบบ คือ (1) ใช้ปริมาณสารตั้งต้นน้อย (ร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิสูง ($T > 433$ องศาเซลวิน) และ (2) ใช้ปริมาณสารตั้งต้นมาก (ร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิต่ำ ($T < 433$ องศาเซลวิน) โดยทั่วไปพบว่า การปรับปรุงที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาน้อยจะทำให้พบปริมาณไซโลสสูง และเอนไซม์สามารถทำงานได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ การใช้กรดเจือจางจะมีผลต่อการเพิ่มการย่อยเซลลูโลส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นและความเข้มข้นที่ใช้ โดยส่วนใหญ่ร้อยละ 80 และ 95 ของน้ำตาลในเฮมิเซลลูโลสสามารถได้คืนมาเมื่อใช้กรดเจือจางในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช นอกจากนี้ความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิที่ใช้เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดสารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมจึงควรเลือกอุณหภูมิให้เหมาะสมมากที่สุด



รูปที่ 2.10 ต้นรักสายพันธุ์โปรซีรา (*Calotropis procera*)



รูปที่ 2.11 เส้นใยต้นรักที่ผ่านการแยกสกัดโดยการ

(ก) หมักด้วยด่าง

(ข) ชูดด้วยมือ

(ค) แช่ด้วยกรด

จากรูปที่ 2.11 ซึ่งแสดงผลการศึกษาเส้นใยจากต้นดอกรักที่นำมาแยกสกัดด้วยวิธีการแช่หมักด้วยด่าง การชูดด้วยมือ และการแช่ในกรด พบว่าการแยกสกัดเส้นใยจากต้นดอกรักโดยการแช่ในกรด ให้เส้นใยที่นุ่มและเปลี่ยนแปลงสี ดังรูปที่ 2.11 (ค) อย่างไรก็ตาม วิธีการแยกสกัดต่างกันให้ปริมาณเซลลูโลสต่างกัันดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณเซลลูโลสของใยต้นดอกกรักและเส้นใยพืชอื่น ๆ

เส้นใยพืช	ปริมาณเซลลูโลส (%)
ฝ้าย	85-90
ลินิน	72-82
ต้นดอกกรัก	90.6 (ขุดมือ) 73.5 (หมักด้วยต่าง) 84.7 (หมักด้วยกรด)

2.4.2.3. การปรับปรุงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Biological refining) เป็นวิธีที่ใช้จุลินทรีย์ในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช โดยสามารถใช้ได้กับเส้นใยพืชประเภทลิกโนเซลลูโลส ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกสกัดเส้นใยด้วยเอนไซม์ การใช้จุลินทรีย์ในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมักจะเน้นการย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลส โดยเซลลูโลสจะถูกย่อยน้อยมาก เนื่องจากมีความต้านทานต่อการถูกจุลินทรีย์ย่อยได้มากกว่าส่วนอื่น ๆ ของลิกโนเซลลูโลส จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชได้แก่ เชื้อราสีน้ำตาล เชื้อราสีขาว และเชื้อราอ่อน ซึ่งเชื้อราสีขาวมีหลายชนิดอย่าง เช่น พาเนอรอเทค ไครโซสโพเรียม, ซีริฟอเรียเลคเชอเรต, ไฮเอทสสเทอโคเลอรัส, เซอริฟอไรโอซิสสับเวอร์มิสเฟอร่า, ไฮโนพอร์รัส ซินเนอบารินัส และเพอร์โดสออสทริอัส

2.4.2.4. วิธีการที่ใช้ทางเชิงกลเคมี (Chemical-mechanical refining) เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชโดยการใช้วิธีทางเชิงกลร่วมกับการใช้เคมี เป็นวิธีที่สำคัญในการละลายน้ำของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่ถูกแปลงโครงสร้างเพื่อเพิ่มการแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนไฮโดรไลซิส เมื่อใช้การฟิสิกส์เคมีคอลทรีสมেন্টร่วมกับการเทอร์โมเคมีคอลทรีสมেন্ট เช่น การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion) การระเบิดด้วยแอมโมเนีย การระเบิดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ และการระเบิดด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิระหว่าง 160-260 องศาเซลเซียส โดยใช้ความดัน 0.69-4.83 MPa ที่มีไอน้ำอิ่มตัว เป็นเวลาหลายวินาที หรือ 2-3 นาที ก่อนที่จะปรับลดลงมาอยู่ที่ความดันปกติ และการย่อยเปียก (Wet oxidation pretreatment) ที่อุณหภูมิระหว่าง 200-210 องศาเซลเซียส โดยมีการเติมด่างหรือโซเดียมคาบอเนต (Na_2CO_3) ร่วมด้วย ช่วยให้สารลิกโนเซลลูโลสสลายได้ดีขึ้น และช่วยให้การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม โดยการใช้เอนไซม์ต่าง ๆ ได้ผลดีขึ้น วิธีการย่อยสลายด้วยน้ำร้อน (Liquid hot water (LHW)) โดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170-230 องศาเซลเซียส ความดัน 5 MPa เป็นเวลา 5 นาที จึงปรับคืนสู่ความดันปกติ ทำให้เฮมิเซลลูโลสในขานอ้อยเส้นใยข้าวโพดและฟางข้าวต่าง ๆ แตกตัวเป็นไซโลสได้ถึงร้อยละ 45-65

2.5 นาโนเซลลูโลส

การทดลองและวิจัยในด้านนี้ตั้งแต่คริสต์ศักราช 1983 ได้มีความก้าวหน้าอย่างมาก ไม่เพียงแต่ใช้เฉพาะเยื่อไม้เท่านั้น แต่ยังใช้เส้นใยจากวัสดุทางการเกษตรอื่นๆ เช่น เปลือกผลไม้ ไม้ไผ่ เป็นต้น ซึ่งการนำเอาเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดและเตรียมนี้มาใช้ในการวิจัยและการพัฒนาวัสดุใหม่ ๆ ก็ได้เป็นที่สนใจอย่างมากในวงการวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุ อย่างไรก็ตาม การพัฒนา

กระบวนการเตรียมนาโนเซลลูโลสที่มีความมีประสิทธิภาพ และมีความสามารถในการลดการใช้พลังงาน และสารเคมี ยังคงเป็นที่ท้าทายอยู่ เนื่องจากต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายๆ ด้าน เช่น ความเฉพาะของเซลลูโลสที่ใช้ วิธีการเตรียมและสกัดที่มีประสิทธิภาพ และกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในเวลาเดียวกัน การพัฒนานี้จึงเป็นที่น่าสนใจและมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรม การผลิตวัสดุในปัจจุบันและอนาคต

กระบวนการเตรียมนาโนเซลลูโลสแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือวิธีแบบบนลงล่างและวิธีแบบล่างขึ้นบน ในวิธีแบบบนลงล่าง เราใช้เอนไซม์หรือสารเคมีเพื่อแยกสารอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกจากน้ำมัน แล้วใช้แรงกลเช่นเครื่องโฮมจิโนเซอร์เพื่อแยกเซลลูโลสออกจากสารอื่น ส่วนในวิธีแบบล่างขึ้นบน เราผลิตเซลลูโลสจากกลูโคสโดยใช้แบคทีเรียเช่น *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, และ *Alcaligenes*

หากจะแบ่งตามวิธีสกัด และลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) สามารถแบ่งนาโนเซลลูโลสเป็น 2 ชนิด ใหญ่ๆ

2.5.1. กระบวนการสกัดเซลลูโลสนาโนคริสตัล หรือผลึกนาโนเซลลูโลส เริ่มต้นด้วยการใช้สารเคมีประเภทกรด เช่น กรดซัลฟูริก ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากกรดจะทำปฏิกิริยาตรงส่วนอสัณฐาน เพื่อแยกออกส่วนผลึก เป็นผลึกออกมา ซึ่งทำให้เซลลูโลสนาโนคริสตัลมีลักษณะที่มีอัตราส่วนลักษณะ (Aspect ratio) ต่ำ มีขนาดเฉลี่ยระหว่าง 4-25 นาโนเมตร และมีความยาวเฉลี่ยระหว่าง 100-1000 นาโนเมตร ลักษณะของผลึกจะเป็นรูปเข็มและมีประจุลบ ซึ่งช่วยลดการรวมตัวกันของเซลลูโลสนาโนคริสตัลและทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้นโดยมีการใช้แรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic repulsion) ช่วยในกระบวนการนี้

2.5.2. เซลลูโลสนาโนไฟบริล (CNFs) หรือ Nanofibrillated cellulose (NFC) หรือ Microfibrillated cellulose (MFC) สามารถสกัดจากเซลลูโลสโดยใช้สารเคมีต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วแยกเส้นใยด้วยแรงกล ซึ่งสร้างโครงสร้างร่างแหสามมิติ 3D-network structure ที่สามารถอุ้มน้ำได้มาก และมีอัตราส่วนลักษณะสูง มีความยาวในระดับไมโครเมตร ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยระหว่าง 10-100 นาโนเมตร การใช้เอนไซม์เช่น Cellobiohydrolase และ Endoglucanase ช่วยลดการใช้พลังงานในการใช้เครื่องโฮมจิโนเซอร์ เพราะเอนไซม์ช่วยทำให้เกิดโครงสร้างไม่เป็นระเบียบของเซลลูโลส เซลลูโลสนาโนไฟบริลมีประจุลบเช่นกัน ทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต ช่วยในการป้องกันการรวมตัวกันของเส้นใย ทำให้ระบบมีความเสถียรดี

นาโนเซลลูโลสต่างชนิดกันมีรูปร่างและคุณสมบัติต่างกัน เช่น อัตราส่วนลักษณะ (Aspect ratio) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) สมบัติเชิงรีโอโลยี (Rheology) เป็นต้น ซึ่งส่งผลถึงการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันด้วย

2.5.3. คุณลักษณะ และจุดเด่นของเทคโนโลยีหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคโนโลยี

2.5.3.1. สามารถพัฒนากรรมวิธีการผลิตนาโนเซลลูโลสจากวัตถุดิบตั้งต้นจากแหล่งต่างๆ ได้ เช่น เซลลูโลสทางการค้า และชีวมวลทางการเกษตร

2.5.3.2. สามารถควบคุมขนาดและความยาวของเส้นใยนาโนเซลลูโลสได้ตามต้องการ

2.5.3.3. สามารถควบคุมความบริสุทธิ์ของเส้นใยนาโนเซลลูโลสให้เหมาะสมต่อการใช้งานด้านต่างๆ ได้

2.5.3.4. สามารถผลิตเส้นใยนาโนเซลลูโลสให้อยู่ในรูปแบบที่กระจายตัวอยู่ในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ได้ โดยลักษณะทางกายภาพเป็นเจลที่มีความหนืดขึ้นกับความเข้มข้นและมวลโมเลกุลของเซลลูโลส

2.5.3.5. สามารถเตรียมให้อยู่ในรูปของอนุพันธ์ (Derivative) ที่ต้องการได้ [28]

2.6 วัสดุเชิงประกอบ

วัสดุคอมโพสิต หมายถึง วัสดุที่ใช้ในการผลิตหรือสร้างสิ่งของที่มีโครงสร้างภายในหรือส่วนประกอบหลายชิ้น โดยวัสดุเชิงประกอบมักจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลาย ๆ ส่วนที่รวมกันเพื่อสร้างสิ่งของหรือโครงสร้างใหม่ ๆ ซึ่งการเลือกใช้วัสดุเชิงประกอบที่เหมาะสมมีผลต่อคุณสมบัติและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์หรือโครงสร้างในที่สุด ตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบได้แก่ เหล็ก ไม้ พลาสติก สแตนเลส และอื่นๆ ซึ่งสามารถผสมกันหรือใช้ร่วมกันในการสร้างสิ่งของต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์และความต้องการของผู้ผลิตหรือผู้ใช้งาน

2.6.1. วิวัฒนาการของวัสดุเชิงประกอบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตามความก้าวหน้าในเทคโนโลยี การวิจัย และความต้องการในการใช้งานของมนุษย์ ดังนั้น มีการพัฒนาวัสดุใหม่ๆ โดยมีลักษณะที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น วัสดุที่มีประสิทธิภาพและความคงทนสูง, วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและความแข็งแรง, วัสดุที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจง, วัสดุที่มีความยืดหยุ่นและเปลี่ยนรูปได้ และวัสดุที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในยุคปัจจุบันวัสดุคอมโพสิต (Composite Materials) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในหลายอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความสามารถที่จะรวมสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุต่าง ๆ มาไว้ในวัสดุเดียว เช่น ความแข็งแรงของเหล็ก ความเบาและความต้านทานต่อการเสียดสีของพลาสติก หรือความยืดหยุ่นของใยแก้ว ดังนั้น วัสดุคอมโพสิตมักจะมีการใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น วัสดุคอมโพสิตมักถูกใช้ในการผลิตโครงสร้างที่เบาและแข็งแรงของยานยนต์และยานพาหนะ เช่น การใช้คอมโพสิตในการผลิตตัวถังรถยนต์เพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มความปลอดภัย, ในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ วัสดุคอมโพสิตมักถูกใช้ในการผลิตโครงสร้างของเครื่องบินและอวกาศ เพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มประสิทธิภาพในการบิน, ในงานก่อสร้าง วัสดุคอมโพสิตสามารถใช้ในการผลิตวัสดุสำหรับโครงสร้าง เช่น ปูนเสริมเส้นใยแก้วหรือคอมโพสิตเรซินเอ็มบี (Composite Reinforced Cement, CRC) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและคงทนต่อสภาพอากาศ, วัสดุคอมโพสิตมักถูกใช้ในการผลิตอุปกรณ์กีฬา เช่น ไม้เทนนิสเป็นต้น เพื่อให้มีน้ำหนักเบาและความแข็งแรงที่เหมาะสมกับการใช้งาน และอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกและคอมโพสิตเองก็มีการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว เราได้เห็นการใช้เส้นใยแก้วในการเสริมแรงพอลิเมอร์มากขึ้นเรื่อยๆ โดยมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิต (Composite Materials) ที่มีคุณสมบัติทางกลไกและทางเคมีที่ดี เป็นที่นิยมในหลาย ๆ อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการบิน อุตสาหกรรมการก่อสร้าง และอื่น ๆ ที่ต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทาน และเบา

ในช่วงกลางของคริสต์ศตวรรษที่ 20 ที่ผ่านมามีโดยเฉพาะในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่สอง เกิดการพัฒนาวัสดุที่มีความแข็งแรงและขึ้นรูปได้ในรูปแบบที่ซับซ้อนขึ้น เนื่องจากความต้องการในการใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงในอุตสาหกรรมทหารและอุตสาหกรรมในสงครามที่มีความฉุนเฉียวและซับซ้อนขึ้นอย่างมาก ดังนั้น วัสดุที่มีคุณสมบัติเหล่านี้ได้รับความนิยมมากขึ้น โดยเฉพาะ การผสมพอลิเมอร์พลาสติกกับเส้นใยแก้วช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุ โดย GFRP ได้รับการนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนของเครื่องบิน เรือ และโครงสร้างสำคัญอื่น ๆ ในการก่อสร้าง, การใช้ใยคาร์บอนเสริมพอลิเมอร์เพื่อผลิตวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและความแข็งแรงสูง เช่น การผลิตโครงสร้างของยานยนต์และเครื่องบิน ที่ต้องการวัสดุที่มีความเบาและแข็งแรงเพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน, ในอุตสาหกรรมการบิน อลูมิเนียมได้รับความนิยมในการใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง เพราะมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงเหมาะสม และการผสมอลูมิเนียมกับเส้นใยคาร์บอนยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุอย่างมาก และเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงและความทนทานต่อการแตก ได้รับการนำมาใช้ในการผลิตเครื่องมือที่ใช้ในสงครามและเครื่องมือรบที่ต้องการความทนทานและความปลอดภัยสูง

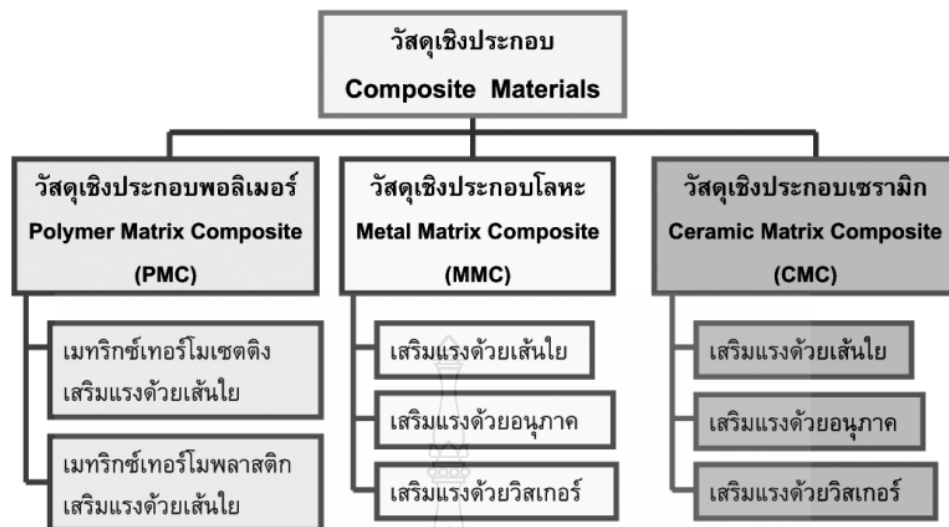
หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองสิ้นสุดลง การใช้วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ในการผลิตได้เพิ่มมากขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะในการใช้เส้นใยแก้วเสริมแรงพอลิเอสเตอร์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีความต้องการคุณสมบัติพิเศษ เช่น เรือขนาดบุคคล ท่อที่ไม่กัดกร่อน อ่างอาบน้ำ และเฟอร์นิเจอร์ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสกับน้ำ สารเคมี และการกัดกร่อน ในอุตสาหกรรมการรถยนต์ที่ขยายตัวมากขึ้นหลังจากสงครามโลก การใช้วัสดุคอมโพสิตในการผลิตรถยนต์ได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากมีความต้องการในวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา และทนทานต่อการกัดกร่อน เส้นใยแก้วเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในรถยนต์ เพราะมีคุณสมบัติที่ดีเรื่องความแข็งแรงและความทนทาน และสามารถผลิตในรูปแบบที่ซับซ้อนได้ เช่น การผลิตชิ้นส่วนภายในรถยนต์และชิ้นส่วนภายนอกที่มีความซับซ้อน นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ชนิดใหม่ ๆ ที่ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene) และพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูง ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมที่มีเงื่อนไขการใช้งานที่หลากหลาย

ช่วงครึ่งหลังของ ค.ศ 20 เป็นช่วงที่มีความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สำคัญ โดยเฉพาะในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตที่มีความสามารถในการทนความร้อนได้สูง เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

ที่ต้องการสมบัติพิเศษในการทนความร้อนและการกัดกร่อน การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตในช่วงนี้มีการใช้เมทริกซ์เป็นโลหะ เช่น อะลูมิเนียม ร่วมกับเส้นใยเสริมแรง เช่น เส้นใยคาร์บอน และซิลิกอนคาร์ไบด์ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีสมบัติทนความร้อนและทนทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตที่มีส่วนประกอบเป็นเซรามิก เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์เสริมแรงเมทริกซ์อะลูมิเนียม เพื่อการใช้งานที่ต้องการคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ไม่สามารถหาได้จากวัสดุชนิดเดียว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเส้นใย High polyethylene (UHMWPE) และ Aramid fiber เพื่อให้ได้วัสดุคอมโพสิตที่มีความสามารถและคุณสมบัติดีและสามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษได้ การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตในช่วงนี้เป็นการตอบสนองต่อความต้องการใช้งานที่หลากหลายในอุตสาหกรรมและสมัยใหม่ โดยมุ่งเน้นที่คุณสมบัติและประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูงขึ้น

ช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 20 จนถึงปัจจุบันเป็นช่วงที่เห็นการพัฒนาของวัสดุคอมโพสิตขึ้นสูงอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตในช่วงนี้มุ่งเน้นที่คุณสมบัติและประสิทธิภาพในการใช้งานอย่างต่อเนื่อง โดยมีแนวโน้มที่ชัดเจน ดังนี้ การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตในช่วงนี้มุ่งเน้นที่การเพิ่มคุณสมบัติพิเศษเช่น ความแข็งแรง ความทนทาน ความยืดหยุ่น และความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ในสภาพการณ์ที่ท้าทายมากขึ้น เช่น การทนทานต่อสารเคมี การทนทานต่ออุณหภูมิสูงหรือการต้านการกัดกร่อน การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตในปัจจุบันมุ่งเน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน เช่น การลดน้ำหนักของวัสดุ การเพิ่มความแข็งแรงและความทนทาน การปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มประสิทธิภาพ, วัสดุคอมโพสิตในปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่ต้องการความสำเร็จรูป อาทิเช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ การบริการพาณิชย์ และอุตสาหกรรมการผลิต, วัสดุคอมโพสิตในปัจจุบันมีความสำคัญในงานวิจัยและพัฒนา เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการทดแทนวัสดุที่มีความซับซ้อนและทุกขยากในการหาใช้ในการทดแทน และในช่วงนี้มีการค้นคว้าและพัฒนาวัสดุคอมโพสิตใหม่ๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานที่หลากหลายและการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ดังนั้น การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตในช่วงปัจจุบันมุ่งเน้นที่คุณสมบัติและประสิทธิภาพในการใช้งานอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานในสาขาต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

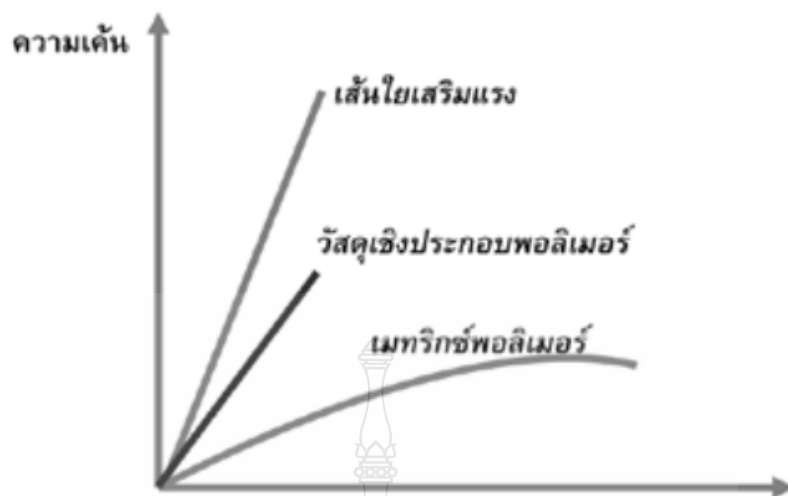
2.6.2. ประเภทของวัสดุคอมโพสิต วัสดุคอมโพสิตประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ เมทริกซ์และสารเสริมแรง จึงสามารถแบ่งวัสดุคอมโพสิตตามชนิดของเมทริกซ์ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์, วัสดุคอมโพสิตโลหะ, และวัสดุคอมโพสิตเซรามิก และยังสามารถแบ่งต่อไปเป็นลักษณะของสารเสริมแรงได้อีก 3 ประเภท ได้แก่ อนุภาค, เส้นใย และวิสเกอร์



รูปที่ 2.12 การจำแนกประเภทของวัสดุคอมโพสิตตามชนิดของเมทริกซ์และลักษณะของสารเสริมแรง

สารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตสามารถถูกจำแนกตามลักษณะเป็นอนุภาค เส้นใย และวิสเกอร์ อนุภาคเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเม็ดหรือผง เช่น ผงถ่านดำ ซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นต้น อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ถ้ามากกว่า 100 จะเรียกสารเสริมแรงนั้นเป็นเส้นใย สามารถแบ่งต่อไปเป็นเส้นใยต่อเนื่อง และเส้นใยไม่ต่อเนื่อง และยังสามารถแบ่งตามความยาวเป็นเส้นใยยาว ซึ่งมีอัตราส่วนมากกว่า 1,000 และเส้นใยสั้น ซึ่งมีอัตราส่วนน้อยกว่า 1,000 เส้นใยอาจเป็นเส้นใยอินทรีย์ เช่น เส้นใยอะรามิด เส้นใยเซลลูโลส เส้นใยอนินทรีย์เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน หรือเส้นใยโลหะ เช่น เส้นใยโบรอน เส้นใยทองแดง วิสเกอร์เป็นเส้นใยขนาดเล็กมากที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในหน่วยไมโครเมตรและความยาวเพียงไม่กี่มิลลิเมตร เกิดจากการก่อตัวทางยาวของผลึกเดี่ยว มีแนวโน้มที่จะเป็นผลึกสมบูรณ์ที่ปราศจากการเคลื่อน ทำให้มีความแข็งแรงสูง เช่น วิสเกอร์ซิลิกอนคาร์ไบด์

2.6.2.1. วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นสารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างเป็นหน่วยซ้ำ โดยมีลักษณะพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยๆ ที่ซ้ำกันเรียงต่อกันเป็นเชือกโยง โดยทั่วไปแล้วมีลักษณะเป็นช่องอ หรือเส้นเชือกยาวๆ ที่เชื่อมต่อกันให้เป็นโครงสร้างที่มีความยาว ซึ่งทำให้มีความยืดหยุ่น และความเป็นอนุรักษ์สูง อย่างไรก็ตาม วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์มักจะมีค่าความแข็งแรงไม่สูงมากเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ และมีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่เป็นแบบเรียงตัวอย่างเป็นระบบ เช่นเดียวกับวัสดุโลหะหรือวัสดุเซรามิกที่มีโครงสร้างที่เรียงตัวเป็นระบบที่เรียบร้อย แม้ว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงไม่สูงมาก แต่มีความยืดหยุ่นที่สูงและมีน้ำหนักที่เบาเหมาะสำหรับการใช้งานในหลายแวดวง เช่น ในงานอุตสาหกรรมการบินยนต์ การบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า และอื่น ๆ ที่ต้องการวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและความยืดหยุ่นสูงในการใช้งาน



รูปที่ 2.13 สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เปรียบเทียบกับวัสดุองค์ประกอบ

คุณสมบัติเชิงกลอย่างทีกล่าวถึงเกิดจากคุณสมบัติของเมทริกซ์พอลิเมอร์และเส้นใยเสริมแรงที่รวมกัน ซึ่งทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงมากกว่าพอลิเมอร์เชิงเดี่ยว เนื่องจากเส้นใยเสริมแรงรับแรงกระทำ แต่ความยืดหยุ่นสูงสุดของวัสดุคอมโพสิตจะไม่เกินระยะที่เส้นใยเสริมแรงสามารถยืดได้ โดยเมทริกซ์พอลิเมอร์จะต้องมีความเหนียวที่เพียงพอที่จะปกคลุมเส้นใยเสริมแรง สารเสริมแรงในรูปของอนุภาคมักไม่มีประสิทธิภาพเท่าเส้นใย เพราะสารเสริมแรงในรูปอนุภาคมักมีความไม่ต่อเนื่องซึ่งส่งผลต่อการกระจายแรง วัสดุคอมโพสิตมักมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเทียบกับการเพิ่มความหนาแน่นเล็กน้อย ซึ่งเสริมความแข็งแรงทำให้สามารถนำมาใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงกระทำไม่มากมาย เช่น เฟอร์นิเจอร์ อย่างไรก็ตามเพื่อให้คุณสมบัติที่ต้องการ ควรพิจารณาการเลือกใช้เส้นใยและเมทริกซ์อย่างเหมาะสมตามการใช้งานและเงื่อนไขที่ใกล้เคียง

ส่วนประกอบพอลิเมอร์สามารถแบ่งเป็นส่วนประกอบเทอร์โมเซตติงและส่วนประกอบเทอร์โมพลาสติก โดยเทอร์โมเซตติงมีโครงสร้างแบบร่างแหและไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้หลังจากปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุลเกิดขึ้น ส่วนเทอร์โมพลาสติกมีโครงสร้างแบบเส้นหรือแบบกึ่งและสามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลว และมีสมบัติเหนียวและทนทานต่อสิ่งแวดล้อม การเลือกใช้เมทริกซ์จะต้องประยุกต์ใช้การใช้งานและคุณสมบัติที่ต้องการในวัสดุคอมโพสิต

ในอุตสาหกรรมวัสดุคอมโพสิต เราพบว่าวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาจเป็นชิ้นงานสำเร็จหรือพรีเพรก เพื่อความสะดวกในการขึ้นรูป พรีเพรกสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักคือ พรีเพรกที่ใช้เมทริกซ์เทอร์โมเซตติงและพรีเพรกที่ใช้เมทริกซ์เทอร์โมพลาสติก แต่ละชนิดมีลักษณะและประโยชน์ที่แตกต่างกันในการใช้งาน

พรีเพรกเทอร์โมเซตติง มีเส้นใยที่อยู่ในเมทริกซ์ แต่มีการเชื่อมโยงโมเลกุลเพียงบางส่วนเท่านั้น การเชื่อมโยงโมเลกุลจะเกิดขึ้นเมื่อมีการขึ้นรูปให้เกิดรูปร่างที่ต้องการ และทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลที่สมบูรณ์ เช่น พรีเพรกผสมเสร็จแบบแผ่น (Sheet molding compound, SMC)

และพรีเพรกผสมเสร็จแบบหนา (Bulk molding compound, BMC) ซึ่งใช้สำหรับการขึ้นรูปมีลักษณะชิ้นงานที่เป็นแผ่น และรูปทรงต่าง ๆ ตามลำดับ ส่วนพรีเพรกเทอร์โมพลาสติก มักประกอบด้วยเส้นใยแก้วสั้น ๆ ในเมทริกซ์พอลิเอเลฟิน เรียกว่า พรีเพรกผืนแก้วเทอร์โมพลาสติก โดยการขึ้นรูปจะเกิดเมื่อพรีเพรกได้รับความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลวของส่วนประกอบ และทำให้เกิดเป็นรูปเป็นร่างที่ต้องการก่อนที่จะมีการทำให้มีความเย็นตัวลงและเกิดการคงรูป เปรียบเสมือนการทำลายแบบแผนเชิงภาพของวัสดุ เพื่อผลิตชิ้นงานต่างๆ ซึ่งมีความสามารถในการให้ความแข็งแรงและความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่สูงขึ้น การเลือกใช้ประเภทของพรีเพรกนั้นจะอยู่ที่คุณสมบัติและการเลือกใช้งานที่ต้องการให้วัสดุคอมโพสิตในอุตสาหกรรมลักษณะนั้น ๆ

ไฟเบอร์กลาสส์เป็นวัสดุที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ และเส้นใยแก้วเป็นเสริมแรง ใช้งานสำหรับชิ้นงานที่มีความต้องการความแข็งแรงไม่มากนักและน้ำหนักไม่หนักจนเกินไป เช่น หลังคาหรือเฟอร์นิเจอร์ขนาดเล็ก ส่วนไฟเบอร์เอพ็อกซีใช้ในการงานที่ต้องการความแข็งแรงที่สูงมากกว่า มักมีการใช้เส้นใยเสริมแรงเช่น เส้นใยคาร์บอนหรือเส้นใยอะรามิด เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และนำไปใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงมาก เช่น ส่วนเครื่องจักรหรือโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูงและทนทานมากขึ้น ส่วนวัสดุคอมโพสิตเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติกมีการใช้น้อยกว่า มักนำมาใช้ในงานตกแต่งภายในหรือในการอัดกับวัสดุอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

วัสดุคอมโพสิตโลหะพัฒนาขึ้นเพื่อเสริมความทนทานต่อความล้าของโลหะ เช่น อะลูมิเนียมและไทเทเนียมในอุตสาหกรรมอากาศยาน สารเสริมแรงเช่น เซรามิกหรือโลหะ เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ อะลูมินาหรือเส้นใยโบรอนถูกใช้ เสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานต่อความร้อน การเสริมแรงนี้ช่วยปรับปรุงสมบัติของโลหะให้ดีขึ้นและยืดหยุ่นต่อการขยายตัวเนื่องจากความร้อนลดลง เนื่องจากต้นทุนการผลิตสูง เสริมแรงโลหะยังไม่ได้ใช้กว้างขึ้นอย่างมากในการปรับปรุงสมบัติของโลหะในอุตสาหกรรมอากาศยาน

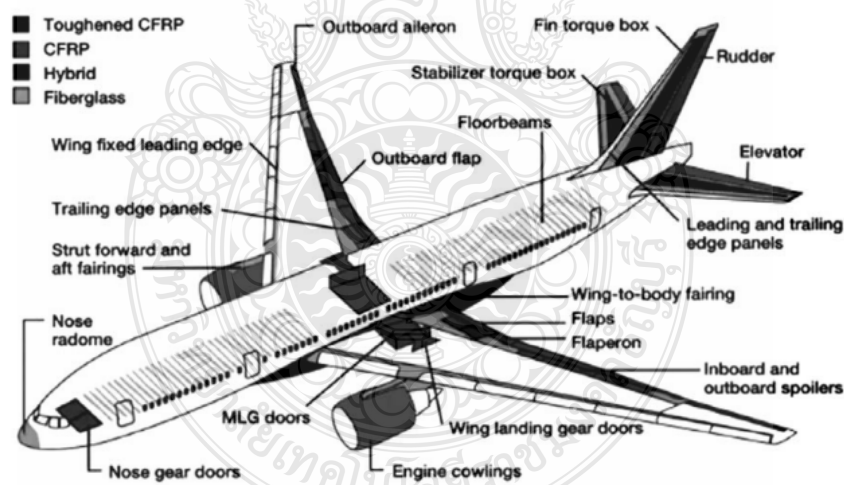
2.6.2.2. วัสดุคอมโพสิตเซรามิกมีคุณสมบัติทนทานต่ออุณหภูมิสูงและการกัดกร่อน แต่ก็มีข้อเสียเป็นเช่นการเปราะและแตกหักง่าย เมื่อเกิดรอยแตก การเสริมแรงเช่นเส้นใยหรืออนุภาคอาจช่วยป้องกันการแตกหัก และเพิ่มความเหนียวแบบเหนียว ทำให้วัสดุทนทานมากขึ้น เมทริกซ์เช่นซีเมนต์หรือคาร์บอนอาจถูกใช้ในการเสริมแรง เช่นเมื่อเวลาการเสียบแรงจะลดความเปราะและการแตกหัก ทำให้วัสดุทนทานมากขึ้นในการใช้งานที่ต้องรับแรงสูง สารเสริมแรงเช่นอะลูมินา ซิลิกา ซิลิกอนคาร์ไบด์ และคาร์บอนอาจถูกใช้ เมื่อใส่เสริมแรงแล้ว วัสดุจะแสดงสมบัติที่เหนียวและไม่เปราะแตกง่าย และจะไม่แตกหักทันทีเมื่อได้รับแรงกระทำ ดังนั้น การใส่สารเสริมแรงเป็นวิธีที่ดีในการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเซรามิกให้มีความทนทานและเหนียวมากขึ้น

2.6.2.3. วัสดุคอมโพสิตได้ถูกใช้เป็นวัสดุโครงสร้างในอุตสาหกรรมมานานโดยใช้เส้นโลหะและหินกรวดเป็นสารเสริมแรงให้กับเมทริกซ์ซีเมนต์หรือคอนกรีต เพื่อความทนทานต่อการกัดกร่อนในระยะยาว การพัฒนาเทคโนโลยีคอนกรีตอาจใช้เส้นใยเสริมแรงเช่นเส้นใยแก้วหรือเส้นใยคาร์บอนแทนเส้นโลหะ เพื่อลดปัญหาการกัดกร่อนเมื่อใช้งานในระยะยาว วัสดุคอมโพสิตเซรามิกที่มีคุณสมบัติเหนียวและทนทานต่อการกัดกร่อนมักถูกนำมาใช้ แต่การนำไปใช้งานยังถูกจำกัดเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ค่อนข้างมาก

2.6.3. การประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิต สมบัติของวัสดุคอมโพสิตสามารถออกแบบได้โดยการปรับปรุงวัสดุองค์ประกอบ เช่น การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างวัสดุองค์ประกอบและการเรียงตัวของสารเสริมแรงในเมทริกซ์ เป็นต้น การควบคุมปัจจัยเหล่านี้ช่วยปรับปรุงสมบัติของวัสดุให้ตอบสนองตามความต้องการของงานต่าง ๆ ที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ เช่น ความทนทานต่อแรง ความยืดหยุ่น หรือความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม เป็นต้น วัสดุคอมโพสิตดังกล่าวจึงสามารถนำไปใช้งานในหลากหลายสาขาได้ตั้งแต่งานทั่วไปถึงงานเฉพาะกิจที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษสูงสุด

2.6.3.1. ในอุตสาหกรรมการอากาศยานและเครื่องยนต์ การใช้วัสดุคอมโพสิตที่มีความแข็งแรงหรือความหนาแน่นสูงมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของอากาศยาน เนื่องจากนี้จะช่วยลดน้ำหนักและประหยัดเชื้อเพลิงในการบิน นอกจากนี้ วัสดุที่ทนทานต่อการใช้งานยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาในระยะยาวด้วย การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตในอดีตเริ่มจากการใช้ในอุตสาหกรรมทหารและดาวเทียม และเรียกผลิตภัณฑ์สู่ระดับอุตสาหกรรมการบินทั่วไป นั้นหมายความว่าสัดส่วนของวัสดุคอมโพสิตต่อวัสดุอื่น ๆ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

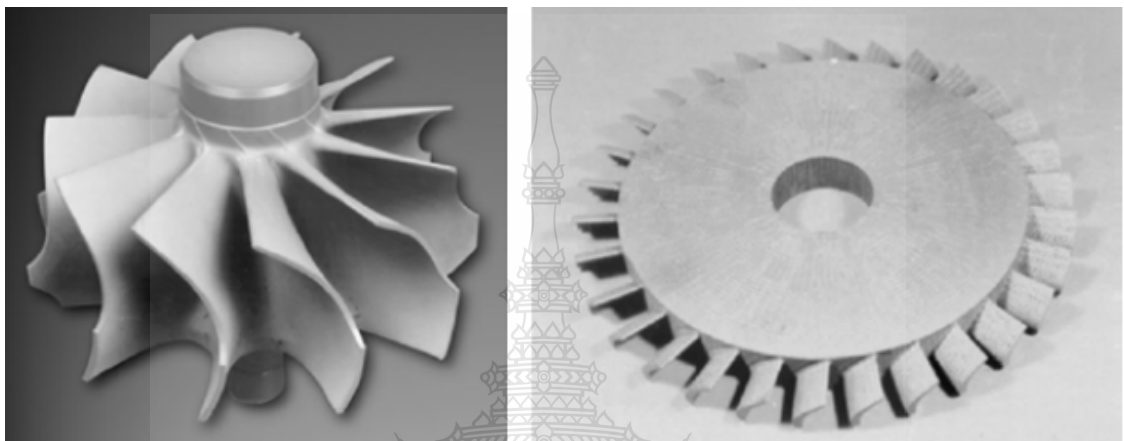
พลาสติกที่เสริมด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยคาร์บอนถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบหลักในโครงสร้างผิวของเครื่องบินทิ้งระเบิดรุ่นบี 2 (B2 Stealth bomber) เพื่อเพิ่มสมบัติที่ยากต่อการตรวจจับ และเป็นส่วนประกอบในเครื่องบินพาณิชย์โบอิง 777 และโบอิง 787 พลาสติกเสริมแรงนี้ยังถูกใช้ในการผลิตตัวถังของเครื่องบินพาณิชย์แอร์บัสเอ 380 ซึ่งเป็นเครื่องบินพาณิชย์ขนาดใหญ่ที่สุด



รูปที่ 2.14 วัสดุคอมโพสิต Polymer ที่ถูกใช้ในเครื่องบินพาณิชย์โบอิง 777

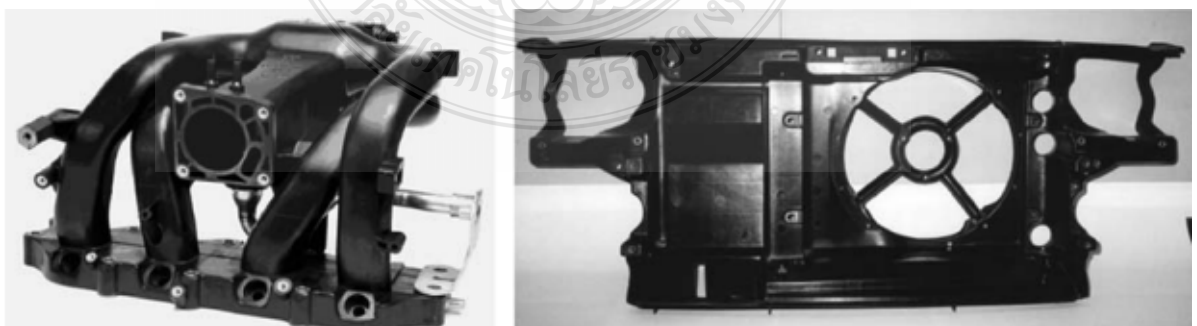
การค้นคว้าวัสดุที่มีสมบัติทนต่อความร้อนสูงและมีสมบัติเชิงกลที่ดีเพื่อใช้ในการผลิตอากาศยานกำลังเป็นแนวโน้มที่มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการใช้เมทริกซ์อะลูมิเนียมเสริมด้วยอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์เพื่อทดแทนอะลูมิเนียมในการผลิตเครื่องบินรบเอฟ 16 ช่วยเพิ่มความทนทานใน

การใช้งานของเครื่องยนต์สำหรับอวกาศยาน เช่น เครื่องยนต์กังหันแก๊ส ที่ต้องเผชิญกับอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ วัสดุคอมโพสิตเซรามิกเส้นใยซิลิกอนคาร์ไบด์เสริมแรงเมทริกซ์ซิลิกอนคาร์ไบด์ก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตท่อปล่อยแก๊สขนาดใหญ่และเครื่องเผาไหม้บางรุ่น วัสดุคอมโพสิตเซรามิกมีข้อดีในการทนทานต่อความร้อนและสภาวะกัดกร่อน แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของความเปราะแข็งของเมทริกซ์เซรามิก ซึ่งเป็นจุดที่ต้องพัฒนาต่อไป



รูปที่ 2.15 วัสดุคอมโพสิตเซรามิกที่นำมาใช้ในเครื่องยนต์กังหันแก๊ส

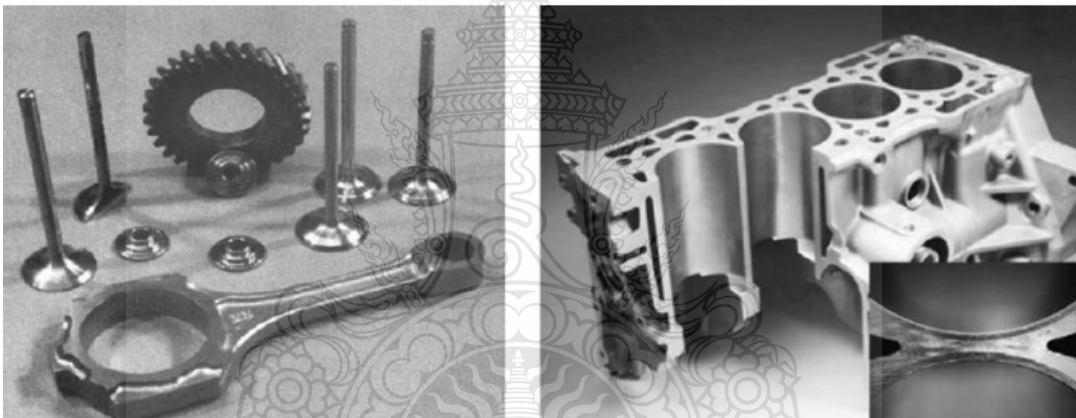
2.6.3.2. ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์มีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น มีความแข็งแรงสูงและสามารถผลิตเป็นชิ้นส่วนที่ซับซ้อนได้ เช่น แผ่นคันเร่ง วัสดุทำขอบยึดกระจก และขอบแผ่นกรอง นอกจากนี้ ยังมีชิ้นส่วนทั้งโครงสร้าง เช่น ห้องรวมท่ออากาศในห้องเครื่อง ส่วนหน้าและส่วนโครงสร้าง เช่น กันชน ในห้องโดยสาร วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์มีหลายชนิด เช่น เมทริกซ์เทอร์โมเซตติง เช่น พอลิเอสเตอร์ อีพอกซีและเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติก รวมถึงลักษณะของสารเสริมแรงที่อาจเป็นเส้นใยสั้นหรือเส้นใยต่อเนื่องที่ถูกทอเป็นผืน ลักษณะเหล่านี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานแต่ละส่วนของรถยนต์และความต้องการของสมบัติของวัสดุที่ต้องการใช้งาน



รูปที่ 2.16 วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ที่ถูกใช้เป็นส่วนประกอบในรถยนต์

วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ได้ถูกใช้ในการผลิตเครื่องตั้งแต่ยุคเริ่มต้นการผลิตเนื่องจากมีความทนทานต่อการใช้งานและสามารถขึ้นรูปได้ง่าย การพัฒนาวัสดุทำให้สมบัติดีขึ้นและนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในเรือขนาดใหญ่ เช่น เรือโดยสารและเรือรบเมทริกซ์ เช่น พอลิเอสเตอร์ ไวนิลเอสเตอร์ และอีพอกซี โดยใช้เส้นใยแก้วเป็นสารเสริมแรง เส้นใยสั้นและเส้นใยผืน นอกจากนี้ยังมีการใช้วัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ประกบร่วมกับแกนเพื่อทำเป็นตัวเรือที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรง เป็นแผ่นตัวเรือที่มีความทนทานต่อสิ่งแวดล้อม

วัสดุคอมโพสิตที่มีเมทริกซ์อะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์หรือเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยซิลิกอนคาร์ไบด์ ได้นำมาใช้เป็นวัสดุแทนที่เหล็กและเหล็กหล่อในการผลิตชิ้นส่วนในเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของลูกสูบเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากมีอัตราการขยายตัวจากความร้อนต่ำกว่าของโลหะ และนำมาใช้ในระบบเบรกและเพลานี้เนื่องจากทนทานต่อความล้าสูง

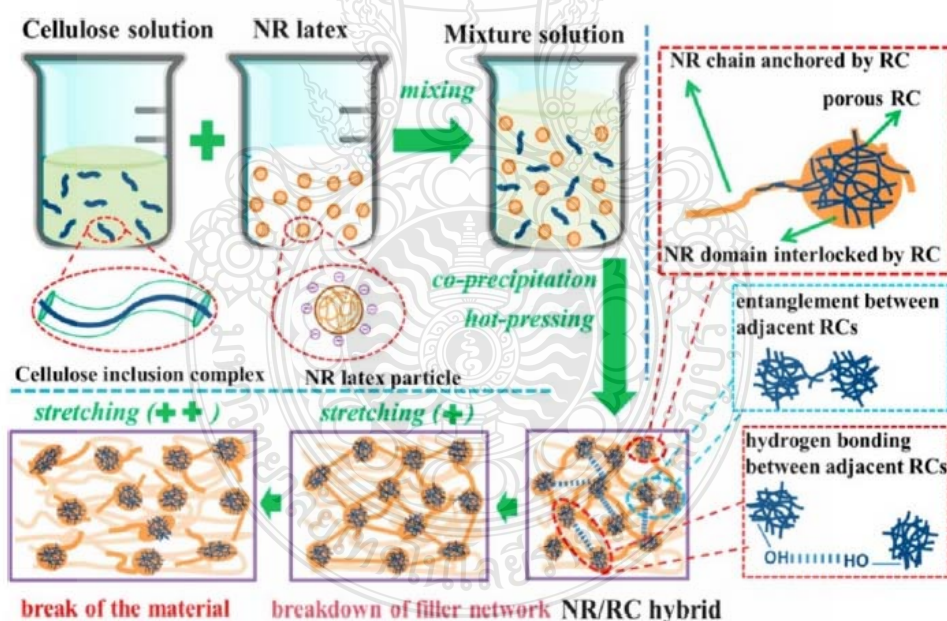


รูปที่ 2.17 วัสดุคอมโพสิตโลหะที่ถูกใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องยนต์

2.6.3.3. ด้านอื่น ๆ วัสดุคอมโพสิตมีบทบาทสำคัญในหลายอุตสาหกรรมเช่นในการผลิตกาบก่อสร้าง การใช้เส้นใยแก้วเพื่อเสริมแรงเมทริกซ์ของซีเมนต์หรือคอนกรีต และการใช้เส้นใยคาร์บอนและเส้นใยคาร์บอนในการเสริมแรงเมทริกซ์ของคอนกรีต ทำให้ได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาขึ้น สำหรับวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ไม่ได้ถูกใช้เป็นวัสดุโครงสร้างโดยตรงแต่มักใช้เป็นส่วนประกอบเสริมเพื่อเสริมประสิทธิภาพ เช่นในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อนำเมทริกซ์อะลูมิเนียมที่เสริมด้วยอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ไปใช้ในการทำฮาร์ดดิสก์ สามารถปรับสัดส่วนเพื่อความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการขยายตัวได้ นอกจากนี้ เซรามิกที่มีสารเสริมแรงสามารถหน่วงการแยกที่เกิดขึ้นได้ ทำให้เกิดเป็นวัสดุคอมโพสิตที่มีความเหนียวทนทานมากขึ้น [7]

2.6.4. วัสดุคอมโพสิตยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส

การใช้นาโนเซลลูโลสจากแหล่งต่าง ๆ มากมายเป็นตัวเสริมแรง NR หรือใช้ในการผสม ได้รับศึกษาอย่างครอบคลุม การใช้ NR เป็นเฟสของน้ำที่กระจายตัวเป็นระบบแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ สำหรับการศึกษการปรับปรุงผลของสารตัวเติมเสริมแรงเนื่องจากความยืดหยุ่นที่ดีเยี่ยม [8] จาก การศึกษาของ Dominic et al. [9] และ Kulshrestha et al. [10] การแทนที่บางส่วนของ CB ด้วย CNF ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นระหว่าง 5 phr ถึง 15 phr ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่ดีขึ้นของ NR เมื่อ เปรียบเทียบกับการใช้ CB เท่านั้น นอกจากนี้ CNF ยังสามารถเลิกใช้สารตัวเติมแบบเดิมได้ในอนาคต การเพิ่มสารรีเอเจนต์ที่แปลกปลอมสามารถปรับปรุงความประสพระหว่างนาโนฟิลเลอร์และเมทริกซ์ ย่างได้ ไม่ว่าจะผ่านการดัดแปลงพื้นผิวของ NC หรือการเพิ่มสารช่วยกระจายตัวในน้ำยาง เช่น Cao และคณะ การใช้คาร์บอกซีเลตยูนิเคต CNC ในเมทริกซ์ ENR ได้แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงความ ทนทานของการเชื่อมขวางและการต้านทานแรงดึง เมื่อเทียบกับ CNC ที่ไม่ได้รับการปรับแต่ง ส่วนการ เพิ่ม resorcinol-hexamethylenetetramine (RH) ใน CNCs ได้เพิ่มคุณสมบัติการยึดเกาะที่ติระหว่าง ฟิลเลอร์และโซ่ยาง และปรับปรุงการกระจายตัวของ CNCs ที่เพิ่มความต้านทานแรงดึงของนาโน คอมโพสิต เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มี RH การใช้เคมีไทออล-อินจากอนุโมลอิสระในการปรับเปลี่ยน CNC ได้เพิ่มความต้านทานแรงดึงเป็นสองเท่าเมื่อต้องมีการเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ดัดแปลง และ ประมาณ 5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับ NR แบบเรียบ การทำงานนี้ยังเสริมความยืดหยุ่นของยางด้วย



รูปที่ 2.18 แผนผังของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลส [14]

2.7 สมบัติทางกลแบบพลวัตของโพลิเมอร์

สมบัติทางกลของวัสดุเป็นตัวบ่งบอกความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุ โดยการทดสอบด้วยการใช้แรงกระทำในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แรงดึง แรงฉีก หรือแรงกระแทก แล้วตรวจสอบ

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับวัสดุ วัสดุที่มีความแข็งแรงมากจะแตกหักหรือเสียหายได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำเล็กน้อย ในทางกลับกัน วัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่าจะแตกหักหรือเสียหายได้ยากมากขึ้นในการได้รับแรงกระทำใด ๆ ในระดับเดียวกัน พลาสติกเป็นวัสดุโพลิเมอร์ที่มีการใช้งานหลากหลายในชีวิตประจำวัน ใช้กับเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม อุปกรณ์ในครัวเรือน และอุปกรณ์การแพทย์ รวมถึงเป็นส่วนหลักของยานพาหนะ เช่น รถยนต์ เรือ และเครื่องบิน การใช้พลาสติกมีบทบาทสำคัญในการให้ความสะดวกสบายและประหยัดต้นทุนในชีวิตประจำวันของเราโดยทั่วไป สมบัติที่สำคัญที่เราจำเป็นต้องทราบก่อนการนำพลาสติกไปใช้งานคือสมบัติทางด้านความแข็งแรงของวัสดุเอง

2.7.1. ความหมายของสมบัติทางกลแบบพลวัต

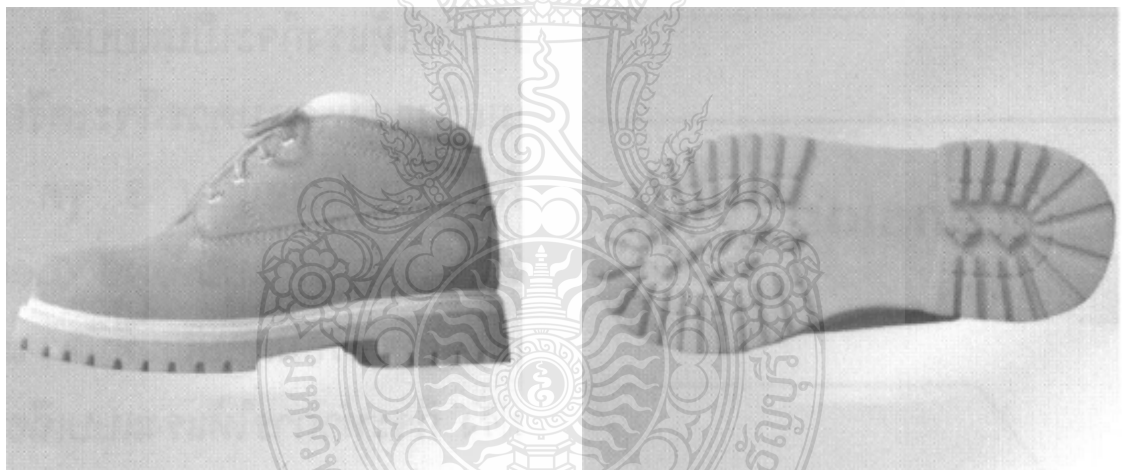
"สมบัติทางกลแบบพลวัต" เป็นคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในเชิงวิศวกรรมและกลศาสตร์เพื่ออธิบายพฤติกรรมของวัตถุหรือระบบที่ได้รับแรงกระทำ ในบางกรณี สมบัติทางกลแบบพลวัตอาจถูกใช้เพื่ออธิบายเสถียรภาพและการเคลื่อนไหวของวัตถุหรือระบบที่มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงได้ สมบัติทางกลแบบพลวัตเป็นผลจากกฎของฟิสิกส์และมีการใช้ในการออกแบบและพัฒนากระบวนการทางเทคโนโลยีต่าง ๆ อย่างเช่นการออกแบบระบบเครื่องจักร หรือการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยสมบัติทางกลแบบพลวัตสามารถอธิบายพฤติกรรมทางกลของวัตถุหรือระบบที่มีการเคลื่อนที่ได้ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของพลวัตเมื่อมีแรงกระทำที่เข้ามาดักอย่างชัดเจน การวิเคราะห์สมบัติทางกลแบบพลวัตช่วยให้วิศวกรและนักวิจัยสามารถทำนายและออกแบบระบบหรือเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้นได้ โดยพลวัตสามารถเป็นที่เรียบร้อยแล้วและประสานได้ดีกับความต้องการและเงื่อนไขที่กำหนดไว้ล่วงหน้า การเข้าใจและการนำไปใช้สมบัติทางกลแบบพลวัตเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อการพัฒนาเทคโนโลยีและการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ อย่างเช่นการพัฒนาหุ่นยนต์ การออกแบบระบบการควบคุมอัตโนมัติ หรือการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยสมบัติทางกลแบบพลวัตมีบทบาทสำคัญในการเป็นพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนากระบวนการที่ใช้ในชีวิตประจำวันของเรา

วัสดุต่าง ๆ ใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ โดยมักต้องรับแรงกระทำแบบต่าง ๆ เช่น แรงกด แรงดึง แรงเฉือน แรงกระแทก และแรงเฉือน เช่น พื้นรองเท้าทำจากยาง จะรับแรงกระทำในรูปแบบบวมจอร์หรือคืบ โดยเมื่อเราใส่รองเท้าแล้วก้าวเดิน พื้นรองเท้าจะได้รับแรงกระทำในรูปแบบแรงกด เมื่อเรายกเท้าเพื่อก้าวเดิน แรงกระทำจะถูกปล่อยออก และเมื่อเราเหยียบเท้าอีกครั้ง จะมีการให้แรงกดอีกครั้ง นั่นคือในการก้าวเดินหรือวิ่ง พื้นรองเท้าจะรับแรงกระทำแบบกดและปล่อยสลับกันไปเรื่อย ๆ ในช่วงเวลาที่เราก้าวเดินหรือวิ่งไปเรื่อย ๆ นั้น บางทีเราอาจพบรูปแบบการใช้งานที่ใกล้เคียงกันในวัสดุอื่น ๆ ด้วย

การเคี้ยวหมากฝรั่งเป็นตัวอย่างที่ใกล้ตัวและเป็นการรับแรงแบบเป็นคาบ โดยเมื่อหมากถูกเคี้ยวอยู่ในปาก มันจะได้รับแรงจากการบดกันระหว่างฟันล่างและฟันบนที่ห่างออกจากกัน ซึ่งเป็นจังหวะของการเคี้ยว การที่วัสดุสามารถรับแรงกระทำแบบที่เป็นคาบอย่างนี้ได้ถือเป็น "สมบัติทางกลแบบพลวัต" ของวัสดุ



รูปที่ 2.19 ยางรถยนต์ ตัวอย่างที่ได้รับแรงกระทำแบบเป็นคาบในขณะการใช้งาน



รูปที่ 2.20 พื้นรองเท้าจากยางที่ต้องรับแรงกระทำแบบเป็นคาบในขณะการใช้งาน

2.7.2. ความสำคัญของสมบัติทางกลแบบพลวัต

โพลิเมอร์มีลักษณะเฉพาะทางด้านความแข็งแรงที่ไม่เหมือนวัสดุประเภทโลหะหรือเซรามิกที่มีความแข็งแรงมากกว่าและส่วนใหญ่มีสมบัติยืดหยุ่น (Elastic) เพียงอย่างเดียว ในขณะที่โพลิเมอร์โดยส่วนใหญ่จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า และมีสมบัติแบบ วิสโคอีลาสติก (Viscoelastic) ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมผสานระหว่างความยืดหยุ่นกับความสามารถในการไหล

การศึกษาสมบัติทางกลแบบพลวัตถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์และปรับปรุงวัสดุที่มีสมบัติแบบวิสโคอีลาสติก เช่น โพลิเมอร์ โดยต้องมีการแก้ไขและปรับปรุงวิธีการให้เหมาะสมตาม

ความต้องการของวัสดุเหล่านั้น การศึกษาสมบัติทางกลแบบพลวัตจะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม และสามารถทำนายอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากผลลัพธ์จากการศึกษาสมบัติทางกลแบบพลวัตจะช่วยให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งแรงของวัสดุที่ต่างอยู่ในสภาวะต่าง ๆ และลักษณะการตอบสนองต่อแรงกระทำที่มีความถี่ของวัสดุ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาวัสดุให้มีสมบัติตามที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

หลังจากทำการทดสอบสมบัติทางกลแบบพลวัตของวัสดุโพลิเมอร์แล้ว การใช้วิธี Time Temperature Superposition เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการทำนายอายุการใช้งานของวัสดุนั้น ๆ โดยการคำนวณค่าของความแข็งแรงในช่วงเวลาต่าง ๆ เช่น หนึ่งอาทิตย์ หนึ่งเดือน หรือหนึ่งปี ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการคาดคะเนและวางแผนการใช้งานของวัสดุในอนาคต

ยางรถยนต์เป็นตัวอย่างของวัสดุที่จำเป็นต้องทำนายอายุการใช้งาน เนื่องจากการใช้งานของยางรถยนต์นั้นมีการรับแรงกระทำแบบคาบ และยังต้องพิจารณาถึงความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานด้วย ดังนั้นการทดสอบสมบัติทางกลและการใช้งานวัสดุโพลิเมอร์เป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินและวางแผนการใช้งานวัสดุในสภาวะที่แท้จริง ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดความเสียหายหรืออุบัติเหตุในระหว่างการใช้งานได้และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อีกด้วย

2.7.3. เทคนิค Dynamic Mechanical Analysis

เทคนิค DMA (Dynamic Mechanical Analysis) เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกลแบบพลวัตของวัสดุ โดยการจำลองสภาวะที่คล้ายกับการใช้งานจริงเพื่อทดสอบโพลิเมอร์ โดยมุ่งเน้นในการตอบคำถามเกี่ยวกับผลกระทบของแรงที่มีลักษณะเป็นคาบ ต่อวัสดุภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือเวลา โดยวิเคราะห์ถึงว่าการมีแรงกระทำนี้จะทำให้ขนาดและรูปร่างของวัสดุเปลี่ยนแปลงอย่างไร และทราบถึงค่าความแข็งแรงดิ่ง (Storage modulus หรือ Stiffness) และความสามารถในการกระจายแรงที่มากกระทำ (Loss modulus หรือ Energy dissipation) ของวัสดุด้วย

ในการวิเคราะห์สมบัติทางกลแบบพลวัตนั้น ค่าความแข็งแรงจะถูกคำนวณในรูปแบบของมอดุลัสเชิงซ้อน (Complex modulus) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้:

$$E^* = E' + iE''$$

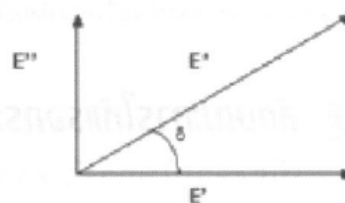
เมื่อ E^* = มอดุลัสเชิงซ้อน (Complex modulus)

E' = มอดุลัสจริง (Storage modulus)

iE'' = มอดุลัสจินตภาพ (Loss modulus)

$$E^* = E' + iE''$$

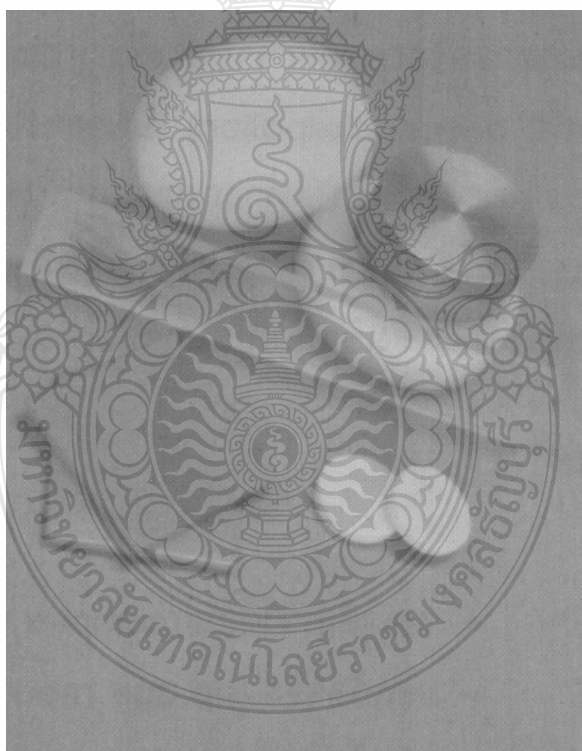
$$\tan \delta = E'' / E'$$



อัตราส่วนระหว่าง E' กับ E'' เรียกว่า “Tan delta” หรือ “Loss factor” เป็นค่าแสดงถึงอัตราส่วนการสูญเสียสัมพัทธ์พลังงานในรูปความร้อนอันเป็นผลมาจากการมีสมบัติแบบวิสโคอีลาสติกของโพลิเมอร์

โพลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีสมบัติแบบวิสโคอีลาสติก ที่มีทั้งส่วนที่ยืดหยุ่นและส่วนที่ไหลได้ ค่ามอดุลัสเชิงซ้อนที่วัดได้นั้นเป็นผลรวมของค่ามอดุลัสจริงซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงของส่วนที่ยืดหยุ่น (Storage modulus) และค่ามอดุลัสจินตภาพซึ่งเป็นค่าความสามารถในการกระจายแรงหรือความสามารถในการเปลี่ยนแรงของส่วนที่ไหลได้ (Loss modulus)

ตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาสมบัติทางกลแบบพลวัตด้วยเทคนิค DMA ได้แก่ NR ยางสังเคราะห์ เส้นใย แผ่นฟิล์ม และชิ้นงานพลาสติกต่าง ๆ โดยตัวอย่างจะต้องมีขนาดและรูปร่างที่วัดค่าได้แน่นอน เช่น เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือเป็นชิ้นทรงกลม ขนาดของตัวอย่างนั้นขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ทำการวิเคราะห์ บริษัทผู้ผลิตเครื่อง DMA ได้มีการผลิตเครื่องมือที่ทันสมัยออกสู่ท้องตลาดแล้วในปัจจุบัน

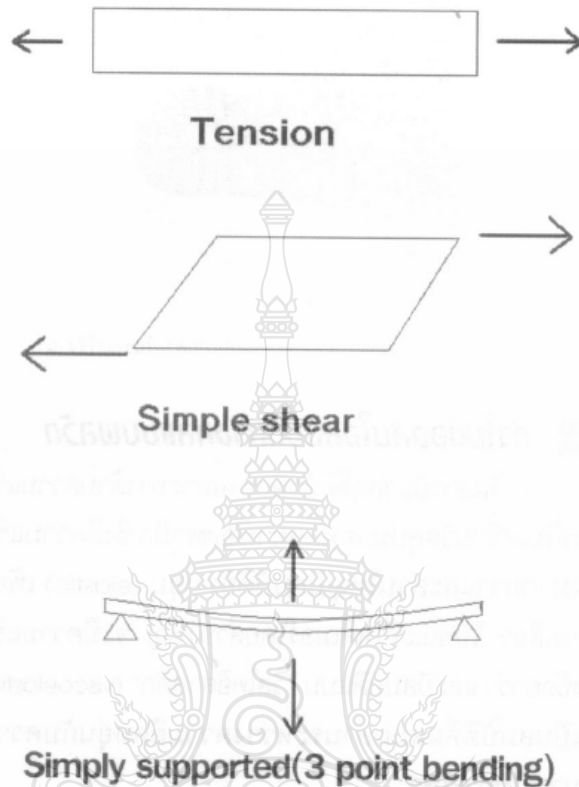


รูปที่ 2.21 ตัวอย่างรูปร่างต่าง ๆ ที่จะนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกลแบบพลวัตด้วยเทคนิค DMA

2.7.4. ลักษณะการให้แรงกระทำแบบต่าง ๆ ต่อวัสดุ

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMA สามารถเตรียมตัวอย่างได้หลายแบบ เช่น การใช้แรงดึง (Tension) สำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบางหรือเป็นเส้นใย การใช้แท่งที่มีความยาวเท่ากับหัววัด

ดัดงอแบบ 3 จุด (Three-point bending) สำหรับตัวอย่างที่มีความแข็งแรงพอสมควร และการใช้แรงเฉือน (Shear) สำหรับตัวอย่างที่ไม่แข็งแรงมากนักหรือมีลักษณะที่มีความหนืดมาก เช่น ยางหรือหมากฝรั่ง



เมื่อให้แรงกระทำต่อวัสดุ เครื่องจะวัดค่ามอดุลัส เป็นตัวบ่งชี้การต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ ค่านี้คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างแรงที่ให้และการเปลี่ยนแปลงขนาด ซึ่งเป็นมอดุลัสเชิงซ้อนที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Darren Yi Sern Low และคณะ [25] วิจัยและพัฒนาของวัสดุนาโนเซลลูโลสและวัสดุกิ่งนาโนเซลลูโลส บทวิจัยนี้มุ่งเน้นการเน้นที่การพัฒนาสู่สุดท้ายในการผสมนาโนเซลลูโลสเข้ากับเมทริกซ์ยางเป็นวัสดุเติมเต็มเพื่อเสริมความแข็งแรง มันมีการนำเสนอเกี่ยวกับ NR และยางสังเคราะห์เป็นสินค้าในขนาดใหญ่และวัสดุเติมเต็มที่ใช้ในการประมวลผลภายในปัจจุบัน เช่น คาร์บอนแบล็คและซิลิกา ต่อมาจะได้ถูกพูดถึงเกี่ยวกับประเภทต่าง ๆ ของนาโนเซลลูโลส รวมถึงแหล่งที่มาที่เป็นที่นิยม ขนาด และคุณสมบัติกลศาสตร์ ตามด้วยเทคนิคในการแยกนาโนเซลลูโลสจากทรัพยากรของมันและการประยุกต์ใช้ในการเสริมยาง บทวิจัยนี้ยังรวบรวมการศึกษาล่าสุดและข้อคิดเห็นคุณภาพเกี่ยวกับการรวมกลุ่มของตัวแปรนาโนเซลลูโลสจำนวนมากเข้ากับประเภทต่าง ๆ ของเมทริกซ์ยางโดยมีเป้าหมายหลักคือเพิ่มความสมบูรณ์ทางกลศาสตร์และเป็นไปได้ว่าจะเลิกใช้วัสดุเติมเต็มแบบดั้งเดิม การเน้นกลไกการเสริมและ

พฤติกรรมทางกลศาสตร์ของนาโนคอมโพสิตเหล่านี้ถูกเน้นขึ้น บทความนี้สรุปด้วยการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมของวัสดุยางเสริมนาโนเซลลูโลสและวิธีการก้าวหน้าด้วยเทคโนโลยีนี้

Liucheng Meng และคณะ [26] ศึกษาฟิล์มนาโนเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติกันออกซิเจนได้ดีเยี่ยม แต่คุณสมบัติกันไอน้ำและการต้านทานน้ำไม่ดี น้ำยางธรรมชาติ (NRL) ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำของ 2,2,6,6-tetramethylpiperidin-1-oxo (TEMPO) เส้นใยนาโนเซลลูโลสออกซิไดซ์ (TOCNFs) เนื่องจากมีโครงสร้างแกนกลางและเปลือกตามธรรมชาติที่ช่วยให้สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับโพลีเมอร์ที่ชอบน้ำในสารละลายที่เป็นน้ำ การสัมผัสกับสายโซ่โมเลกุลไฮโดรเจนที่ไม่ชอบน้ำภายใน ของ NRL ในระหว่างกระบวนการทำให้แห้งทำให้ฟิล์มคอมโพสิตสามารถต้านทานน้ำได้ดีขึ้นอย่างมาก และมีคุณสมบัติในการกันไอน้ำและออกซิเจนที่ดีเยี่ยม ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) และการซึมผ่านของออกซิเจน (OP) ของฟิล์มมีค่าต่ำเพียง 6.07×10^{-3} g·m/m²·s·Pa และ 3.11×10 g·m/m²·s·Pa ตามลำดับ การต้านทานน้ำที่ดีของฟิล์มคอมโพสิตทำให้ความต้านทานแรงดึงแบบ เปียก ของฟิล์มสูงถึง 15.87 MPa ซึ่งสูงถึง 71.69% ของความต้านทานแรงดึงแบบ แห้ง นอกจากนี้ ความเหนียวสูงของ NRL ทำให้ฟิล์มคอมโพสิตมีความเหนียวที่ดี และการยืดตัวเมื่อขาดสามารถเข้าถึงประมาณสามเท่าของฟิล์มที่ใช้นาโนเซลลูโลสส่วนใหญ่ การทดลองเก็บรักษาสดรอบเออร์รี่แสดงให้เห็นว่าสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของสตรอเบอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยยืดอายุการเก็บรักษาจาก 2 วันเป็น 7 วัน

Shijian Xu และคณะ [27] การพัฒนาและเตรียมคอมโพสิตอีลาสโตเมอร์ที่นาโนคริสตัลคาร์บอกซิเลตเซลลูโลสเซลลูโลสที่ดัดแปลงด้วยโพลีอะนิลีน ถูกนำมาใช้เป็นทั้งตัวเติมที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าเพื่อให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงถึง 15.08 มิลลิซีเมนต์/เมตร และการเสริมแรงทางกลเพื่อสร้างเครือข่ายการเชื่อมโยงข้ามคู่แบบไดนามิกที่มีฮิพอกซิไดซ์ NR เพื่อให้ได้ความแข็งแรงเชิงกลสูง (8.65 MPa) และความเหนียว (29.57 MJ/ m³) ในขณะเดียวกัน การสร้างเครือข่ายการเชื่อมโยงข้ามคู่แบบไดนามิกทำให้อีลาสโตเมอร์สามารถรีไซเคิลได้อย่างน่าพอใจ จากคุณสมบัติเหล่านี้ คอมโพสิตอีลาสโตเมอร์นำไฟฟ้าถูกนำมาใช้เป็นเซ็นเซอร์ความเครียด และวัสดุอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการประกอบเซ็นเซอร์ที่ยืดหยุ่นและรีไซเคิลได้เพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ที่สำคัญ คอมโพสิตอีลาสโตเมอร์นำไฟฟ้ายังคงรักษาประสิทธิภาพการตรวจจับและการเก็บเกี่ยวพลังงานที่เชื่อถือได้ แม้จะผ่านกระบวนการรีไซเคิลหลายครั้งก็ตาม การศึกษาครั้งนี้เป็นกลยุทธ์ใหม่สำหรับการเตรียมวัสดุนำไฟฟ้าผสมที่มีความทนทานเชิงกลที่สามารถรีไซเคิลได้สำหรับเซ็นเซอร์ที่สวมใส่ได้

Monika Chhajed และคณะ [28] ศึกษาและพัฒนาแอโรเจลที่สามารถสะสมน้ำได้ด้วยวิธีการผสมที่เรียบง่าย โยเซลลูโลส (NFC) และ NRL ถูกผสมกันในสื่อน้ำก่อนที่จะถูกเจือปน แนวคิดเรื่องเขียว อินทรีย์ และปลอดภัยละลายถูกใช้ในการเตรียมแอโรเจล การใช้สารผสมที่แตกต่างกันของ NFC/NRL ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมพร็อซิติ ความหนาแน่น และความจุดูดซับของน้ำมัน การวิเคราะห์โครงสร้างผิวถูกสำรวจผ่านการวิเคราะห์รูปร่าง การสเปกโทรสโกปีทรานส์ลูค่านำเนินการเพื่อประเมินปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง NRL และ NFC นอกจากนี้ แอโรเจลที่พัฒนาขึ้นได้รับการสำรวจเพื่อการดูดซับของของเหลวอินทรีย์/น้ำมันจากสภาพแวดล้อมน้ำ การศึกษาการแยกน้ำมัน-น้ำอย่างต่อเนื่องก็ถูกดำเนินการเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของวัสดุที่พัฒนาขึ้นสำหรับการประยุกต์ใช้ในธุรกิจ

Eldho Abraham และคณะ [29] ศึกษาการย่อยสลายของชนิดผสมของยางธรรมชาติ (NR) ที่เสริมด้วยนาโนเซลลูโลสถูกศึกษาโดยวิธีเวอร์มิคอมโพสท์ด้วยการอ้างอิงถึงการ Crosslinking ของเมทริกซ์ มีการใช้เชื้อหนอนเวอร์มิคอมโพสท์ชนิด Epigeic ชื่อ Eudrilus eugeniae สำหรับวัตถุประสงค์นี้ นาโนเซลลูโลสที่ถูกแยกจากใยजूตด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำเป็นส่วนประกอบที่เสริม ผลการศึกษาทางรูปร่าง การฟังก์ชันการกระจายแสงเอ็กซ์เรย์ (XRD) และค่าความแข็งแรงในการยืดยาวแสดงให้เห็นว่ามีปฏิกิริยาเซลลูโลส/NR ที่แข็งแรงอยู่ในตัวอย่างที่ Cross linked อัตราการย่อยสลายของชนิด NR ที่เสริมแสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสต้องถูกย่อยสลายด้วยการไฮโดรไลซ์ก่อนที่จะมีจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งอาหาร ปริมาณน้ำหนักรของนาโนเซลลูโลสที่เสริมมีผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายของชนิดผสม อัตราการย่อยสลายโดยวิธีเวอร์มิคอมโพสท์พบว่าสูงกว่าในชนิดผสมที่ไม่ได้ Cross linked และมีประสิทธิภาพของ Eudrilus eugeniae สำหรับการย่อยสลายของ NR/Cellulose ไม่ว่าจะเป็น Cross linked หรือ Non-cross linked แสดงได้อย่างชัดเจน

Sharma และคณะ [30] ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างผลิตภัณฑ์โพลิเมอร์ที่มาจากชีวภาพ ซึ่งรวมถึงการใช้เซลลูโลสที่สร้างจากพืช สัตว์ และแบคทีเรีย เซลลูโลสมีโครงสร้างที่คล้ายกับสายโซ่เส้นยาวที่ประกอบด้วยหน่วยกลูโคไพรานโนซิล (1,4) ที่เชื่อมโยง β -D ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโครงสร้างลำดับชั้นของไมโครไฟบริลที่มีความแข็งแรงและคุณภาพเลิศ นอกจากนี้ นาโนเซลลูโลสที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมายังมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม โดยมีคุณสมบัติทางกลและแสงที่ดี จึงมีการนำไปใช้ในหลากหลายงาน เช่น ในงานไฮโดรเจลแบบเปลี่ยนกลับได้และแบบยึดติดได้ การทำกระดาษ การเคลือบบรรจุภัณฑ์อาหาร หน้าจอที่ยืดหยุ่น แผ่นใสมองเห็น และวัสดุน้ำหนักเบาสำหรับป้องกันขีปนาวุธ กระจกรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีศักยภาพในการใช้งานในชีวิตประจำวัน เช่น การส่งยาและการผลิตรากฟันเทียมชั่วคราวที่มี PHB เช่น หมอนเย็บ การใส่ชุดลด และอื่น ๆ อีกมากมาย

Yamamoto, Y และคณะ [31] ศึกษาการกำจัดโปรตีนจาก NR โดยกระบวนการแบทช์โดยการบ่มตัวของน้ำยางที่มียูเรียโดยมีโซเดียมโอดีเดซิลซัลเฟต ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม ได้ผลลัพธ์ที่ดีโดยการลดปริมาณไนโตรเจนของ NR ที่มีโปรตีนลดโปรตีน (DPNR) ลงจาก 0.38% เป็น 0.02% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นบ่มเป็นเวลา 10 นาที การใช้งาน การบ่มและการปั่นแยกอย่างต่อเนื่องถูกตรวจสอบแยกกันโดยใช้เครื่องมือเหวี่ยงต่อเนื่อง ตามลำดับ เพื่อขยายขนาดการเตรียม DPNR อย่างสรุปคือกระบวนการนี้สามารถลดปริมาณโปรตีนใน NR ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมโดยการใช้โซเดียมโอดีเดซิลซัลเฟตในการบ่มยางที่มีโปรตีนและน้ำยางที่มียูเรีย เพื่อผลิต DPNR ที่มีปริมาณโปรตีนต่ำลงใน NR เมื่อนำไปใช้งานโดยเฉพาะในการผลิตชิ้นงานยางที่ต้องการคุณภาพที่สูง

Ticiane Taflick และคณะ [32] ศึกษาการแยกนาโนคริสตัลเซลลูโลสออกจากวัสดุชีวเซลลูโลสชนิดต่างๆ เป็นการวิจัยที่มีความสนใจในด้านทั้งวิชาการและเทคโนโลยี เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม และสามารถนำไปใช้งานต่างๆ ได้ เช่น การเป็นนาโนฟิลเลอร์สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต และฟิล์มสำหรับการใช้งานต่างๆ การวิจัยนี้ได้ดำเนินการแยกเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ใช้คลอรีน โดยนาโนคริสตัลของเซลลูโลสถูกแยกออกมาจากเปลือกอะคาเซียที่หมดสภาพแล้ว ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของขั้นตอนการสกัดต่อคุณลักษณะของเซลลูโลสและนาโน

คริสตัลของเซลลูโลส การวิเคราะห์ TGA, TEM และการกระเจิงของแสงได้ถูกใช้ในการประเมินผลของเวลาไฮโดรไลซิสของกรดต่อความเสถียรทางความร้อน สัณฐานวิทยา และขนาดของผลึกนาโน การทดลองเชิงตรวจสอบของแสงระบุว่าไฮโดรไลซิส 30 นาทีนั้นเพียงพอสำหรับการแยกนาโนคริสตัลเซลลูโลส เช่นเดียวกับขั้นตอนการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีความสำคัญในการแยกเซลลูโลส แต่ไม่เกี่ยวข้องกับการแยกนาโนคริสตัลเซลลูโลส

ศิริชล บัวบุญ [33] การศึกษาเชิงวิจัยนี้เน้นการเตรียมและวิเคราะห์ลักษณะของน้ำ DPNR โดยใช้การทำปฏิกิริยาอ็อกซิเดชันและ Pre-vulcanization และนำเสนอผลลัพธ์ผ่านการใช้เทคนิคการทดสอบคาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ในสถานะน้ำยาง นอกจากนี้ยังได้พิสูจน์ความมีประสิทธิภาพของการใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและกลไกการเชื่อมขวางของโมเลกุลในน้ำยาง DPNR ผ่านการระบุปริมาณการเกิดหมู่ฟังก์ชันสูงสุดของน้ำยาง EDPNR และการตรวจสอบกลไกการเชื่อมขวางที่เกิดขึ้น ข้อมูลที่ได้มาอยู่ในเชิงวิจัยที่น่าเสนอมีความถูกต้องและมีความแม่นยำ และเสนอเป็นทางเลือกใหม่ในการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะของน้ำยาง DPNR และ EDPNR ในสถานะน้ำยาง นอกจากนี้ยังเป็นการยืนยันถึงความสามารถของเทคนิคการทดสอบคาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปีในการใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำยาง DPNR

Wiwat Pichayakorn และคณะ [33] ศึกษาเน้นการเตรียมและวิเคราะห์น้ำยาง NR ลดโปรตีน (DNRL) และการผสมกับโพลีเมอร์ต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการผสม DNRL กับโพลีเมอร์หลายชนิดในการสร้างฟิล์มที่มีคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น ความยืดหยุ่น การยึดเกาะ และความต้านทานต่อการดูดซึมความชื้น การผสมนี้สามารถใช้ในงานทางการแพทย์และเภสัชกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น FT-IR, DSC, และ XRD ยืนยันถึงคุณสมบัติของฟิล์มที่ผสมด้วย DNRL และโพลีเมอร์ โดยสรุปว่าการใช้ส่วนผสม DNRL และโพลีเมอร์เหล่านี้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานทางการแพทย์และเภสัชกรรม

Jirapornchai Suksaeree และคณะ [34] โครงการนี้เน้นการพัฒนาฟิล์มยางสีอ่อนที่มีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการลดปริมาณโปรตีนและการเปลี่ยนสี โดยใช้สารเติมแต่งและขั้นตอนการแช่ล้างเพื่อลดปัญหานี้ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการผสมสารเติมแต่งหลายชนิดเข้าด้วยกัน เช่น Texapon N70, Uniphen P-23, และ KOH เพื่อลดโปรตีนและเปลี่ยนสี การใช้สารเติมแต่งเหล่านี้ช่วยให้สามารถกำจัดซีรัมที่ละลายน้ำได้ผ่านกระบวนการบ่ม การแช่ล้าง และการหมุนเหวี่ยง การนํารอบการหมุนเหวี่ยงเพิ่มเติมมาช่วยปรับปรุงการลดโปรตีนและการลดสี โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดมีการกำหนดเป็น 0.5% w/w Texapon N70, 0.5% w/w KOH, และ 1% w/w Uniphen P-23 ผลลัพธ์ที่ได้เป็นการลดโปรตีนลง $90.57 \pm 1.20\%$ และการเปลี่ยนสี (ΔE) ของ 433.69 ± 20.23 โครงการนี้สามารถนำไปใช้ในงานอื่นๆ โดยการจำลองและขยายขนาดสำหรับการใช้งานเพิ่มเติมได้

Tanzina Huq และคณะ [35] การเตรียมฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่เสริมด้วยนาโนคริสตัลไลน์ (NCC) แสดงให้เห็นถึงความเสถียรและความแข็งแรงของวัสดุ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม นาโนคอมโพสิตที่เสริมด้วย NCC 5% โดยน้ำหนักมีความต้านทานแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น 37% และมีการปรับปรุงความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ให้ดีขึ้น ลดลงไปถึง 31% เนื่องจากการใส่ NCC 5% โดยน้ำหนัก ผลลัพธ์จากการทดสอบโดย FT-IR แสดงให้เห็นถึงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่แสดงถึงการ

ปรากฏของพีคของผลึก ความคงตัวทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่เสริมด้วยอัลจินต์ได้รับการปรับปรุงหลังจากการรวมตัวของ NCC นั้นถูกสรุปได้ว่ามีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มให้ดียิ่งขึ้นและมีความเสถียรสูงขึ้นในการใช้งานโดยทั่วไป

Kewwarin Sae-heng และคณะ [36] การวิเคราะห์เชิงปริมาณผ่านสเปกโทรสโกปี NMR ของสถานะลาเท็กซ์ถูกสร้างขึ้นสำหรับการตรวจวัดปริมาณกลุ่มอีพอกซีของ NR อีพอกซีไดซ์ในแหล่งกำเนิด NR อีพอกซีไดซ์เตรียมโดยอีพอกซีเดชันของ NR ที่มีการลดโปรตีนด้วยกรดพาราซิติคที่เตรียมสดใหม่ในระยะน้ำยาง สเปกโทรสโกปี NMR แสดงคุณลักษณะของ NR อีพอกซีไดซ์ โดย EDPNR ได้แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสัญญาณสเปกตรัม NMR ในสถานะลาเท็กซ์ ที่มีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัม NMR ในสถานะสารละลายสำหรับ EDPNR ความละเอียดของสเปกตรัม NMR ในสถานะลาเท็กซ์มีการปรับปรุงเมื่ออุณหภูมิสำหรับการวัดด้วยเรโซแนนซ์แม่เหล็กนิวเคลียร์ (NMR) เพิ่มขึ้นเป็น 70°C โดยอัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวนของการวัด NMR ในสถานะลาเท็กซ์ มีความคล้ายคลึงกับการวัด NMR ในสถานะสารละลาย ที่อุณหภูมิสูงกว่า 50°C ปริมาณของกลุ่มอีพอกซีที่กำหนดโดยสเปกโทรสโกปี NMR ในสถานะลาเท็กซ์ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเหมือนกับที่กำหนดโดยสเปกโทรสโกปี NMR ในสถานะสารละลาย

Zianor และคณะ [37] ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียม Nanocrystalline cellulose (NCC) จากปาล์มน้ำมัน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% NaOH และ Dimethyl sulfoxide (DMSO) และเตรียม NCC ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 64% (w/v) H_2SO_4 พบว่าเส้นใยมีปริมาณเซลลูโลส 59.14% ซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อทำการไฮโดรไลซิส จนถึง 87.7% การศึกษาเรื่องนี้เสนอให้เห็นว่า NCC ที่เตรียมด้วยการไฮโดรไลซิสมีสัณฐานวิทยารูปร่างทรงกลม และการวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่อง X-RD พบว่า NCC มีความเป็นผลึกสูงกว่าเส้นใยที่ยังไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิว

Siti และคณะ [38] การศึกษานี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับสมบัติของ Nanocrystalline cellulose (NCC) ที่ได้มาจากการไฮโดรไลซิสของเส้นใย cellulose จากต้นกล้วย โดยเริ่มต้นด้วยการหั่นเส้นใย cellulose จากต้นกล้วยให้มีขนาด 3-5 เซนติเมตร และนำไปอบแห้ง จากนั้นทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% NaOH และสารละลายบัฟเฟอร์ระหว่าง NaOH และ Glacial acetic acid แล้วนำเส้นใยไปทำการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นต่างกัน 50%, 52%, 54% และ 56% จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อนำไปทดสอบด้วยเครื่อง SEM จะเห็นรูปร่างคล้ายแท่งของ NCC ที่มีความยาว 334.6 นาโนเมตร และความกว้าง 38.0 นาโนเมตร

Tianming และคณะ [39] การศึกษานี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับวิธีการเตรียมวัสดุคอมโพสิตระหว่าง Nanocrystalline cellulose (NCC) และน้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) โดยการเปรียบเทียบระหว่าง Unmodified NCC/NR composites และ Modified NCC/NR composites ที่ใช้ Silane เป็นสารเชื่อมขวาง จากผลการทดสอบพบว่า Silane ได้รับการปรับปรุงให้เข้ากันกับ NCC และ NR ได้ หลังจากที่ได้ทำการปรับสภาพผิว NCC แล้ว NCC จะถูกกระจายเป็นเนื้อเดียวกันทั่วเมทริกซ์ NR และมีส่วนช่วยในการปรับปรุงโมดูลัสแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาดได้เป็นอย่างดี

กัญญารัตน์ และคณะ [40] การศึกษานี้มุ่งสำรวจวิธีการปรับสภาพเส้นใยสับปะรดจากการแยกเชิงกลด้วยน้ำและสารเคมี เริ่มต้นด้วยการคัดเลือกใบสับปะรดอายุ 1 ปีขนาด 50-80 เซนติเมตร

จากนั้นทำการล้างและผึ่งให้แห้ง แยกเส้นใยเชิงกลด้วยเครื่องตีแยกเส้นใยกึ่งอัตโนมัติ และนำเส้นใยไปตากแห้ง หลังจากนั้นทำการปรับสภาพเส้นใยด้วยน้ำ แบบช่วงเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ หรือแบบสารเคมี ผลลัพธ์พบว่า การปรับสภาพด้วยสารเคมีทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเส้นใยที่ปรับสภาพด้วยน้ำ โดยเส้นใยที่มีการปรับสภาพด้วยสารเคมีมีขนาดลดลง ความละเอียดเพิ่มขึ้น และความหยาบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เส้นใยเกาะกันแน่น แยกออกจากกันยากขึ้น และมีสีเหลือง ส่งผลให้เส้นใยที่ได้จากการปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นวิธีการปรับปรุงเส้นใยที่ดีที่สุด โดยใช้ความเข้มข้นเพียงร้อยละ 1 และผลการทดสอบพบว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีเชิงกลแล้วปรับสภาพด้วยสารเคมีมีสมบัติที่ดีกว่าเส้นใยที่แยกด้วยวิธีเชิงกลแล้วปรับสภาพด้วยน้ำประปา ซึ่งสารเคมีทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติที่ดีกว่า เหมาะสำหรับการนำเส้นใยไปผลิตเป็นเส้นด้ายด้วยกระบวนการปั่นเส้นด้ายด้วยมือทำได้สะดวกกว่า

Oraphin Chaikumpollert และคณะ [41] การศึกษานี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติโปรตีนฟรี (PFNR) โดยการเตรียม PFNR จาก HANR และทำการกำจัดโปรตีนโดยการบ่มด้วยยูเรียร่วมกับโซเดียมโธเดซิลซัลเฟตและสารตัวทำละลาย เปรียบเทียบพบว่า การบ่มร่วมกับอะซิโตนให้ผลดีที่สุด โดยการปั่นเหวี่ยง 3 ครั้งพบว่าปริมาณไนโตรเจนลดลงเหลือ 0.053 wt% หลังจากครั้งที่ 1 และไม่พบไนโตรเจนหลังจากครั้งที่ 2 และที่ 3 ซึ่งสรุปได้ว่าการใช้อะซิโตนในการกำจัดโปรตีนให้ผลดีที่สุดสำหรับการเตรียม PFNR และการปั่นเหวี่ยงครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 สามารถลดปริมาณไนโตรเจนให้เป็นศูนย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อมูลที่ได้รับชัดเจนและน่าเชื่อถือ

จุฑารัตน์ นุ้ยหนู [42] การศึกษานี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับสมบัติของ NR โปรตีนต่ำที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน โดยเตรียม DPNR จาก HANR และกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียและสารลดแรงตึงผิว พบว่าการบ่มร่วมกับอะซิโตนให้ผลดีที่สุด และปริมาณไนโตรเจนลดลงเหลือ 0.05 wt% หลังจากการปรับสภาพ นอกจากนี้ การลดปริมาณโปรตีนยังได้รับการยืนยันโดยการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี นอกจากนี้ DPNR เคลือบพอลิเมอร์วัลคาไนซ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะเวลาและความเข้มข้นของพอลิเมอร์ 10 และ 20% ดังนั้น DPNR ที่ผ่านการปรับสภาพและเคลือบพอลิเมอร์วัลคาไนซ์ มีสมบัติเชิงกลที่ดีและเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการผลิตถุงมือยางและสินค้าอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมให้แข็งแรงและยืดหยุ่นในระดับที่ต้องการ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยในการเตรียมเส้นใยจากต้นกล้วย โดยการปรับพื้นผิวเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เพื่อกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน และฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide : H_2O_2) หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยฟอกขาวที่ได้มาทำการกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) และนำมาเสริมแรงให้กับน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ เริ่มจากเตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบต่าง ๆ และการทดสอบตัวอย่าง โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

- 3.1.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 วางแผนการดำเนินงาน
- 3.1.3 จัดเตรียมวัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง
- 3.1.4 จัดเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ
- 3.1.5 จัดเตรียมนาโนเซลลูโลสจากเส้นใยธรรมชาติ
- 3.1.6 จัดเตรียมวัสดุเชิงประจักษ์จากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส
- 3.1.7 เตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ และทดสอบสมบัติ
- 3.1.8 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง
- 3.1.9 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงาน

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

- 3.2.1 วัสดุและสารเคมี
 - 3.2.1.1 เส้นใยกล้วยกล้วย
 - 3.2.1.2 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
 - 3.2.1.3 สารไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2)
 - 3.2.1.4 สารกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)
 - 3.2.1.5 น้ำกลั่น (Distilled water)
 - 3.2.1.6 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 % (Potassium hydroxide, KOH)
 - 3.2.1.7 สารละลายกำมะถัน 50 wt% (Sulfur, S)
 - 3.2.1.8 สารละลายซิงค์เมอร์แคปโตเบนโซไทโอะล 50 wt% (Zinc-2-mercaptobenzothiazole, ZMBT)
 - 3.2.1.9 สารละลายซิงค์ออกไซด์ 50 wt% (Zinc Oxide, ZnO)

3.2.1.10 น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia natural rubber, HANR)

60 %DRC

3.2.1.11 น้ำกลั่น (Distilled water)

3.2.1.12 ยูเรีย (Urea)

3.2.1.13 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecylsulfate, SDS)

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน

3.2.2.1 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเหนือศีรษะ



รูปที่ 3.1 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเหนือศีรษะ

3.2.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด

3.2.2.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifugation)



รูปที่ 3.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง

3.2.2.4 ตู้อบ



รูปที่ 3.4 ตู้อบ

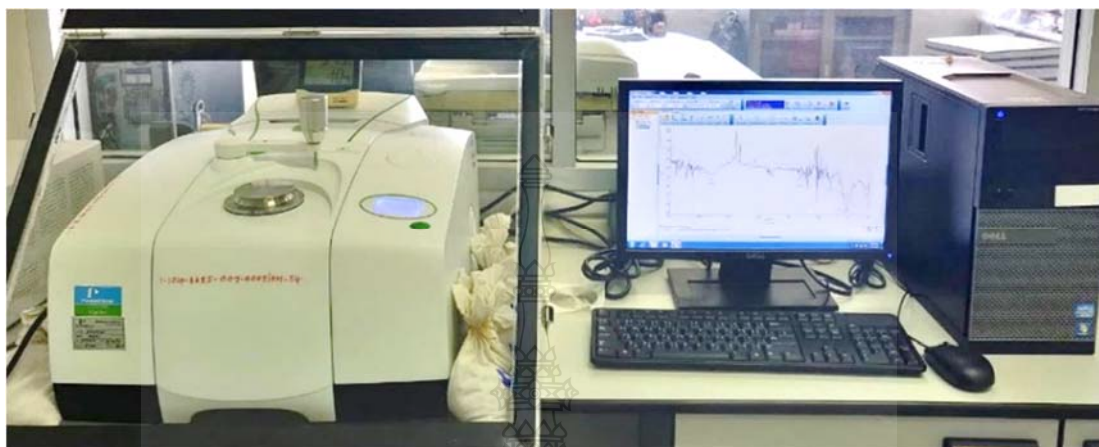
3.2.3 เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.3.1 ชุดทดสอบปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl's method



รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl's method

3.2.3.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR)



รูปที่ 3.6 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

3.2.3.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction, XRD)



รูปที่ 3.7 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

3.2.3.4 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (Nuclear magnetic resonance, NMR)



รูปที่ 3.8 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี

3.2.3.5 เครื่องทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 412



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบแรงดึง

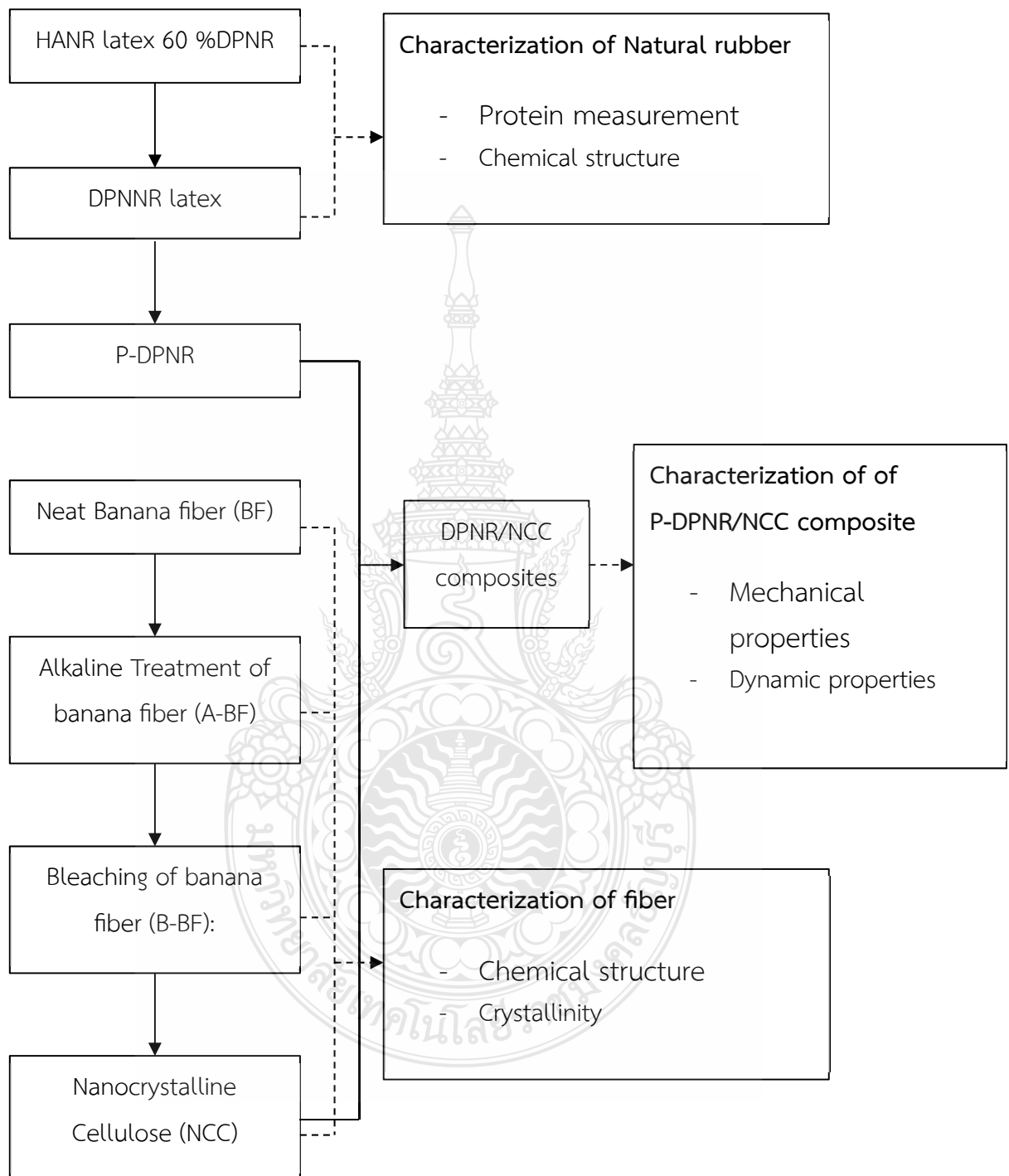
3.2.3.6 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตด้วยเทคนิค Dynamic Mechanical Analysis, DMA



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัต



3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

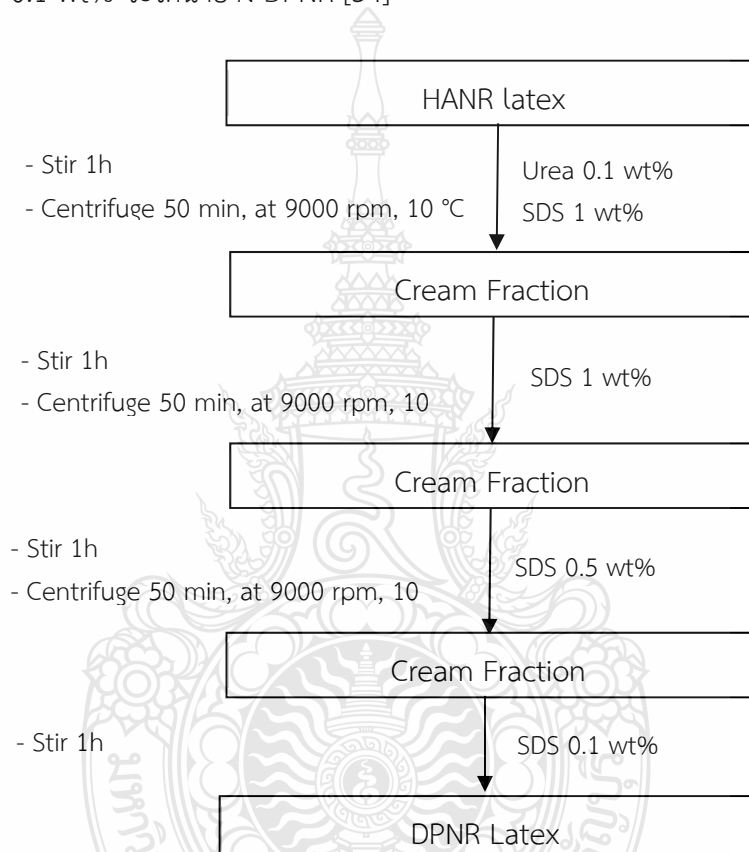


รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์จากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

3.4.1 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

เตรียมน้ำยาง HANR 30 %DRC ทำการกำจัดโปรตีนออกโดยการใส่สารละลาย SDS 1.0 wt% และสารละลายยูเรีย 0.1 wt% ปั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงครั้งที่ 1 ที่สภาวะ 9000 rpm เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นได้น้ำมันครีมของน้ำยาง เติมด้วยสารละลาย SDS 0.5 wt% ทำการปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง ล้างน้ำมันครีมยาง 2 ครั้ง ด้วยสารละลาย SDS 0.1 wt% จะได้น้ำยาง DPNR [34]

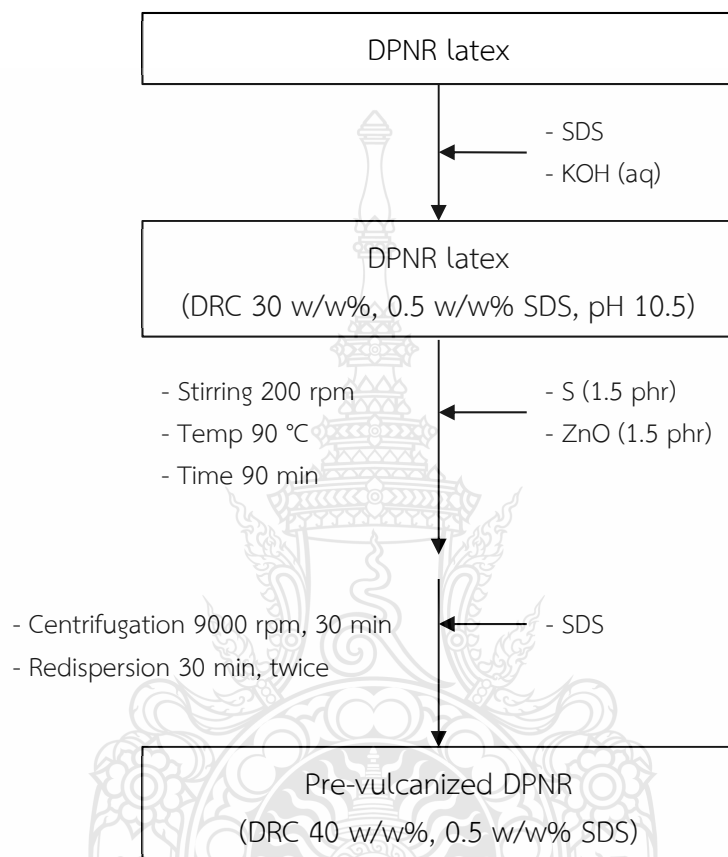


รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

3.4.2 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์

การพรีวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำถูกเตรียมในสถานะน้ำยาง โดยใช้น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (Deproteinized natural rubber, DPNR) เป็นวัตถุดิบหลัก โดยการเจือจางน้ำยาง DPNR ด้วยน้ำกลั่นเป็น 30 %DRC แล้วใส่ SDS 0.5 w/w% แล้วปรับค่า pH ของน้ำยางด้วยสารละลาย KOH จนกระทั่งน้ำยางมีค่า pH เป็น 10.5 แล้วเติมสารเคมีในยาง ได้แก่ 50 wt% Sulfur (S) 1.5 phr, 50 wt% Zinc oxide (ZnO) 1.5 phr และ Zinc diethyldithiocarbamate (ZDEC) 1.5 phr ดำเนินการโดยกวนน้ำยางที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

จะได้เป็นน้ำยางยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์ (Pre-vulcanized deproteinized natural rubber, P-DPNR) แล้วนำน้ำยาง P-DPNR ไปทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 9000 rpm เป็นเวลา 30 นาที ส่วนที่เป็นครีมจะถูกเจือจางอีกครั้งใน 0.5 w/w% SDS แล้วทำการหมุนเหวี่ยงอีกครั้งและส่วนที่เป็นครีมจะทำการใส่ 0.5 w/w% SDS อีกครั้ง เพื่อให้ได้ น้ำยาง P-DPNR 40 %DRC



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาง P-DPNR

3.5 ขั้นตอนการเตรียมนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลส

3.5.1 การเตรียมเส้นใยกล้วย (Neat Banana fiber, BF)

ตัดก้านกล้วยให้มีความยาว 3-5 เซนติเมตร แล้วมัดในเครื่องปั่นก่อนกรองและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.5.2 การปรับปรุงพื้นผิวด้วยด่าง (Alkaline Treatment of banana fiber, A-BF)

เส้นใยกล้วย (BF) ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH 4% เป็นเวลา 2 ชั่วโมงปั่นที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นในระหว่างการกรอง และจากนั้นนำไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาเวลา 24 ชั่วโมง

3.5.3 การฟอกขาวเส้นใย (Bleaching of banana fiber, B-BF)

เส้นใยกล้วยที่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยต่าง (A-BF) จะถูกฟอกด้วย H_2O_2 10% ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในขณะที่ปั่นที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นในระหว่างการกรอง และจากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

3.5.4 การเตรียมนานอคริสตัลไลน์เซลลูโลส (Nanocrystalline cellulose, NCC)

ทำการไฮโดรไลซิสเส้นใยที่ฟอกขาวแล้ว (B-BF) ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 56% v/v% ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงขณะ ปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที โดยมีอัตราส่วนเส้นใยต่อสารละลายกรดเท่ากับ 1:10 กรัม/มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นเจือจาง 10 เท่า เพื่อระบายความร้อนและลดปริมาณกรด จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงสามครั้งที่ 9000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อขจัดกรดออก [4] จากนั้นจึงได้รับ Nanocrystalline Cellulose (NCC) เป็นสารแขวนลอย แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 9000 rpm ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที เพื่อให้ได้เป็นเจล NCC ที่มีความเข้มข้น 6%

3.6 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์และนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลส (P-DPNR/NCC)

เตรียมวัสดุเชิงประกอบโดยน้ำยาง P-DPNR ถูกผสมเข้ากับ NCC ในปริมาณที่ต่างกัน คือ 0, 1.5, 3, 4.5 และ 5 phr แล้วนำไปเทลงในแม่พิมพ์ และนำไปอบสำหรับเตรียมตัวอย่างในการทดสอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

3.7 การทดสอบสมบัติ

3.7.1 การทดสอบน้ำยางธรรมชาติ

3.7.1.1 ขั้นตอนการเตรียม

- อัตราส่วนของ Catalyst ระหว่าง K_2SO_4 : CuSO_4 : Se เท่ากับ 15 : 2 : 1
- NaOH 67% w/v
- Boric acid 2% v/v

3.7.1.2 ขั้นตอนการทดสอบหาปริมาณโปรตีน

- ตัดยาง 0.1 กรัม ลงในขวด Kjeldahl
- ใส่ Catalyst 0.65 กรัม ลงในขวด Kjeldahl
- นำขวด Kjeldahl ไปยึดกับ Clamp เพื่อเตรียมเผา และใส่กรดซัลฟิวริก 2.5

มิลลิลิตร ลงในขวด Kjeldahl

- เผาขวด Kjeldahl ด้วยไฟที่เหมาะสม สังเกตการณ์เกิดปฏิกิริยา และรอจนกระทั่งสารเปลี่ยนเป็นสีเขียวใสจึงหยุดเผา

- ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับเกลือแอมโมเนียม

ซัลเฟต

ที่ได้จากการย่อยตัวอย่างแล้ว จะได้ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งจับก๊าซนี้ได้ด้วย
 สารละลายบอริก 10 มิลลิลิตร

- การไทเทรตเพื่อหาปริมาณไนโตรเจน (Titration) เป็นการนำสารละลายกรดบอริก 10 มิลลิลิตร จับก๊าซแอมโมเนียไว้จนขวดรูปชมพู่มีปริมาตรรวมเป็น 20 มิลลิลิตร
- หยดเมทิลเรด 2 หยดลงในสารละลาย
- ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู
- คำนวณหาปริมาณโปรตีนได้จากสูตร

$$(3.3) \quad \% \text{ไนโตรเจน (Total Nitrogen)} = [(A-B) \times C \times 0.014 \times 100] / D$$

$$(3.3) \quad \% \text{โปรตีน (Crude protein)} = \%N \times 6.25$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง
 B = ปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล ที่ใช้ไทเทรตกับ blank
 C = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก
 D = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3.7.2 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำยางด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทร

สโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

การใช้เทคนิค FTIR เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์เป็นการนำหลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดมาใช้ เมื่อรังสีดังกล่าวถูกดูดกลืนพลังงาน โมเลกุลของสารจะเกิดการหมุนและสั่นขึ้น ซึ่งการสั่นเหล่านี้อาจเป็นแบบยืด-หดหรือกาง-หุบมุม ทำให้เกิดเป็นฟิสิกการดูดกลืนพลังงานที่มีลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า Absorption Peak ที่มีค่าเลขคลื่น (Wave Number) ต่าง ๆ เป็นเอกลักษณ์ โมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะมีสเปกตรัมที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเป็นประโยชน์สำคัญในการพิสูจน์หาโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์

วิธีการทดสอบในช่วงความยาวคลื่น $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ โดยนำแผ่นยางที่เตรียมไว้มาตัดเป็นวงกลมให้มีขนาดพอดีกับที่ยึดขึ้นทดสอบ วางแผ่นยางตรงกลางของที่ยึดขึ้นทดสอบ จากนั้นขึ้นสกรูเพื่อให้ขึ้นทดสอบตึง นำขึ้นทดสอบไปวางตรงตำแหน่งที่ยึดขึ้นทดสอบของเครื่อง

3.7.3 การทดสอบเส้นใยธรรมชาติ

3.7.3.1 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำยางด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

การใช้เทคนิค FTIR เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์เป็นการนำหลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดมาใช้ เมื่อรังสีดังกล่าวถูกดูดกลืนพลังงาน โมเลกุลของสารจะเกิดการหมุนและสั่นขึ้น ซึ่งการสั่นเหล่านี้อาจเป็นแบบยืด-หดหรือกาง-หุบมุม ทำให้เกิดเป็นพีกการดูดกลืนพลังงานที่มีลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า Absorption Peak ที่มีค่าเลขคลื่น (Wave Number) ต่าง ๆ เป็นเอกลักษณ์ โมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะมีสเปกตรัมที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเป็นประโยชน์สำคัญในการพิสูจน์หาโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์

วิธีการทดสอบในช่วงความยาวคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$ โดยนำ Banana fiber, Alkaline Treatment of banana fiber, Bleaching of banana fiber และ Nanocrystalline cellulose ที่เตรียมไว้มาวางตรงกลางของที่วางขึ้นทดสอบ จากนั้นขึ้นสกรูเพื่อให้อันทดสอบตั้ง นำขึ้นทดสอบไปวางตรงตำแหน่งที่วางขึ้นทดสอบของเครื่อง

3.7.3.2 วิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffractometer, XRD) และเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (Nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR)

- เอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffractometer, XRD): X-ray Diffuser ใช้เพื่อกำหนดความเป็นผลึกของ NCC การตกผลึกของ NCC ถูกกำหนดโดยใช้เครื่องกระจายรังสีเอกซ์ที่มีแหล่งกำเนิดรังสี Cu-k ($\lambda = 1.54\text{ \AA}$) และแรงดันเร่ง 40kV ขั้นตอนคือ 0.04 ความเร็วในการรวบรวมข้อมูลคือ $1^\circ / \text{นาที่}$ แผนภูมิการเลี้ยวเบนจะได้รับในช่วงมุม $2\theta = 10^\circ - 90^\circ$ ดัชนีความเป็นผลึกจะได้รับจากความสูงของยอด 002 (I_{002} , $2\theta = 22.6^\circ$) และค่าความเข้มต่ำสุดระหว่าง 002 และ 11 ยอด (I_{AM} , $2\theta = 18^\circ$) โดยใช้เทคโนโลยี Segal (Eq.1) ที่ I_{AM} เป็นความเข้มต่ำสุดที่ $2\theta = 18$

$$\text{Crystalline index (CI): } \frac{I_{002} - I_{AM}}{I_{002}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

- นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (Nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR): ใช้ cross-polarization และ magic angle spinning (MAS) ในสเปกโตรมิเตอร์ 200MHz สเปกตรัม NMR ^{13}C ที่เป็นของแข็งจะได้รับที่ 4.7T โดยใช้โพลาริซชันแอมพลิฟายด์แปรผันทำให้ความเข้มของคาร์บอนอะโรมาติกที่ไม่ใช่โปรตอนซึ่งเปราะบางต่อความไม่สมดุลของ Hartmann Hahn ในอัตราการหมุน MAS ที่สูงขึ้นลดลง เปรียบเทียบการหมุนของโปรตอนทนต่อความลาดชัน 1dB ในขณะที่สนาม ^{13}C จับคู่ที่ 53.6kHz ความกว้างของการสแกน 20kHz และระยะเวลาในการรวบรวมคือ 0.051 วินาที MAS ที่ 6,500 เฮิรตซ์ สแกน 10,000 ถึง 20,000 ครั้งในระยะเวลา 1 วินาที

3.7.3.3 การทดสอบสมบัติวัสดุเชิงประกอบ

1) ทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง Universal testing machine ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D882 โดยการเตรียมตัวอย่างที่มีความหนาไม่เกิน 1 มิลลิเมตร และมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 20 และ 140 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2) ทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตด้วยเครื่อง DMA 8000 Dynamic Mechanical Analyze โดยการเตรียมตัวอย่างที่มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร และมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 10 และ 25 มิลลิเมตร



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบน้ำยาง

4.1.1 ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในน้ำยาง

จากการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (Deproteinized natural rubber) จากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia natural rubber) โดยการใช้ยูเรียร่วมกับสารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และทำการทดสอบหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในน้ำยางด้วยวิธี Kjeldahl ทำให้ทราบค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในน้ำยาง

ชนิดของน้ำยาง	ร้อยละไนโตรเจน (%N)	ร้อยละโปรตีน (%P)
HANR	0.380	2.375
DPNR	0	0

จากตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละไนโตรเจนและร้อยละโปรตีนที่มีในน้ำยาง HANR และ DPNR ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Kjeldahl พบว่า น้ำยาง HANR มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำยางร้อยละ 0.380 และปริมาณโปรตีนในน้ำยางร้อยละ 2.375 และน้ำยาง DPNR มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำยางร้อยละ 0 และปริมาณโปรตีนในน้ำยางร้อยละ 0 จะเห็นได้ว่าการลดปริมาณโปรตีนในน้ำยาง HANR โดยการบ่มด้วยยูเรียร่วมกับสารลดแรงตึงผิวโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตสามารถลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางได้จริง

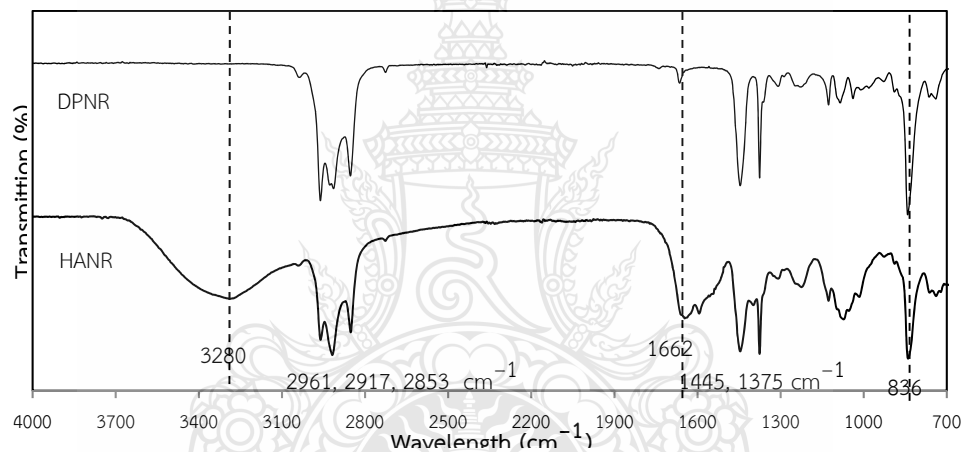
Nghiem Thi Thuong และคณะ [42] ได้ศึกษาการลดโปรตีนจากยางธรรมชาติในขั้นตอนน้ำยาง โดยใช้ยูเรีย, โซเดียมดอดซิลซัลเฟต (SDS) และอะซิโตนในการลดโปรตีน ผลลัพธ์จากการลดโปรตีนทำให้เนื้อหาโปรตีนในยางลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามจำนวนครั้งที่ใช้เครื่องปั่นแยกแรงเหวี่ยง อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยแสดงว่าโครงสร้างเคมีของโมเลกุลยางยังคงเหมือนเดิมหลังจากการลดโปรตีน แต่การลดโปรตีนช่วยเพิ่มความชัดเจนของสัญญาณ NMR และลดลงของเนื้อหาเจลและคุณสมบัติการยืดของยาง

Bhumini Than-ardna และคณะ [43] กระบวนการปรับปรุงยางพาราธรรมชาติที่ถูกลดโปรตีนออกแล้วด้วยกระบวนการล้างเพิ่มเติม โดยมีการใช้ยูเรียในการบ่มครั้งเดียวกับสารลดแรงตึงผิวและตัวทำละลายอินทรีย์ตามด้วยการล้าง หลังจากนั้น ยางพาราที่ถูกลดโปรตีนไปแล้ว มีปริมาณโปรตีนที่ต่ำกว่าการเตรียม D-SNRL โดยใช้วิธีขั้นตอนเดียว การบ่มด้วย SDS และการหมุนเหวี่ยงหลายรอบช่วยลดปริมาณโปรตีนลงได้อีก ผลการวิเคราะห์พบว่าการลดปริมาณไนโตรเจนในยางอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนถึงปริมาณโปรตีนที่ลดลงตามมา การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น FTIR และ SEM ยืนยันว่ามีการลดปริมาณโปรตีนในยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณสมบัติเชิงกลของยาง

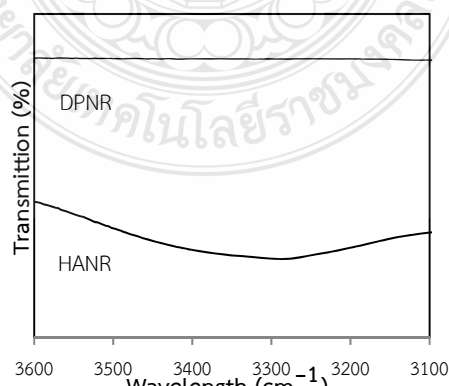
หลังจากการลดโปรตีนแสดงให้เห็นการลดลงของความแข็งแรงในการยึดขาด กระบวนการนี้อาจนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพาราที่มีโปรตีนต่ำสำหรับการใช้งานทางการแพทย์และประโยชน์อื่น ๆ

4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

การวิเคราะห์โครงสร้างของยางธรรมชาติ (HANR) และยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (DPNR) โดยใช้เทคนิค FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) เป็นหัวข้อวิจัยที่มีความสำคัญในการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของยางธรรมชาติเพื่อพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ งานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างของยางธรรมชาติโดยทั่วไปจะเน้นที่การหาความแตกต่างในกลุ่มฟังก์ชันทางเคมีระหว่างยางธรรมชาติทั่วไปกับยางธรรมชาติที่มีโปรตีนต่ำ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากการดูพิกในสเปกตรัม FT-IR ที่ตอบสนองต่อกลุ่มฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น พิกของกลุ่ม hydroxyl, carbonyl และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.1 สเปกตรัม FT-IR ของ HANR และ DPNR



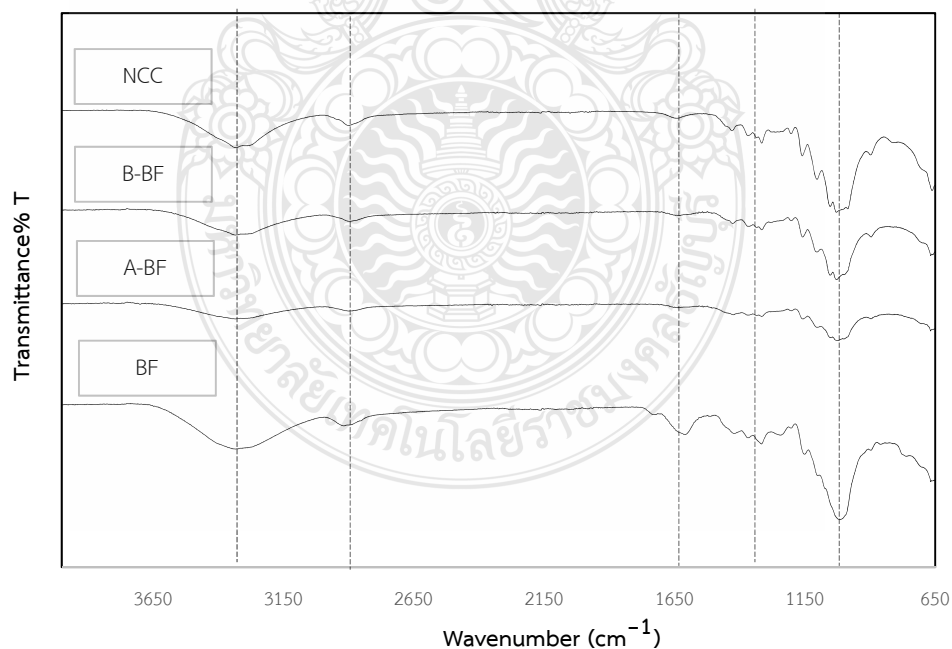
รูปที่ 4.2 สเปกตรัม FT-IR ของ HANR และ DPNR หลังกำจัดโปรตีน

ตารางที่ 4.2 พิกัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ของ HANR และ DPNR ที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่าง ๆ

Samples	Wavenumbers (cm ⁻¹)	Vibration modes
HANR, DPNR	3280	NH stretching
	2853	- CH ₂ symmetric stretching
	2917	- CH ₂ asymmertric stretching
	2961	- CH ₂ stretching
	1660	C=C stretching
	1440	C-H bending of CH ₂
	1375	C-H bending of CH ₃
	835	C-H wagging of isoprene unit
DPNR	3320	Mono or dipeptides

4.2 ผลการทดสอบเส้นใย

4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี



รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของ BF, A-BF, B-BF และ NCC

จากรูปที่ 4.3 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตัวอย่าง โดยเมื่อนำตัวอย่างของเส้นใย กล้ายก่อนผ่านกระบวนการปรับสภาพทางเคมี และเส้นใยกล้ายหลังผ่านกระบวนการปรับสภาพทางเคมี มาวิเคราะห์พันธะและโครงสร้างโมเลกุลด้วยสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด พบว่าสัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $3,300\text{ cm}^{-1}$ ถึง $3,600\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นของพันธะ O-H ในโหมด stretching ซึ่งเป็นพันธะเคมีของเซลลูโลสหรือน้ำ สัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $2,800\text{ cm}^{-1}$ ถึง $2,900\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นของพันธะ C-H ของเซลลูโลสในโหมด stretching สัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $1,725\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นของพันธะ C=O ในโหมด stretching ซึ่งพันธะ C=O พบในโมเลกุลของสารลิกนินที่ตัวอย่าง BF และ A-BF ซึ่งเป็นเส้นใยกล้ายก่อนทำการปรับสภาพและเส้นใยกล้ายที่ถูกทำปฏิกิริยาด้วยกรดอ่อน ส่วนที่ตัวอย่าง สัญญาณดังกล่าวซึ่งเป็นการยืนยันว่าตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีผลต่อการตัดสายพันธะ C=O ของกลุ่ม carboxylic ในสารลิกนิน

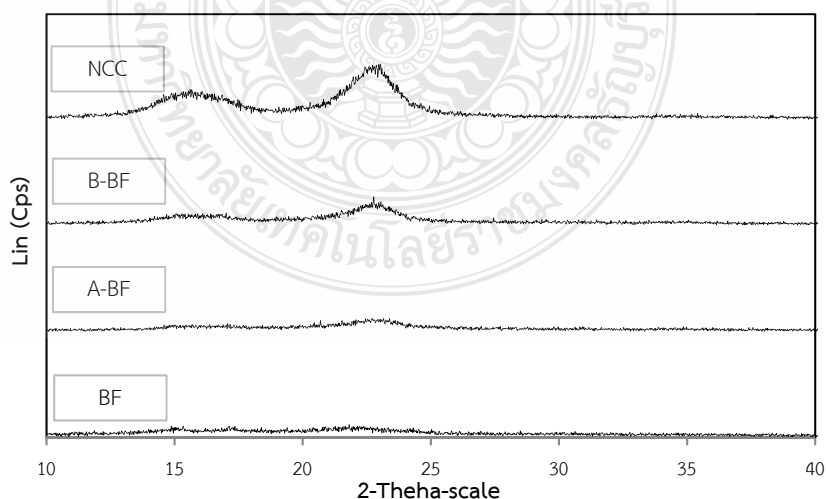
สัญญาณที่เลข คลื่นประมาณ $1,647\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นของพันธะ O-H ในโหมด stretching ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนพลังงานของ พันธะของน้ำในเซลลูโลสซึ่งพบในทั้งสามตัวอย่างแต่ในสารตัวอย่าง NCC มีสัญญาณเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเป็นผลึกไมโครเซลลูโลสทางการค้า สัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $1,521\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นของพันธะ C-C ในโหมด stretching ซึ่งเป็นลักษณะของวงอะโรมาติกของลิกนินซึ่งไม่พบที่ตัวอย่าง B-BF และ NCC ซึ่งเป็นการยืนยันอีกเช่นกันว่าไม่พบสารลิกนินหลังผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการเคมี สัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $1,360\text{--}1,375\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นในโหมด bending ของพันธะ CH₂ ซึ่งเป็นลักษณะของพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทเซลลูโลสและพบในทุกตัวอย่าง สัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $1,325\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นโหมด bending ที่รูปแบบ rocking ของพันธะ CH₂ ซึ่งเป็นลักษณะของเซลลูโลสและพบในทุกตัวอย่างเช่นกัน สัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $1,240\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นโหมด stretching ของพันธะ C=O ซึ่งเป็นลักษณะของลิกนิน โดยไม่พบในตัวอย่างหลังการปรับสภาพ สัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ 895 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นโหมด deformation ของพันธะ glycosidic ที่ตำแหน่ง $\beta\text{-}1,4$ เป็นลักษณะของเซลลูโลสที่พบในทุกสารตัวอย่าง สัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $828\text{--}832\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นโหมด Bending (Out of plane) ของพันธะ C-H เป็นลักษณะของลิกนิน ซึ่งไม่พบในตัวอย่างหลังผ่านการปรับสภาพ จากผลนี้เป็นการยืนยันว่าลิกนินถูกกำจัดออกไป

Hosne Ara Begum และคณะ [44] วิเคราะห์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสต่าง ๆ ผ่านกระบวนการทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสีย้อมปฏิกิริยา การศึกษาโดยใช้เทคนิคการสเปกโทรสโกปี FTIR ATR ได้

แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงกลุ่มฟังก์ชันบนผิวของเส้นใยเหล่านี้ ซึ่งรวมถึงการถูกกำจัดออกของเปกติน, ลิกนิน, กิ่งเซลลูโลส, น้ำมัน, และซีฟิ่ง เป็นต้น จากผิวของเส้นใยเหล่านี้ การเปรียบเทียบความเข้มของจุดสูงสุดของคาร์บอนิลที่เกิดจากการปรับปรุงด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างเคมีหลังการรักษาเช่นกัน นอกจากนี้ การวิจัยยังพิจารณาการเปลี่ยนแปลงหลังจากการย้อมด้วยสีย้อมปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การศึกษานี้ช่วยให้เข้าใจถึงความแตกต่างในการตอบสนองต่อการปรับปรุงทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสจากแหล่งที่มาต่าง ๆ รวมทั้งความเหมาะสมของกระบวนการทางเคมีสำหรับแต่ละประเภทของเส้นใย

Ezeh M. Ernest และคณะ [45] ศึกษาการใช้สารเคมีบางอย่างเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเส้นใยกล้วยเพื่อการผลิตวัสดุผสมที่ดีขึ้น โดยเน้นการทดสอบผลกระทบของการปรับปรุงทางเคมีต่อคุณสมบัติทางกล, การวิเคราะห์เคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยกล้วย การปรับปรุงเส้นใยกล้วยด้วยสารเคมีที่ใช้ในการศึกษานี้รวมถึงอัลคาไล, พोटัสเซียมเปอร์แมงกาเนต, และกระบวนการอะซิเทเลชัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความหนาของพื้นผิวเส้นใยเพิ่มขึ้นและลดคุณสมบัติดูดซึมน้ำ การวิเคราะห์ด้วย FT-IR ยืนยันการกำจัดสารเช่นเปกติน, ลิกนิน, กิ่งเซลลูโลส, น้ำมัน, และซีฟิ่งออกจากเส้นใยได้ในระดับหนึ่ง นอกจากนี้การเสริมความแข็งแรงให้กับเส้นใยก็ถูกทำให้ดีขึ้นจากการเพิ่มเนื้อหาของเซลลูโลสในเส้นใยกล้วย ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงในแง่ของการดึงและความยืดหยุ่น การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้เส้นใยกล้วยที่ได้รับการปรับปรุงทางเคมีเป็นวัสดุเสริมสำหรับการผลิตวัสดุผสมในอุตสาหกรรม

4.2.2 วิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffractometer, XRD)

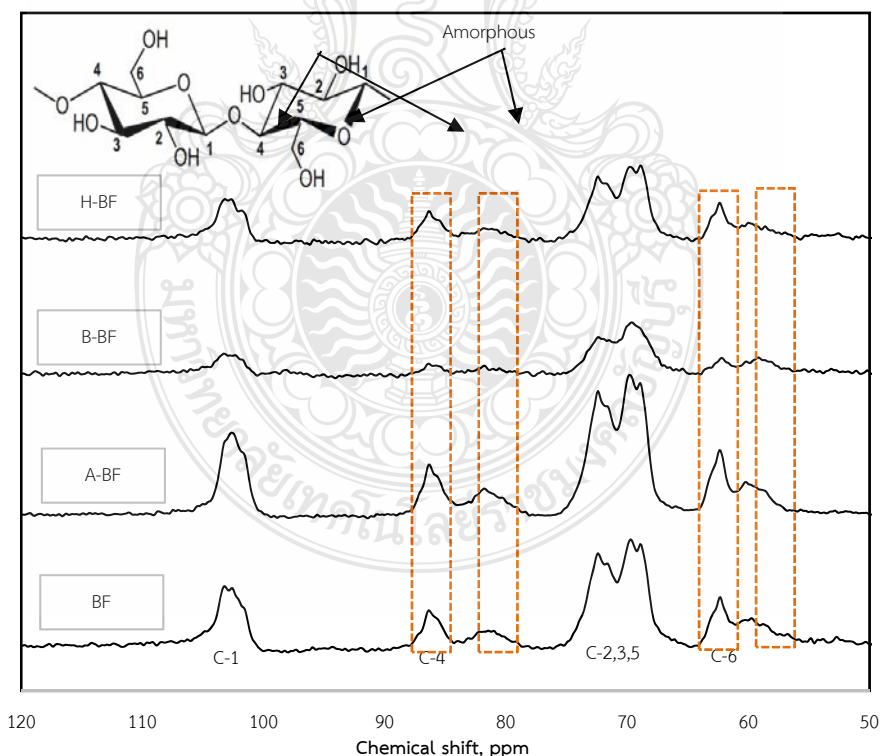


รูปที่ 4.4 สเปกตรัม X-RD ของ BF, A-BF, B-BF และ NCC

จากรูปที่ 4.4 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เชิงเปรียบเทียบรูปแบบของ BF, A-BF, B-BF และ NCC ปกติ 22° และจุดสูงสุด 15° ซึ่งตรงกับ 110 และ 200 ระนาบผลึกเซลลูโลสอาจถูกตรวจพบได้ทั้งหมดตัวอย่างและบ่งบอกถึงผลึกของเซลลูโลสโครงสร้าง BF, A-BF, B-BF และ NCC พบว่ามีดัชนีผลึก (CI) เป็น 46.67, 77.08, 81.25 และ 88.10% ตามลำดับ

Zhijun Hu และคณะ [46] ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นผลึกของนาโนเซลลูโลสที่ได้จากเส้นใยไม้ไผ่ หลังจากการผ่านกระบวนการทางเคมีและกล เพื่อทำการแยกเส้นใยในระดับนาโน มีการเตรียมตัวอย่างโดยการบีบอัดผงเป็นเม็ด และวัดค่าด้วย XRD ผลการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มกลุ่มคาร์บอกซิลทำให้การแยกเส้นใยมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากมีปฏิกิริยาไฮออนระหว่างกลุ่มคาร์บอกซิเลตในโมเลกุลเซลลูโลส การเพิ่มกลุ่มคาร์บอกซิลไม่เพียงแต่ช่วยลดความเป็นผลึกในบริเวณที่ไม่มีระเบียบเท่านั้น แต่ยังส่งผลให้โดเมนความเป็นผลึกต่าง ๆ ได้รับผลกระทบจากการปรับปรุงด้วย นี่แสดงให้เห็นว่ามีการทำลายความเป็นผลึกและกระบวนการแยกเส้นใยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.2.3 วิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR) ในสถานะของแข็ง



รูปที่ 4.5 สเปกตรัม NMR ของ BF, A-BF, B-BF และ NCC

เพื่อวิเคราะห์ค่า Crystalline index (CI) ของตัวอย่างเซลลูโลส ใช้วิธีการทดสอบแบบของแข็งของ ^{13}C NMR พบว่าจุดสูงสุดที่ 89 ppm ในสเปกตรัม NMR ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงถึงคาร์บอน C4 ในโครงสร้างเซลลูโลสตามลำดับ ในขณะที่จุดสูงสุดที่ 84 ppm ในโครงสร้างเซลลูโลสที่เป็นมาตรฐานแสดงถึงคาร์บอน C4

Sunkyu Park และคณะ [47] ศึกษาวิธีการวัดดัชนีความเป็นผลึก (Crystallinity Index, CI) ของเซลลูโลสและผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเอนไซม์เซลลูเลสในการย่อยเซลลูโลส แนวทางที่ใช้ในการวัด CI นี้รวมถึงเทคนิค X-ray diffraction (XRD) และ Nuclear magnetic resonance (NMR) โดยมีการใช้เซลลูโลสจากแหล่งต่าง ๆ แปรประเภทเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ วิธีการ XRD ที่ใช้ประกอบด้วยการวัดสัดส่วนความสูงของพีค (Peak height method), การกำจัดส่วนอะมอร์ฟัสออกจากสเปกตรัม (Amorphous subtraction method) และการใช้ซอฟต์แวร์ในการแยกพีคอะมอร์ฟัสและคริสตัลไลน์ (Deconvolution method) ผลจากการวิจัยพบว่าค่า CI ที่ได้จากวิธีการวัดที่ต่างกันนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมาก และแสดงให้เห็นว่าวิธีการวัดที่ใช้มีผลต่อการตีความคุณสมบัติการย่อยสลายของเซลลูโลสโดยเอนไซม์ วิธีการที่ง่ายที่สุดและได้รับความนิยมมากที่สุดคือการวัดสัดส่วนความสูงของพีคแต่ มักจะให้ค่า CI ที่สูงกว่าวิธีอื่น การศึกษานี้แนะนำว่าวิธีการ XRD และ NMR ที่พิจารณาส่วนของเซลลูโลสอะมอร์ฟัสและคริสตัลไลน์อย่างครบถ้วนสามารถให้ค่าการวัดที่แม่นยำกว่า นอกจากนี้ แม้ว่าเซลลูโลสที่มีส่วนอะมอร์ฟัสสูงมักจะย่อยได้ง่ายกว่าด้วยเอนไซม์ แต่ยังไม่ชัดเจนว่า CI ให้ข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับความสามารถในการย่อยของตัวอย่างเซลลูโลส การเข้าถึงเซลลูโลสของผนังเซลล์พืชต่อเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการย่อยเซลลูโลสดูเหมือนจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการกำหนดอัตราการย่อย

4.3 การทดสอบวัสดุเชิงประกอบ

4.3.1 สมบัติเชิงกล

ตารางที่ 4.3 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

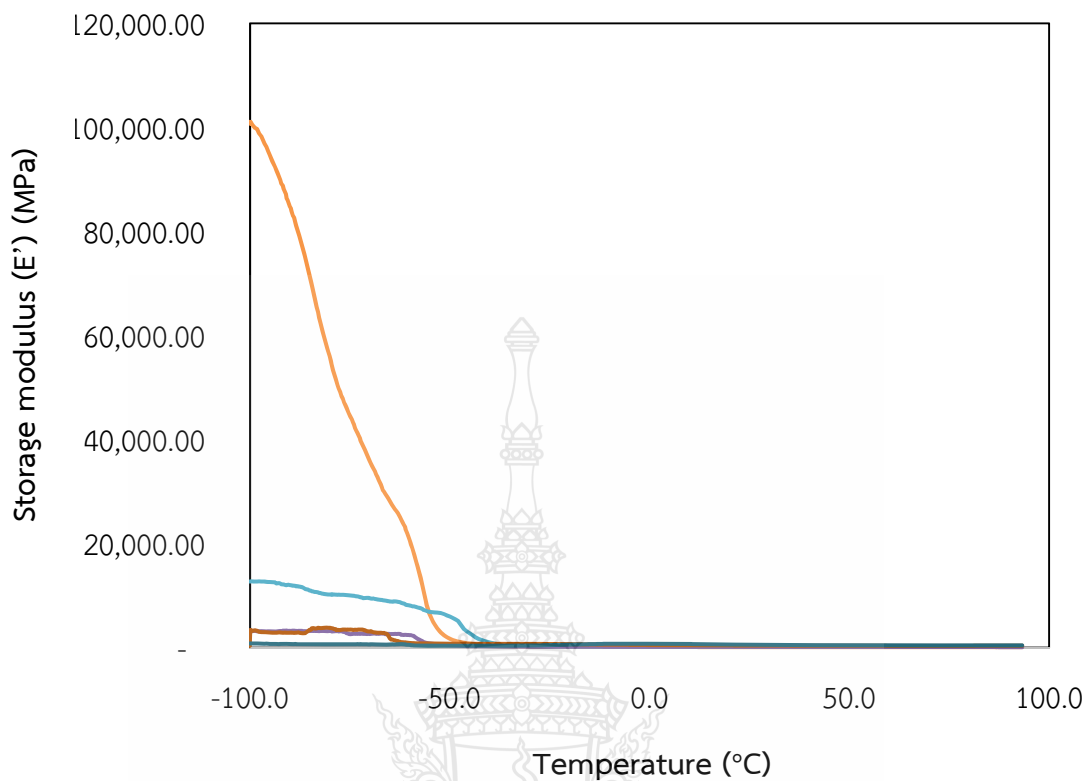
Properties	DPNR	DPNR	DPNR	DPNR	DPNR
	/NCC (0%)	/NCC (1.5%)	/NCC (3.0%)	/NCC (4.5%)	/NCC (5.0%)
Modulus	1.8±0.09	2.35±0.06	3.15±0.10	4.2±0.07	5.15±0.09
100%, MPa					

Properties	DPNR /NCC (0%)	DPNR /NCC (1.5%)	DPNR /NCC (3.0%)	DPNR /NCC (4.5%)	DPNR /NCC (5.0%)
Modulus 300%, MPa	2.55±0.08	3.8±0.11	4.65±0.08	5.55±0.09	6.85±0.06
Modulus 500%, MPa	3.6±0.05	4.95±0.11	5.7±0.09	6.45±0.12	7.1±0.09
Tensile strength, MPa	3.64±0.06	3.7±0.05	4.35±0.08	4.8±0.08	5.25±0.07
Elongation at break, %	840±0.10	435±0.09	420±0.07	250±0.05	120±0.11

โดยปกติแล้วยางธรรมชาติจะเสริมด้วยสารอนินทรีย์ฟิลเลอร์แสดงความยืดหยุ่นและกลไกที่ดีเยี่ยมคุณสมบัติและสามารถตอบสนองความต้องการของการใช้งานได้ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางกลของ DPNR/NCC คอมโพสิต ความต้านทานแรงดึงและโมดูลัสที่ 100%, 300% และ 500% ของนาโนคอมโพสิต DPNR/ NCC เพิ่มขึ้นด้วยเนื้อหา NCC เพิ่มขึ้น NCC เสริมด้วย NCC ที่ 5wt% แสดงค่าสูงสุดของความต้านทานแรงดึงที่ 5.25 MPa ในขณะที่การยืดตัวที่จุดขาด คือต่ำกว่า DPNR ถึง 120%

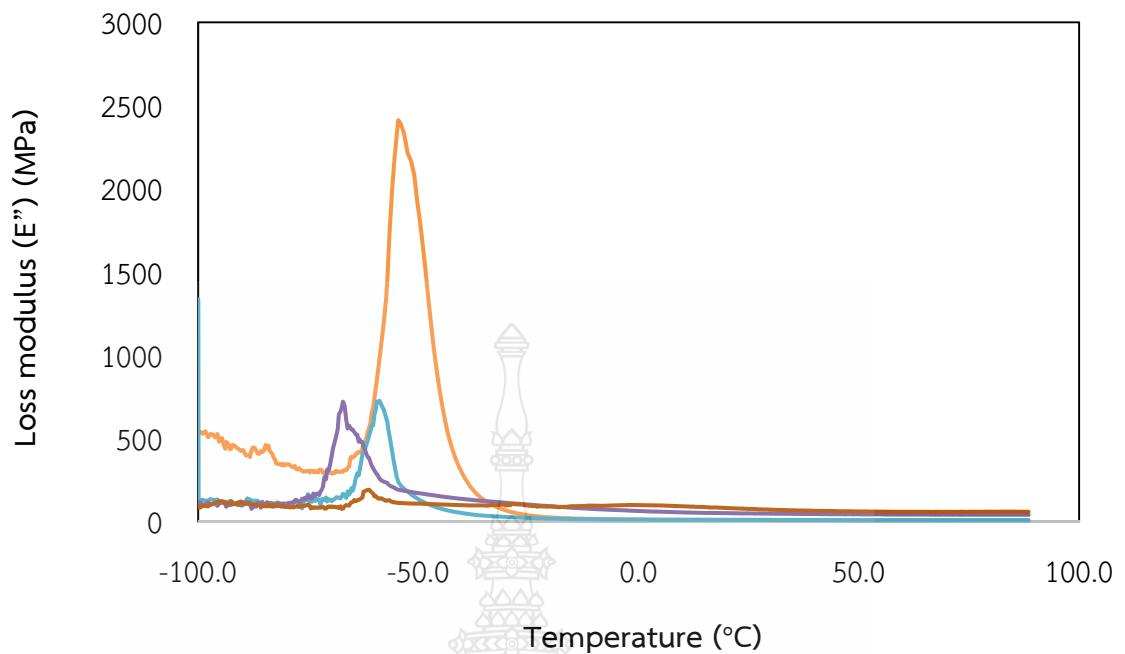
4.3.2 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุเชิงประกอบน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลส

งานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณ NCC ที่ผสมลงไปในน้ำยาง DPNR ที่มีต่อสมบัติเชิงพลวัตของวัสดุ โดยจะใช้เทคนิค Dynamic mechanical analysis (DMA) ในการวิเคราะห์ค่า Storage modulus (E'), Loss modulus (E'') และ Tan δ ของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณ NCC ต่างกัน ซึ่งผลจะแสดงในรูปต่อไปนี้

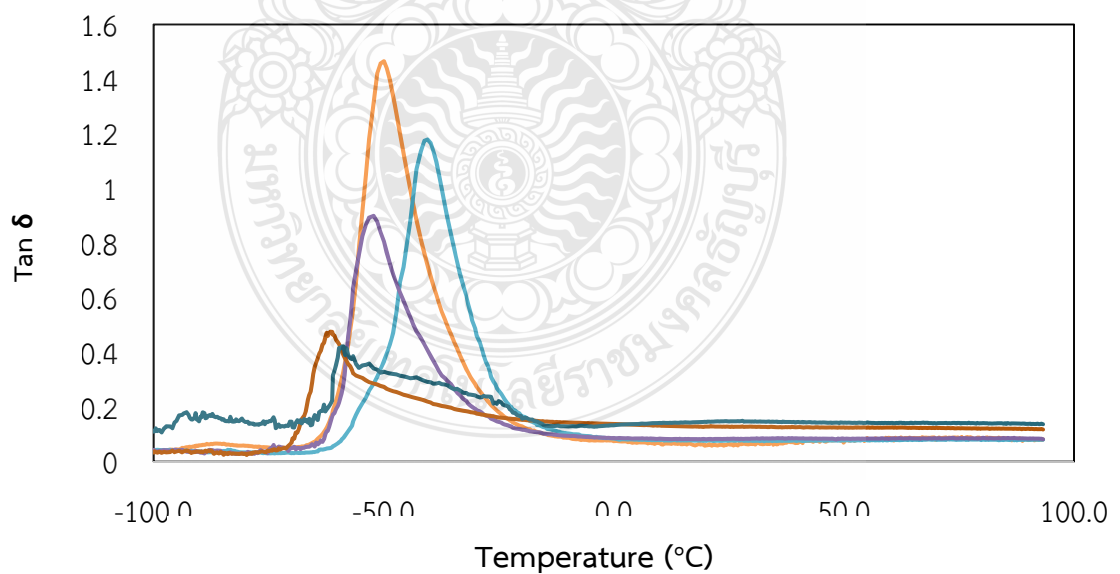


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Storage modulus (E') กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของ DPNR, DPNR/1.5%NCC, DPNR/3%NCC, DPNR/4.5%NCC และ DPNR/5%NCC

จากรูปที่ 4.6 พบว่าผลของปริมาณ NCC ที่ส่งผลต่อค่า Storage modulus (E') ของวัสดุเชิงประกอบจากน้ำยาง DPNR และ NCC มีความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผันตามกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณ NCC ที่ผสมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่า Storage modulus (E') ของวัสดุเชิงประกอบจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ ค่า Storage modulus (E') จะบอกถึงการตอบสนองแบบ Elastic หรือบอกค่าความแข็งทื่อ (Stiffness) ของวัสดุคอมโพสิต การเติม NCC ลงไปใน P-DPNR จะทำให้วัสดุโดยรวมมีความแข็งทื่อ (Stiffness) มากขึ้นเนื่องจาก NCC ที่เติมลงไปจะไปทำหน้าที่ขัดขวางการเคลื่อนไหวยของโมเลกุลพอลิเมอร์ ยิ่งเพิ่มปริมาณไ้การผสมให้มากขึ้นจะยิ่งทำให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนไหวยมากยิ่งขึ้นทำให้วัสดุมีความแข็งทื่อมากยิ่งขึ้น ค่า Storage modulus (E') ของวัสดุคอมโพสิตจึงมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณ NCC ที่ใช้ในการผสมมีมากขึ้น



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Loss modulus (E'') กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของ DPNR, DPNR/1.5%NCC, DPNR/3%NCC, DPNR/4.5%NCC และ DPNR/5%NCC



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tan δ กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของ DPNR, DPNR/1.5%NCC, DPNR/3%NCC, DPNR/4.5%NCC และ DPNR/5%NCC

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl และ FTIR พบว่าวิธีดังกล่าวสามารถลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางได้จริง และผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่านาโนเซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงกว่าเส้นใยกล้วยถึง 1.89 เท่า หลังจากนั้นศึกษาสมบัติทางกล และสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุเชิงประกอบจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ/นาโนเซลลูโลส พบว่ามีค่าความทนต่อแรงดึง เพิ่มขึ้น 1.5 เท่า เมื่อเพิ่มนาโนเซลลูโลส 5 wt% ในน้ำยางโปรตีนต่ำ ในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง และพบว่าปริมาณนาโนเซลลูโลสที่ถูกเพิ่มเข้ามาในน้ำยางโปรตีนต่ำมีความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผันตามกันต่อค่า Storage modulus (E') กล่าวคือ เมื่อปริมาณนาโนเซลลูโลสที่ผสมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่า Storage modulus (E') ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ส่งผลให้วัสดุนี้มีความทนต่อแรงดึงมากขึ้น และมีคุณสมบัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงไม่ก่อให้เกิดอาหารแพ้สำหรับผู้ใช้งาน ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์การผลิตถุงมือยางเป็นอย่างมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ใช้เส้นใยกล้วยที่ผ่านเครื่องกระบวนกรสับด้วยเครื่องจักรกล

5.2.2 มีการประยุกต์นำส่วนต่าง ๆ ของต้นกล้วยมาใช้งาน เช่น ใบกล้วย, ต้นกล้วยทั้งต้นที่ผ่านการบดหรือสับมาแล้ว

บรรณานุกรม

- [1] M. Szyman'ska-Chargot et al., "Effect of ultrasonication on physicochemical properties of apple based nanocellulose-calcium carbonate composites," *Cellulose*, Vol. 25, pp. 4603-462, 2018
- [2] M. Szyman'ska-Chargot et al., "Influence of chitosan addition on the mechanical and antibacterial properties of carrot cellulose nanofibre film," *Cellulose*, Vol. 26, pp. 9613-9629, 2019
- [3] D. Yi Sern Low et al., "Recent Developments in Nanocellulose-Reinforced Rubber Matrix Composites: A Review," *Polymers*, Vol. 13, pp. 550, 2021
- [4] S. Liu et al., "Extraction process and characterization of Taraxacum kok-saghyz (TKS) latex," *Heliyon*, Vol. 10, pp. e25351, 2024
- [5] M. P. Clark et al., "Development of new pyrrolopyrimidine-based inhibitors of Janus kinase 3 (JAK3)," *Bioorg Med Chem Lett*, Vol. 17, pp. 1250-1253, 2007
- [6] V. Dananjaya et al., "Effects of latex type and processed-mica waste loading on the structural and thermo-physical properties of natural rubber latex foam composites," Vol. 7, pp. 450-466, 2024
- [7] B. Saba et al., "Base-dependent flocculant treatment improves the extraction of latex from guayule," *Environmental Technology & Innovation*, Vol. 32, pp. 103388, 2023
- [8] W. F. Neto et al., "Mechanical properties of natural rubber nanocomposites reinforced with high aspect ratio cellulose nanocrystals isolated from soy hulls," *Carbohydr Polym*, Vol. 153, pp. 143-152, 2016
- [9] M. Dominic et al., "Green tire technology: Effect of rice husk derived nanocellulose (RHNC) in replacing carbon black (CB) in natural rubber (NR) compounding," *Carbohydr Polym*, Vol. 230, 2020
- [10] N. M. F. Hakimi et al., "Surface Modified Nanocellulose and Its Reinforcement in Natural Rubber Matrix Nanocomposites: A Review," *Polymers*, Vol. 13, pp. 3241, 2021
- [11] S. Duangsuwan et al., "Development of Green Leather Alternative from Natural Rubber and Pineapple Leaf Fiber," *Sustainability*, Vol. 15, pp. 1521-15400, 2023

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] A. Smejda-Krzewicka et al., "Effect of Modified and Unmodified Oak Bark (Quercus Cortex) on the Cross-Linking Process and Mechanical, Anti-Aging, and Hydrophobic Properties of Biocomposites Produced from Natural Rubber (NR)," *Materials*, Vol. 17, pp. 1709-1968, 2024
- [13] B. Parambath Kanoth et al., "Biocomposites from Natural Rubber: Synergistic Effects of Functionalized Cellulose Nanocrystals as Both Reinforcing and Cross-Linking Agents via Free-Radical Thiol-ene Chemistry," *ACS Appl Mater Interfaces*, Vol. 7, pp. 16303-16310, 2015
- [14] P. Yu et al., "Reinforcement of Natural Rubber: The Use of in Situ Regenerated Cellulose from Alkaline-Urea-Aqueous System," *Macromolecules*, Vol. 50, pp. 7211-7221, 2017
- [15] M. P. D. Guillén Colombari Dds et al., "Actinic Cheilitis: Report of Three Cases and Review of Literature," *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, Vol. 20, pp. 33-42, 2018
- [16] H. M. Ditzel et al., "Danish translation and validation of the Geriatric 8 and the modified Geriatric 8 screening tools," *J Geriatr Oncol*, Vol. 13, pp. 1268-1272, 2022
- [17] B. R. Harisma et al., "Utilization of herbivore defensive latex from the weed *Calotropis procera* L in the green synthesis of silver nanoparticles and its potential application in the control of dengue vector *Aedes aegypti*," *Journal of Natural Pesticide Research*, 2024
- [18] M. W. E. Frenken et al., "Accidental rupture of membranes and neonatal infection after labor induction with silicone or latex balloon catheters: A retrospective cohort study," *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, Vol. 291, pp. 123-127, 2023
- [19] B. A. Admass et al., "Management of perioperative anaphylaxis: Systematic review," *International Journal of Surgery Open*, Vol. 52, 2023
- [20] R. Deval et al., "Natural rubber latex allergy," *Indian J Dermatol Venereol Leprol*, Vol. 74, 2008
- [21] C. Xia et al., "The NCC mathematical modeling framework for decision-making of six major cancers," *Journal of the National Cancer Center*, Vol. 3, pp. 35-47, 2023

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [22] M. P. Clark et al., "Development of new pyrrolopyrimidine-based inhibitors of Janus kinase 3 (JAK3)," *Bioorg Med Chem Lett*, Vol. 17, pp. 1250-1253, 2007
- [23] A. B. Carlson et al., "Protein familiarity is a fundamental but rarely operationalized concept in the safety assessment of genetically modified crops: example of phosphomannose isomerase (PMI)," *Transgenic Res*, Vol. 32, pp. 423-435, 2023
- [24] P. Krotka et al., "NCC: An R-package for analysis and simulation of platform trials with non-concurrent controls," *SoftwareX*, Vol. 23, 2023
- [25] C. P. Mattison et al., "Mps1 activation loop autophosphorylation enhances kinase activity," *J Biol Chem*, Vol. 282, pp. 30553-30561, 2007
- [26] L. Pavic et al., "Alterations in brain activation in posttraumatic stress disorder patients with severe hyperarousal symptoms and impulsive aggressiveness," Vol. 253, pp. 80-83, 2003
- [27] Z. Si et al., "Theoretical investigation of group-IV binary compounds in the P4/ncc phase," *Results in Physics*, Vol. 26, 2021
- [28] E. Mulugeta et al., "Synthesis of Benzimidazole-Sulfonyl Derivatives and Their Biological Activities," *Biochem Res Int*, 2022
- [29] A. B. Temizer, et al., "Exploring data-driven chemical SMILES tokenization approaches to identify key protein-ligand binding moieties," *Mol Inform*, Vol. 43, 2024
- [30] Z. A. Zianor Azrina et al., "Spherical nanocrystalline cellulose (NCC) from oil palm empty fruit bunch pulp via ultrasound assisted hydrolysis," *Carbohydrate Polymers*, Vol. 162, pp. 115-120, 2017
- [31] S. N. Kasa et al., "Morphology, Thermal and Chemical Properties of Nanocrystalline Cellulose (NCC) Hydrolyzed from Banana Stem," *Materials Science Forum*, Vol. 840, pp. 257-261, 2016
- [32] M. Yu et al., "Preparation and Characterization of Bamboo Nanocrystalline Cellulose." *BioResources*, Vol. 7, pp. 1802-1812, 2012
- [33] N. F. Meor Azlan al., "Regulatory control of the Na-Cl co-transporter NCC and its therapeutic potential for hypertension," *Acta Pharm Sin B*, Vol. 11, pp. 1117-1128

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [34] S. Mo et al., "High sodium chloride affects BMP-7 and 1 α -hydroxylase levels through NCC and CLC-5 in NRK-52E cells," *Ecotoxicol Environ Saf*, Vol. 225, 2021
- [35] W. Ariyawiriyanan et al., "The Mechanical Properties of Vulcanized Deproteinized Natural Rubber," Vol. 34, pp. 728-733, 2013
- [36] L. Rosenbaek et al., "Phosphorylation decreases ubiquitylation of the thiazide-sensitive cotransporter NCC and subsequent clathrin-mediated endocytosis," *J Biol Chem*, Vol. 289, pp. 13347-13361, 2014
- [37] Y. Sekii, et al., "Dietary Salt with Nitric Oxide Deficiency Induces Nocturnal Polyuria Via Activated Intrarenal Oxidative Stress-Spak-Ncc Pathway: Amelioration by a Novel Antioxidant," *Si-Based Agent. Continence*, Vol. 2, 2022
- [38] N. H. Yusof et al., "Soluble protein-free natural rubber latex prepared using guanidine hydrochloride as a denaturant," *Journal of Rubber Research*, Vol. 26, pp. 99-109, 2023
- [39] N. Hayeemasae et al., "Influence of Centrifugation Cycles of Natural Rubber Latex on Final Properties of Uncrosslinked Deproteinized Natural Rubber," *Polymers*, Vol. 14, 2022
- [40] N. H. Yusof et al., "Soluble protein-free natural rubber latex prepared using guanidine hydrochloride as a denaturant," *Journal of Rubber Research*, Vol. 26, pp. 99-109, 2023
- [41] N. H. Yusof et al., "Preparation and characterisation of liquid epoxidised natural rubber in latex stage by chemical degradation," *Journal of Rubber Research*, Vol. 24, pp. 93-106, 2021
- [42] N. T. Thuong et al., "Removal of Proteins and Its Effect on Molecular Structure and Properties of Natural Rubber," *JST: Engineering and Technology for Sustainable Development*, Vol. 32, pp. 8-15, 2022
- [43] B. Than-ardna et al., "Improving deproteinized skim natural rubber latex with a further leaching process," *Carbohydrate Polymers*, Vol. 46, pp. 64-71, 2019
- [44] H. A. Begum et al., "Investigation of Functional Properties Changing in Different Chemical Treatments of Various Cellulosic Fibers Using FTIR," *Chemical Engineering Journal*, Vol. 2, pp. 280-285, 2017

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [45] E. M. Ernest et al., “Application of selected chemical modification agents on banana fibre for enhanced composite production,” *Cleaner Materials*, Vol. 5, pp. 100-131, 2022
- [46] Z. Hu et al., “Preparation and Characterization of Nanofibrillated Cellulose from Bamboo Fiber via Ultrasonication Assisted by Repulsive Effect,” *International Journal of Polymer Science*, Vol. 2017, pp. 1-9, 2017
- [47] H. G. Lee et al., “Innovative food-upcycling solutions: Comparative analysis of edible films from kimchi-extracted cellulose, sorbitol, and citric acid for food packaging applications,” *Food Chem*, Vol. 450, pp.139-267, 2024
- [48] A. Khouaja al., “Study of the dielectric and chemical properties of cellulose bio-based composites,” *Industrial Crops and Products*, Vol. 214, 2024



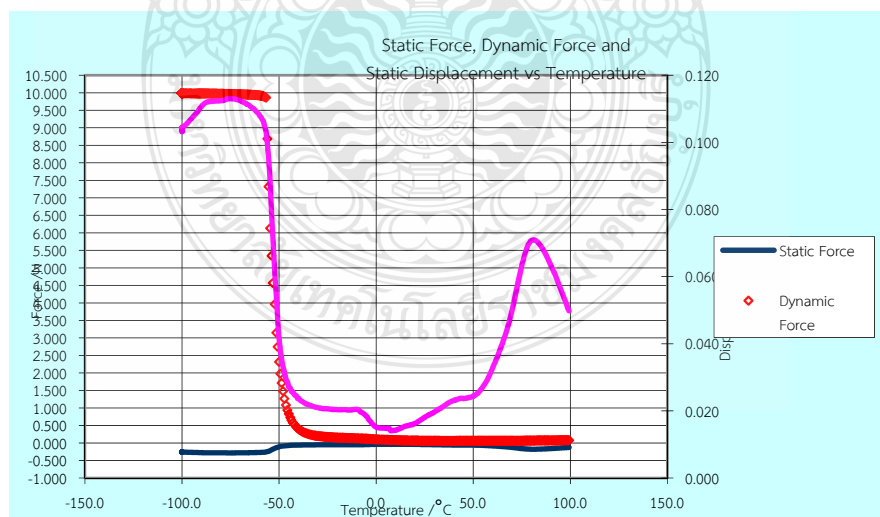
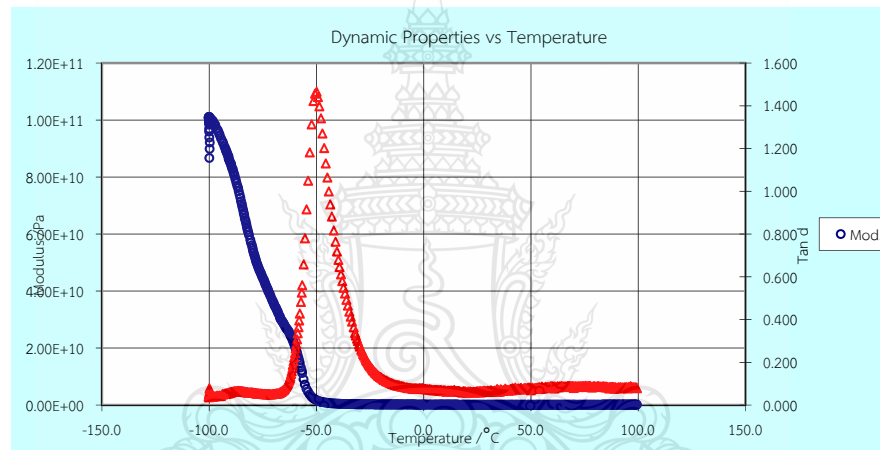
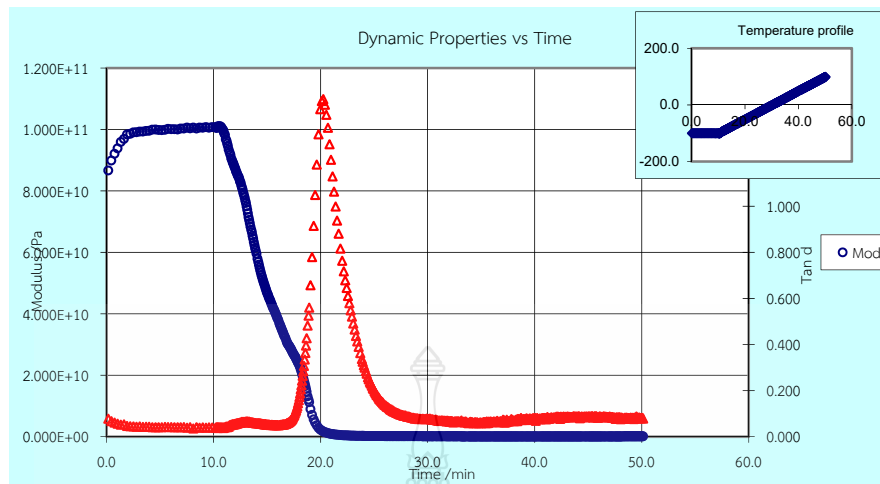
ภาคผนวก



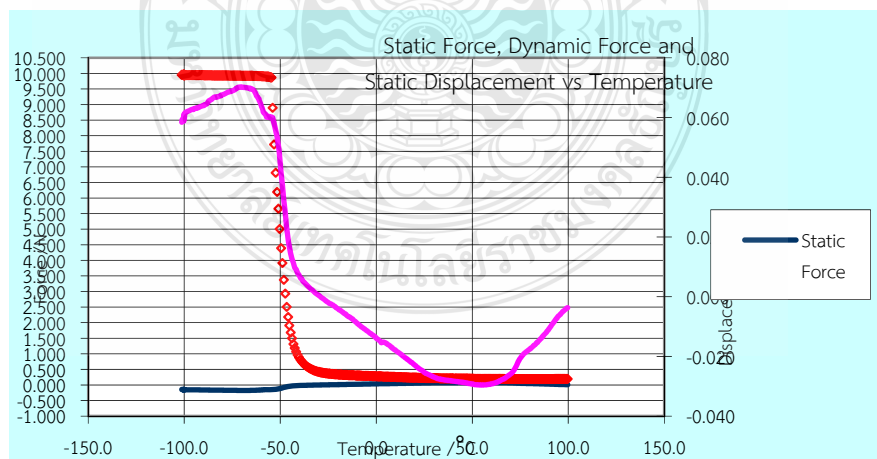
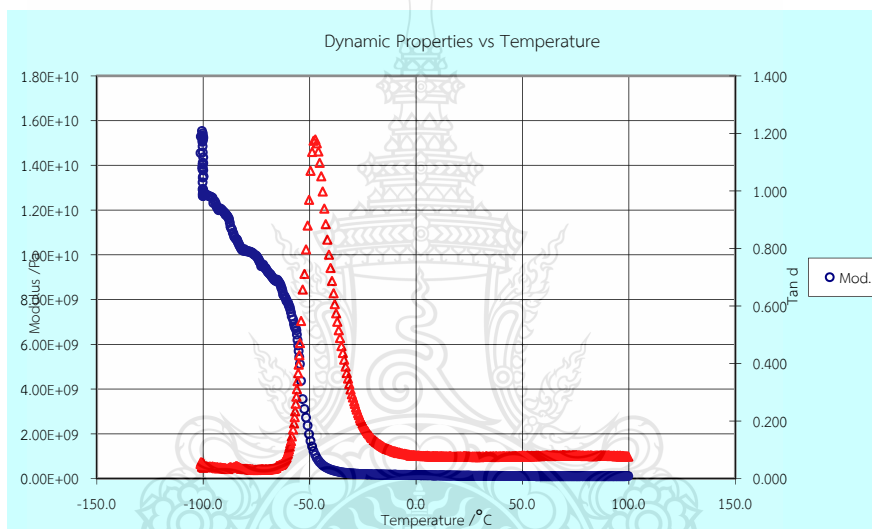
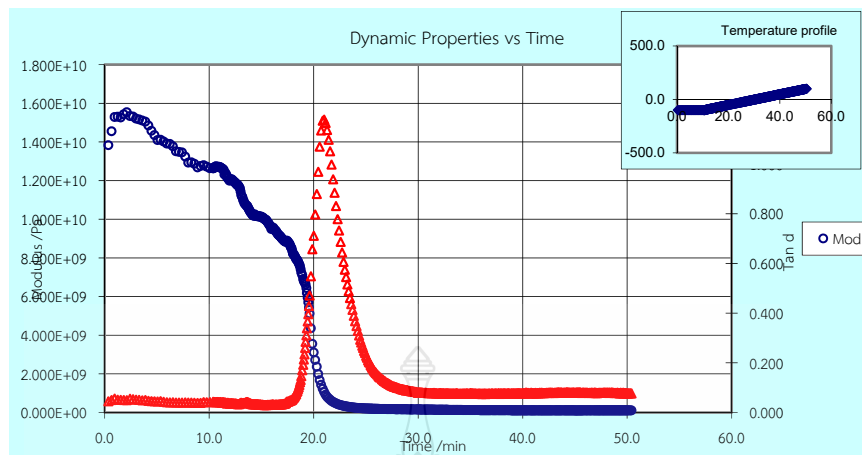
ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกลพลวัตของวัสดุเชิงประกอบจาก
น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลส

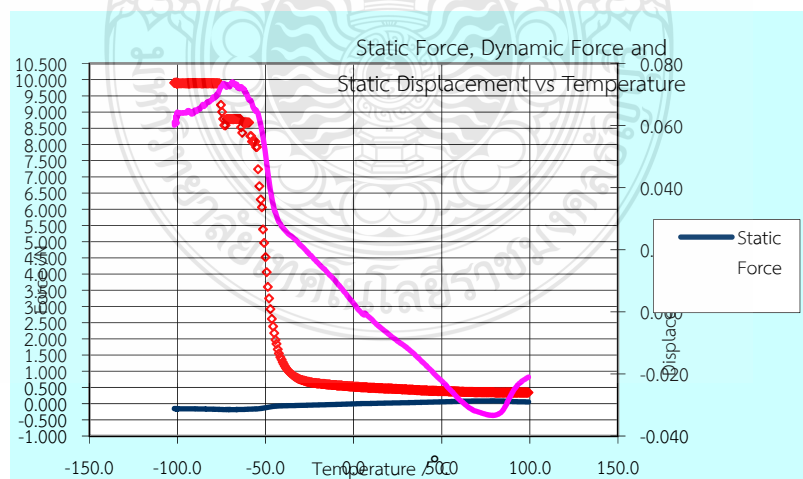
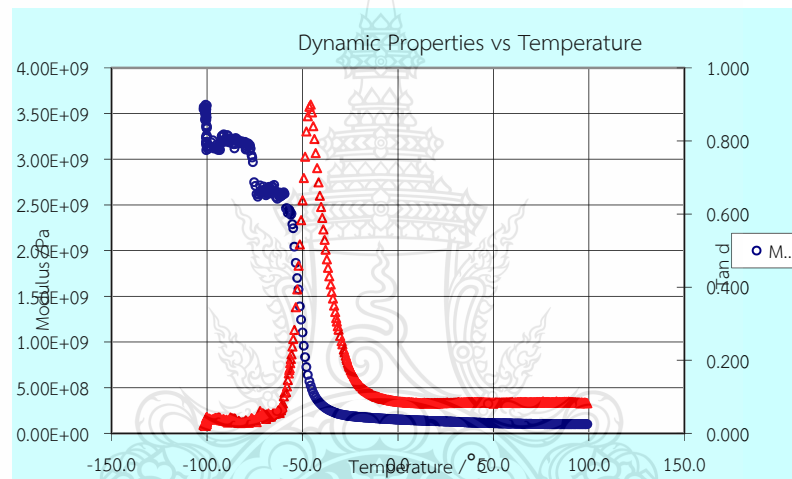
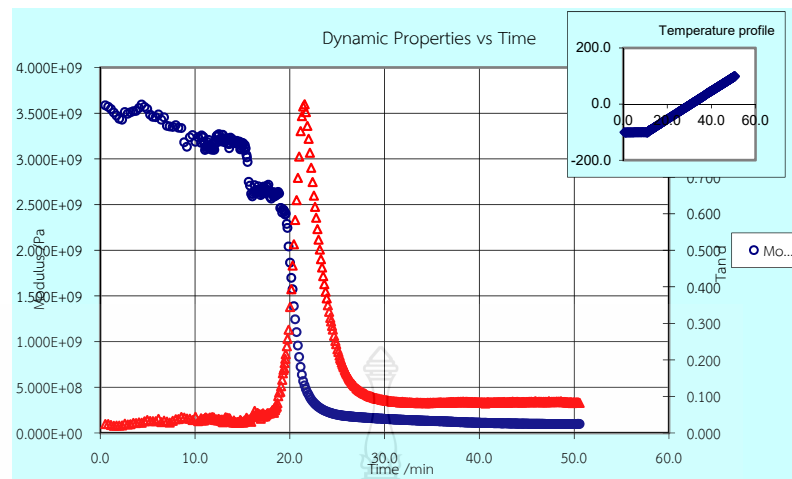




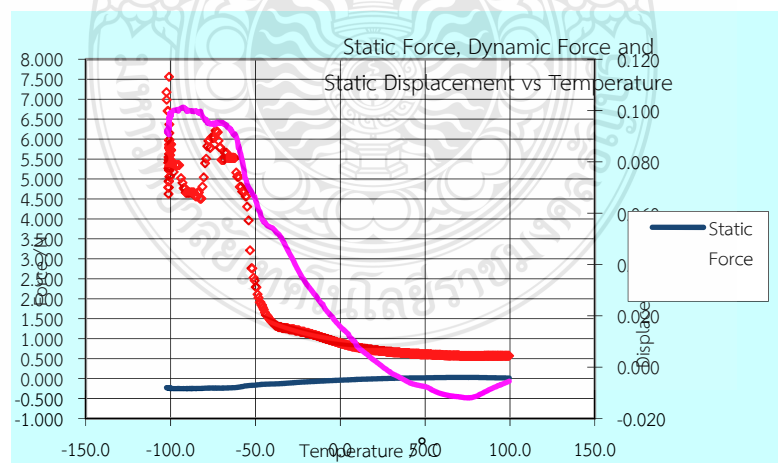
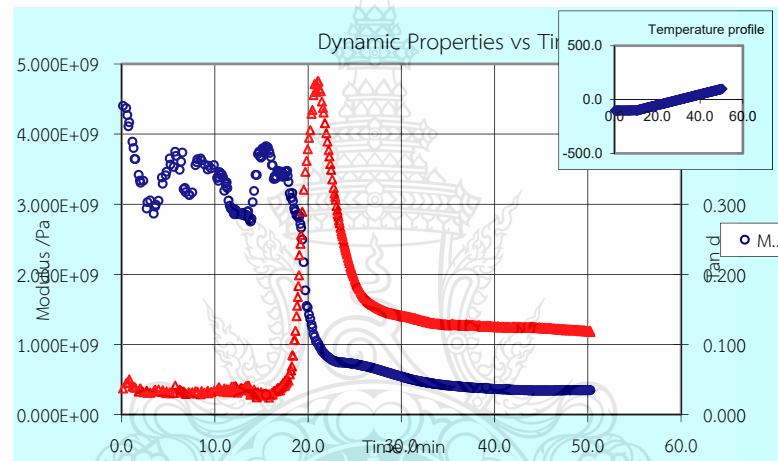
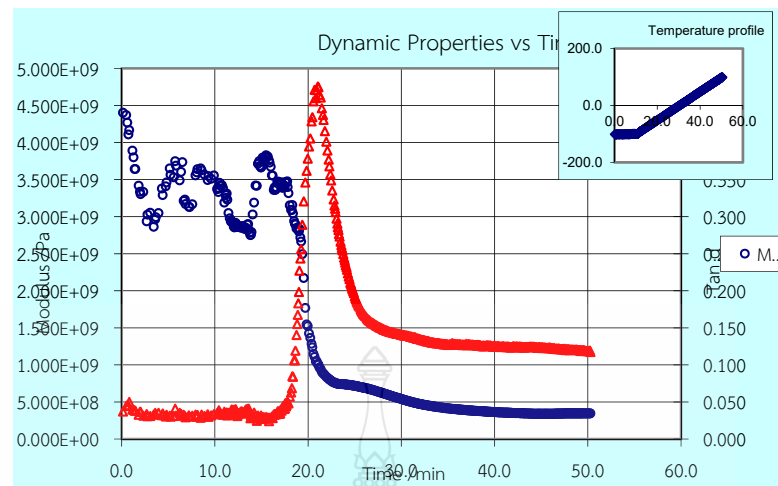
รูปที่ ก.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตของ DPNR/0 %NCC



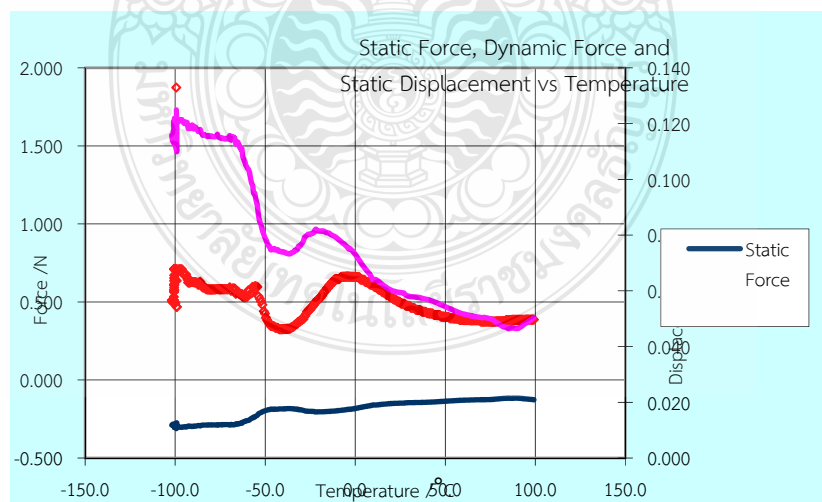
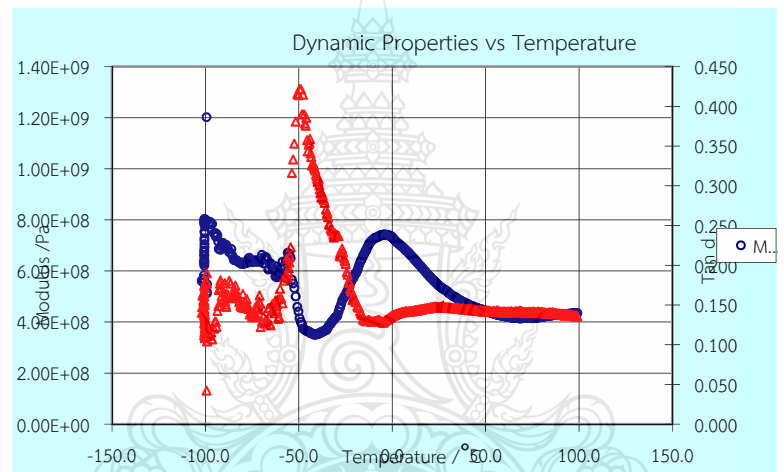
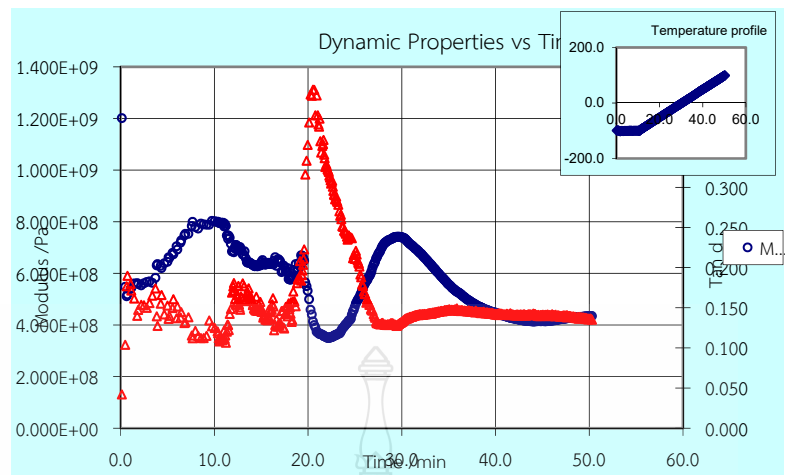
รูปที่ ก.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตของ DPNR/1.5 %NCC



รูปที่ ก.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตของ DPNR/3 %NCC



รูปที่ ก.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตของ DPNR/4.5 %NCC



รูปที่ ก.5 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตของ DPNR/5 %NCC

-[PCT-12]-

THE INTERNATIONAL POLYMER CONFERENCE OF THAILAND

AUGUST 4 - 5, 2022

PROCEEDINGS BOOK

POLYMER INNOVATION IN THE CHANGING WORLD



PROCEEDINGS

-[PC^T-12]_n

The International Polymer Conference of Thailand

Annual Polymer Conference

August 4th – 5th, 2022

Organized by



The Polymer Society of Thailand (PST)

Message from the President

PCT-12: Roles of Thai Polymer Society in Finding Suitable Solutions in a Time of Change and Crisis

Assoc. Prof. Dr. Taweechai Amornsakchai
President of the Polymer Society of Thailand
PCT-12 Chair



This is the 12th International Polymer Conference of Thailand (PCT-12) that is organized by the Polymer Society of Thailand (PST). PST has a longer history than that. In 1999, a group of Thai polymer scientists and academia foresaw the importance of higher education in polymer science and technology, got together and founded what would go on to be PST today. PST has two main missions. The first mission is to be the center that coordinates with polymer scientists from universities, governmental and industrial sectors, provides information and news related to polymers and also coordinates with other organizations in and outside the country. The second mission is to support the development of the country capability in polymer science, technology and engineering to an international level. PCT is one of activities that PST carries out annually to accomplish these missions. It draws polymer scientists from different universities, and industrial sectors across the country and worldwide to share their knowledge and innovations for the benefit of our society. It is intended to be a platform where we can learn from our peers or friends or experts in the field from the other side of the globe. We encourage young generations who may be graduate students or young staff to join and exchange their ideas while learning achievements of others.

The past two PCTs were held online because of Covid-19. Once again, this year we were not certain about the situation and had to decide to have the event online so that we stay in touch. On the good side, this allows us to invite speakers from faraway places who have busy schedule to spare sometime to share their knowledge. I believe that PCT is still the event that polymer scientists and those who work in polymer-related fields are waiting for.

For this PCT, the theme is "Polymer Innovation in the Changing World". This is a reflection that polymers are always important part of our daily life and society. With so many problems and situations that occur and affect our daily life these days, polymers are either in the spotlight or involved in some ways, whether it is climate change, carbon dioxide, emission, net zero, plastic waste, Covid-19, food security or environment. Polymer innovation is therefore required to solve the problems or make life better.

Last year along with PCT-11, we launched a special event about Polymers Innovative Ideas Challenge which we had a video contest on "Polymer products for sustainable development" and a polymer contest on "Polymer Invention in Bio-Circular and Green Economy (BCG)". We had 12 and 10 applications for these respective contests. This year we would like to make the video contest as a useful educative tool for the public and we are in the process of adjusting the guideline. We will announce the contest later, so please stay connected and be well informed.

This year, our PCT-12 receives its honour to have two plenary speakers Prof. Andrew Whittaker, from The University of Queensland, Australia and Associate Professor Winita Punyodom, from Chiang Mai University, Thailand. Like last year, we maintain five scientific sessions which are Advanced and Functional Polymers, Polymers for BCG Economy, Biomedical polymers, Rubbers/Elastomers, and Polymer Blends and Composites. For these sessions, PCT-12 is privileged to have 7 keynote and 2 invited speakers from abroad; Prof. José Bonilla-Cruz from The Center for Research in Advanced Materials, Mexico; Prof. Per B. Zetterlund from The University

of New South Wales, Australia; Prof. Li Pei from The Hong Kong Polytechnic, Hong Kong; Assoc. Prof. Pooria Pasbakhsh from Monash University, Malaysia; Assoc. Prof. Dr. Darshil U. Shah from The University of Cambridge, United Kingdom; Assoc. Prof. Shinji Kanehashi from Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan; Prof. Dr. Kinsuk Naskar from Indian Institute of Technology Kharagpur, India; Asst. Prof. Yukiya Kitayama from Osaka Prefecture University, Japan and Asst. Prof. Dr. Wisut Kaewsakul from University of Twente, The Netherlands and 2 keynote and 5 invited speakers from Thailand; Prof. Jarupa Viyoch from Naresuan University; Prof. Anongnat Somwangthanoj from Chulalongkorn University; Dr. Benjaporn Narupai from Chulalongkorn University; Asst. Prof. Prasit Pattanauwat from Chulalongkorn University; Dr. Daranee Aussawasathien from National Metal and Materials Technology Center; Dr. Wuttichai Reainthippayasakul from Chulalongkorn University and Assoc. Prof. Dr. Kittisak Jantanasakulwong from Chiang Mai University. In addition, we have 19 oral presentations and 20 poster presentations. Although we don't have a chance to meet in person, we expect that further collaboration between university researchers and the industry's R & D people especially young generation will be established and fulfill our need to keep the balance between economy, environment and community for sustainable developments that benefit us all.

In addition to organizing the conference, the Polymer Society of Thailand has a recognition program, "PST Rising Stars", for young polymer scientists both in academia and industry on their efforts and accomplishments. This year 3 PST Rising Stars are nominated by the search committee, Assoc. Prof. Ekwipoo Kalkornsuraanee from Prince of Songkla University, Dr. Yeampon Nakaramontri from King Mongkut's University of Technology Thonburi and Mr. Dalip Abdulraman, Richtech Paint Co. Ltd.

On behalf of the Polymer Society of Thailand, I would like to express my sincere thanks to all the committee who have put tremendous efforts to successfully organize this high quality PCT-12 conference. In addition, I would like to express special thanks to valuable and fidelity supports for the Platinum sponsor from the PPT Global Chemical Public Company Limited, the Gold sponsor from the SCG Chemicals, the Bronze sponsor from Puditec Co. Ltd. and SCS Instruments Co. Ltd.

My deepest gratitude goes to all speakers, poster presenters and audiences who participate in this conference. Without their support, it would not be possible to have a successful event.

Finally, I wish the PCT conference a fruitful success, and hope that you have a happy participation, can make new friends and collaborators, enjoy sharing and exchanging your ideas and hopefully we can meet in person next year. In the meantime, stay safe and take care.



T. Amornsakchan

Board of Polymer Society of Thailand

Advisory Board



Prof. Dr. Pattarapan Prasassarakich
Department of Chemical Technology,
Chulalongkorn University



Prof. Dr. Suda Kiatkamjornwong
Academy of Science, Royal Society of Thailand



Prof. Dr. Supawan Tantayanon
Department of Chemistry, Chulalongkorn University



Prof. Dr. Suwabun Chirachanchai
The Petroleum and Petrochemical College,
Chulalongkorn University



Assoc. Prof. Dr. Pranee Phinyocheep
Department of Chemistry, Mahidol University



Asst. Prof. Dr. Krisda Suchiva
Rubber Technology Research Centre,
Mahidol University



Dr. Chaya Chandavas
PTT Global Chemical Public Company Limited

Committee Board



President
Assoc. Prof. Dr. Taweechai Amornsakchai
Department of Chemistry, Mahidol University



Vice President
Asst. Prof. Dr. Varawut Tangpasuthadol
Department of Chemistry, Chulalongkorn University



Vice President
Dr. Anucha Euapermkiati
PTT Global Chemical Public Company Limited

Board of Polymer Society of Thailand

Committee Board (Continue)



Registrar

Assoc. Prof. Dr. Pakorn Opaprasit
Sirindhorn International Institute of Technology,
Thammasat University

Public Relations

Asst. Prof. Dr. Sararat Mahasaranon
Department of Chemistry, Naresuan University



Treasurer

Asst. Prof. Dr. Amornrat Lertworasirikul
Department of Materials Engineering, Kasetsart University

Secretariat

Asst. Prof. Dr. Sunanta Chuayprakong
Department of Industrial Chemistry,
King Mongkut University of Technology North Bangkok



Academic Committee

Assoc. Prof. Dr. Winita Punyodom
Department of Chemistry, Chiang Mai University

Academic Committee

Assoc. Prof. Dr. Kannika Sahakaro
Department of Rubber Technology and Polymer,
Prince of Songkla University



Academic Committee

Assoc. Prof. Dr. Amorn Chaiyasat
Department of Chemistry,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Academic Committee

Assoc. Prof. Dr. Nattakarn Hongsrirphan
Department of Materials Science and Engineering,
Silpakorn University



Committee

Assoc. Prof. Dr. Ittipol Jangchud
Department of Chemistry,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Board of Polymer Society of Thailand

Committee Board (Continue)



Committee

Mr. Thongchai Oranrigsupak
Benjamit Packaging Company Limited
Plastic Industry Club, The Federation of Thai Industries



Committee

Mr. Kongsak Dokbua
Plastics Institute of Thailand, Ministry of Industry



Committee

Assoc. Prof. Dr. Panya Sunintaboon
Department of Chemistry, Mahidol University



Committee

Dr. Natthaporn Suchao-In
SCG Chemicals Company Limited



Committee

Dr. Pasaree Laokijcharoen
National Metal and Materials Technology Center (MTEC)



Conference Committee

Chair

Assoc.Prof.Dr. Taweechai Amornsakchai

Mahidol University
(President of the Polymer Society of Thailand)

Advisory Committee

- | | | |
|-----|---|--|
| 1. | Dr. Robert Molloy | Chiang Mai University, Thailand |
| 2. | Prof.Dr. Changwoon Nah | Chonbuk National University, Korea |
| 3. | Prof.Dr. Suwabun Chirachanchai | Chulalongkorn University, Thailand |
| 4. | Prof.Dr. Voravee Hoven | Chulalongkorn University, Thailand |
| 5. | Prof.Dr. Bhuvanesh Gupta | Indian Institute of Technology, India |
| 6. | Prof.Dr. Kinsuk Naskar | Indian Institute of Technology Kharagpur, India |
| 7. | Prof.Dr. Laurent Fontaine | Le Mans Universite, France |
| 8. | Prof.Dr. Philippe Daniel | Le Mans Universite, France |
| 9. | Prof.Dr. Kheng Lim Goh | Newcastle University, Singapore |
| 10. | Assoc.Prof.Dr. Ekwiopoo Karnkornsuraapranee | Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Thailand |
| 11. | Prof.Dr. Anke Blume | University of Twente, the Netherlands |
| 12. | Assoc.Prof.Dr. Nadras Othman | Universiti Sains Malaysia, Malaysia |

Scientific Committee

- | | | |
|-----|--|---|
| 1. | Assoc.Prof.Dr. Winita Punyodom | Chiang Mai University |
| 2. | Dr. Robert Molloy | Chiang Mai University |
| 3. | Prof.Dr. Vudhichai Parasuk | Chulalongkorn University |
| 4. | Assoc.Prof.Dr. Kanoktip Boonkerd | Chulalongkorn University |
| 5. | Assoc.Prof.Dr. Nuanphun Chantarasiri | Chulalongkorn University |
| 6. | Assoc.Prof.Dr. Sirilux Poompradub | Chulalongkorn University |
| 7. | Assoc.Prof.Dr. Wanpen Tachaboonyakiat | Chulalongkorn University |
| 8. | Asst.Prof.Dr. Varawut Tangpasuthadol | Chulalongkorn University |
| 9. | Dr. Benjapon Narupai | Chulalongkorn University |
| 10. | Assoc.Prof.Dr. Apirat Laobuthee | Kasetsart University |
| 11. | Assoc.Prof.Dr. Rangrong Yoksan | Kasetsart University |
| 12. | Assoc.Prof.Dr. Wanvimol Pasanphan | Kasetsart University |
| 13. | Asst.Prof.Dr. Amornrat Lertworasirikul | Kasetsart University |
| 14. | Asst.Prof.Dr. Chantiga Choochottiros | Kasetsart University |
| 15. | Dr. Piyawanee Jariyasakoolroj | Kasetsart University |
| 16. | Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 17. | Asst.Prof.Dr. Chonlada Ritvirulh | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 18. | Asst.Prof.Dr. Suparat Rukchonlatee | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 19. | Asst.Prof.Dr. Sunanta Chuayprakong | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| 20. | Asst.Prof.Dr. Suttinun Phongtamrug | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| 21. | Dr.Nonsee Nimitsiriwat | King Mongkut's University of Technology Thonburi |
| 22. | Asst.Prof.Dr. Tithinun Rattanaplome | Maejo University |

Conference Committee (Continue)

Scientific Committee (Continue)

23.	Assoc.Prof.Dr. Sunan Saikrasun	Maharakham University
24.	Assoc.Prof.Dr. Panya Sunintaboon	Mahidol University
25.	Assoc.Prof.Dr. Pranee Phinyocheep	Mahidol University
26.	Assoc.Prof.Dr. Sombat Thanawan	Mahidol University
27.	Assoc.Prof.Dr. Taweechai Amornskchai	Mahidol University
28.	Asst.Prof.Dr. Anyarat Watthanaphanit	Mahidol University
29.	Assoc.Prof.Dr. Metha Rutnakornpituk	Naresuan University
30.	Asst.Prof.Dr. Supatra Pratumshat	Naresuan University
31.	Dr. Gareth Michael Ross	Naresuan University
32.	Dr. Pasaree Laokijcharoen	National Metal and Materials Technology Center
33.	Dr. Warayuth Sajomsang	National Nanotechnology Center
34.	Assoc.Prof.Dr. Kannika Sahakaro	Prince of Songkla University, Pattani Campus
35.	Asst.Prof.Dr. Nabil Hayemasae	Prince of Songkla University, Pattani Campus
36.	Asst.Prof.Dr. Subhan Salae	Prince of Songkla University, Pattani Campus
37.	Asst.Prof.Dr. Sunisa Suchat	Prince of Songkla University, Surat Thani Campus
38.	Dr. Nanthaya kengkhetkit	Rajamangala University of Technology Lanna
39.	Assoc.Prof.Dr. Amorn Chaiyasat	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
40.	Assoc.Prof.Dr. Sommai Pivsa-Art	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
41.	Asst.Prof.Dr. Chatchai Veranitisakul	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
42.	Asst.Prof.Dr. Polphat Ruamcharoen	Songkhla Rajabhat University
43.	Asst. Prof.Dr. Tatiya Trongsatitkul	Suranaree University of Technology
44.	Assoc.Prof.Dr. Pakorn Opaprakasit	Thammasat University
45.	Assoc.Prof.Dr. Sayant Saengsuwan	Ubon Ratchathani University
46.	Assoc.Prof.Dr. Nadras Othman	Universiti Sains Malaysia

Organizing Committee

1.	Assoc.Prof.Dr. Taweechai Amornskchai	Mahidol University
2.	Prof.Dr. Pattarapan Prasassarakich	Chulalongkorn University
3.	Prof.Dr. Suda Kiatkamjornwong	Chulalongkorn University
4.	Prof.Dr. Supawan Tantayanon	Chulalongkorn University
5.	Prof.Dr. Suwabun Chirachanchai	Chulalongkorn University
6.	Assoc.Prof.Dr. Pranee Phinyocheep	Mahidol University
7.	Asst.Prof.Dr. Krisda Suchiva	Mahidol University
8.	Dr. Chaya Chandavasut	PTT Global Chemical Pub Co., Ltd.
9.	Assoc.Prof.Dr. Amorn Chaiyasat	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
10.	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
11.	Assoc.Prof.Dr. Kannika Sahakaro	Prince of Songkla University
12.	Assoc.Prof.Dr. Nattakarn Honsriphan	Silapakorn University
13.	Assoc.Prof.Dr. Pakorn Opaprakasit	Thammasat University
14.	Assoc.Prof.Dr. Panya Sunintaboon	Mahidol University
15.	Assoc.Prof.Dr. Winita Punyodom	Chiang Mai University

Conference Committee (Continue)

Organizing Committee (Continue)

16.	Asst.Prof. Amornrat Lertworasirikul	Kasetsart University
17.	Asst.Prof. Sararat Mahasaranon	Naresuan University
18.	Asst.Prof.Dr. Sunanta Chuayprakong	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
19.	Asst.Prof.Dr.Varawut Tangpasuthadol	Chulalongkorn University
20.	Dr. Anucha Euapermkiati	PTT Global Chemical Public Company Limited
21.	Dr. Natthaporn Suchao-In	SCG Chemicals Company Limited
22.	Dr. Pasaree Laokijcharoen	National Metal and Materials Technology Center
23.	Mr. Kongsak Dokbua	Plastics Institute of Thailand, Ministry of Industry
24.	Mr. Thongchai Oranrigsupak	Plastic Industry Club, The Federation of Thai Industries

Regional Organizing Committee

1.	Asst.Prof.Dr. Piyaporn Na Nongkhai	Burapha University
2.	Dr. Robert Molloy	Chiang Mai University
3.	Dr. Nonsee Nimitsiriwat	King Mongkut's University of Technology Thonburi
4.	Asst.Prof.Dr. Patchara Punyamoonwongsa	Mae Fah Luang University
5.	Asst.Prof.Dr. Siwarote Boonrasri	Maejo University
6.	Assoc.Prof.Dr. Yodthong Baimark	Maharakham University
7.	Assoc.Prof.Dr. Sirinya Chantarak	Prince of Songkla University, Hat Yai
8.	Asst.Prof.Dr. Sunisa Suchat	Prince of Songkla University, Surat Thani Campus
9.	Asst.Prof.Dr. Polphat Ruamcharoen	Songkhla Rajabhat University
10.	Assoc.Prof.Dr. Chaiwat Ruksakulpiwat	Suranaree University of Technology
11.	Assoc.Prof.Dr. Suwadee Kongparakul	Thammasat University
12.	Asst.Prof.Dr. Sarawut Prasertsri	Ubon Ratchathani University
13.	Dr. Boontharika Thapsukhon	University of Phayao
14.	Asst.Prof.Dr. Uthen Thubsuang	Walailak University

Session/Code		Page
COMP-P1	Curing characteristics and mechanical properties of nanocomposites based on acrylonitrile-butadiene rubber/natural rubber blends: Effect of cellulose nanocrystal loading Punyarat Jantachum, Bualan Khumpaitool and Songkot Utara	66
COMP-P3	Influence of silane treatment on mechanical properties of glass fiber reinforced composites from recycled polyethylene terephthalate and polyamide 6 Nattakarn Hongsriphan, Kamonwan Hansapalangkoool, and Pajaera Patanathabutr	71
COMP-P4	Nipa Palm Leaf or Sweet Bamboo Leaf as Potential Laminar Reinforcement for Crosslinked Tapioca Starch Composite Foams Manisara Phiriyawirut, Tungrat Ariyapompong, Kanokwan Simaksuk, Jinnaphat Sertpannuk and Nattarat Kengkla	78
COMP-P5	Structural Analysis and Properties of Thermoplastic Starch Reinforced with Cellulose Nanocrystals Vipawadee Rakbumrung and Warunee Ariyawiriyanan	84
COMP-P6	Preparation of Stretchable Conductive Rubber Composite from Silver Coated Pineapple Leaf Fiber and Natural Rubber Jiraphat Chuchat and Taweechai Amornsakchai	91
COMP-P8	A comparative evaluation of water sorption and solubility, tensile bond strength, and viscoelastic behavior of two denture relining materials Jitpimon Siripanth, Bharat Mirchandani and Panjaporn Wongwithayakool	97
COMP-P9	Properties of Low Density Polyethylene/Poly(butylene adipate-co-terephthalate)/ Titanium dioxide Films Sudsiri Hemsri, Chanchai Thongpin and Aksarakap Rattana	101
COMP-P10	Characterization and Mechanical Properties of Pre-vulcanized Deproteinized Natural Rubber (P-DPNR) / Nanocrystalline Cellulose (NCC) Composites Marisa Janwongsa, Warunee Ariyawiriyanan and Seichi Kawahara	108
Polymer for BCG Economy		
PBCG-O1	Physico-chemical Properties of Indigenous Rice Starch and Esterified Rice Starch Hanee Kaetong, Jareerat Ruamcharoen and Saowapa Chotisuwana	114
PBCG-O2	Fabrication of Conductive Elastomer of MXene/Natural Rubber Composite Film by a Latex Blending Method Andi Wijaya, Paiboon Sreearunothai, Duangporn Polpanich, Pakorn Opaprakasi, and Chariya Kaewsancha	119
PBCG-P3	Mangosteen Peel Extract Derived Carbon Dots as Sensor for Mercury Detection Jiramet Mekarun and Anyarat Watthanaphanit	126

Characterization and Mechanical Properties of Pre-vulcanized Deproteinized Natural Rubber (P-DPNR) / Nanocrystalline Cellulose (NCC) Composites

Marisa Janwongsa¹, Warunee Ariyawiriyanan^{1*} and Seiichi Kawahara²

¹Program in Materials Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

²Program in Materials Science and Technology, Nagaoka University of Technology
1603-1 Kamitomioka-cho, Nagaoka, Nigata, 940-2188, Japan

Phone +66 2549 4688, Fax +66 2549 4680, *E-Mail: warunee.a@en.rmUTT.ac.th

Abstract

Nanocrystalline cellulose (NCC) was extracted from banana fiber and used to reinforce deproteinized natural rubber (DPNR). The banana fiber was used as the natural cellulose source. In this study, a treatment process of banana fiber, an alkali treatment, and bleaching with hydrogen peroxide (H_2O_2) was used to remove all lignin and hemicellulose before continuing with acid hydrolysis by sulfuric acid (H_2SO_4). The prepared nanocellulose was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray diffraction (XRD). Subsequently, the green nanocomposite compound was prepared by mixing the DPNR latex with various amounts of NCC is 1.5, 3.0, 4.5 and 5.0 wt%, respectively. It was found that tensile strength increases 1.5 times after addition with 5 wt% NCC while elongation at break of the DPNR/NCC nanocomposite decrease. This demonstrated that NCC can be prepared from natural resources and can be an effective green reinforcing agent in natural rubber.

Keywords: natural rubber, natural fiber, nanocrystalline cellulose, deproteinized natural rubber, mechanical properties

1. Introduction

A nano composite is a multiphase material in which, in contrast to micro composites, one of the phases has one, two, or three dimensions of less than 100 nm, or the composite phases have nanoscale distances between them [1]. Rubber composites are a particular class of materials that provide an affordable answer to various technical issues. Numerous rubber products developed by the rubber industry since the 1839 discovery of vulcanization have helped to advance industrial growth [2]. However, the protein contains in natural rubber latex, can cause certain allergic responses in people, meaning that natural rubber still has some restrictions in some applications. The removal of proteins from natural rubber is one of the key aspects in the science and technology of natural rubber because some proteins in natural rubber

might cause a type I allergy with immunoglobulin E. The removal of the proteins has successfully been carried out during the latex stage since they are on the surface of natural rubber particles that are dispersed in water. [3-5]

Cellulose, a naturally occurring polymer, is used to create the characteristic nanostructures known as cellulose nanocrystals (CNC). A few advantages of CNC include its superior mechanical properties, high surface area to volume ratio, lightweight, low density, high concentration of hydroxyl groups that make it appropriate for a range of applications, and environmental friendliness. [6-7]

In this study, green rubber nano composites of pre-vulcanized DPNR latex and nanocrystalline cellulose were prepared. Structural characterization and mechanical properties of the green rubber nanocomposites are observed.

2. Experimental

2.1 Materials

High ammonia natural rubber latex (HANR 60 %DRC), urea, sodium dodecyl sulfate (SDS), Banana fiber, sodium hydroxide (NaOH), hydrogen peroxide (H_2O_2), sulfuric acid (H_2SO_4), sulfur dispersion (50 wt%), zinc oxide dispersion (50 wt%), ZDEC dispersion (25 wt%), potassium hydroxide solution (50 wt%), distilled water

2.2 Preparation of deproteinized natural rubber (DPNR)

Commercial high ammonia natural rubber (HANR) latex 60 %DRC was used in this study. The HANR latex was incubated for 1 hour at room temperature with 0.1 wt% urea in the presence of 1.0 wt% sodium dodecyl sulfate (SDS), and then centrifuged for 50 minutes at 10 °C 9000 rpm. After being re-dispersed in a 0.5 wt% SDS solution, the cream fraction was centrifuged. The cream fraction was subsequently washed twice using SDS solution at 0.5 and 0.1 wt%, respectively, as shown in Figure 1 [4,5,8].

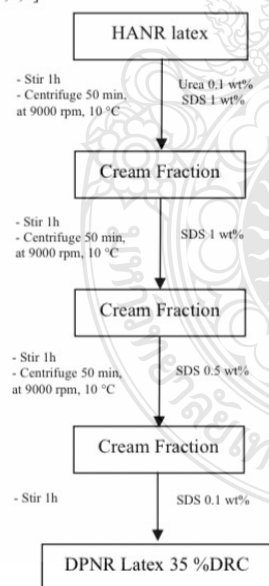


Figure 1. Preparation of DPNR latex.

2.3 Preparation of Nanocrystalline cellulose (NCC)

2.3.1 Neat Banana fiber (BF)

Banana stems were trimmed between 3-5 cm in length and mashed in a blender before being filtered and dried at 60 °C for 24 hours.

2.3.2 Alkaline Treatment of banana fiber (A-BF)

The banana fiber (BF) were treated with 4% NaOH for 2 hours at 300 rpm at 80 °C, washed with distilled water during filtering, and then dried at 60 °C for 24 hours.

2.3.3 Bleaching of banana fiber (B-BF):

The alkaline treatment of banana fiber (A-BF) was bleached with 10% H_2O_2 at 80 °C for 2 hours while stirring at 300 rpm, washed with distilled water during filtering, and then dried at 60 °C for 24 hours.

2.3.4 Hydrolysis of BF (H-BF)

Hydrolysis of A-BF with 56% v/v sulfuric acid at 50 °C for 1 hour while stirring at 300 rpm. The cellulose fiber and acid solution ratio was 1:10 g/ml. Diluted 10 times, cooled the whisker in a water bath to minimize the acid content, and then centrifuged three times at 9000 rpm for 10 minutes to remove the acid [4]. Then, Nanocrystalline Cellulose (NCC) was received as a suspension.

2.4 Preparation of pre-vulcanized DPNR (P-DPNR)

The P-DPNR is performed in the latex stage by mixing 30 wt%DRC of DPNR with rubber compounding, as shown in Figure 2. The P-DPNR latex was stirred at 200 rpm for 4 hours at a temperature of 40 °C before being pre-vulcanized for 2 hours at a temperature of 90 °C. Next, the P-DPNR was diluted with distilled water to get a 20 w/w %DRC. Finally, the P-DPNR was centrifuged for 50 minutes at 9000 rpm with 1.0 and 0.5 w/w% SDS solution, respectively, as shown in Figure 2 [9].

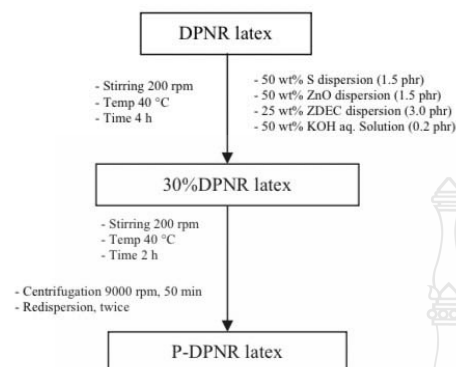


Figure 2. Preparation of P-DPNR latex.

2.5 Preparation of DPNR/NCC composites

P-DPNR was mixed with four different amounts of NCC at 1.5, 3.0, 4.5, and 5.0% compared to P-DPNR without NCC. Cast film with a thickness of 1 mm was used to make all samples, which were subsequently dried at 50°C for 48 hours.

2.6 Characterization

2.6.1 Water soluble protein measurement

The amount of water-soluble protein of dry rubber film was measured using a standard test method to analyze aqueous extractable protein in natural rubber. The modified Lowry method was used to measure water-soluble protein.

2.6.2 Chemical structure

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to characterize the chemical structure in HANR, DPNR and natural fiber. The experiment was conducted over a spectral range of 4000 - 600 cm^{-1} .

2.6.3 Crystallinity and Crystallinity index

The crystallinity of the NCC was obtained by X-ray diffractometer (XRD) with a $\text{Cu-K}\alpha$ radiation source ($\lambda=1.54\text{\AA}$) at an accelerating voltage of 40kV. The diffractogram was recorded in the $\phi=2\theta$ angle ranging from 10° – 90° with a step interval size of 0.04 and data was

collected at a scan rate of $1^\circ/\text{min}$. The crystallinity index was calculated from the heights of the 002 peak (I_{002} , $2\theta=22.6^\circ$) and the intensity minimum between the 002 and 111 peaks (I_{AM} , $2\theta=18$ degrees) using the Segal method (1). I_{002} is an intensity of the 002 reflectances and I_{AM} is the minimum intensity at $2\theta=180$. [10]

$$\text{Crystalline index (CI)}: \frac{I_{002} - I_{AM}}{I_{002}} \times 100 \quad (1)$$

2.6.4 Mechanical Properties

The testing was performed according to determination of tensile stress strain properties (ISO 37 - 2005) type 2. The five pieces of dumbbell were cut from each film. Also, the average thickness was evaluated and used for the measurement. Mechanical properties of tensile strength and elongation at break for NR vulcanized films were investigated by universal testing machine (INSTRON). The crosshead was operated at a speed of 500mm/min. [4]

3. Results and Discussion

3.1 Characterization of Natural rubber

3.1.1 Water soluble protein measurement

The overall nitrogen content is proportional to the quantity of proteins found in rubber latex. After incubation of HANR with urea and SDS for an hour at room temperature, the total nitrogen content decreased from 0.45 wt% to 0.00 wt%. It could show that most proteins found in natural rubber latex were removed.

The amount of water-soluble protein content of HANR was 4,215 $\mu\text{g/g}$, which was very much higher than those of DPNR (0 $\mu\text{g/g}$), respectively. The result confirms that urea treatment is quite effective in preparing protein-free rubber. [4]

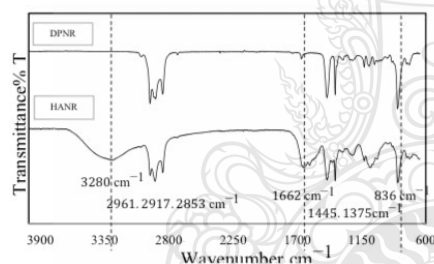
COMP-P10

Table 1. Total nitrogen content and water-soluble protein of HANR and DPNR.

Sample	Nitrogen content (wt%)	Water-soluble protein ($\mu\text{g/g}$)
HANR	0.45	4,215
DPNR	0.00	0.00

3.1.2 Chemical structure

FT-IR spectroscopy was used to describe the obtained DPNR. Fig. 2 shows FT-IR spectra from 600 to 4000 cm^{-1} for HANR and DPNR. The mono-peptides or di-peptides in natural rubber were responsible for the peak at 3320 cm^{-1} . After three times of centrifugation, the peak at 3320 cm^{-1} in the DPNR spectrum disappeared. It may confirm that the mono-peptides or di-peptides were removed after urea treatment.

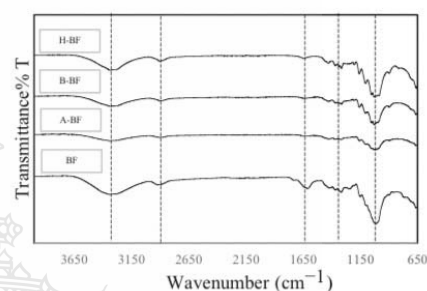
**Figure 2.** FT-IR spectra of HANR and DPNR

3.2 Characterization of Fiber

3.2.1 Chemical structure

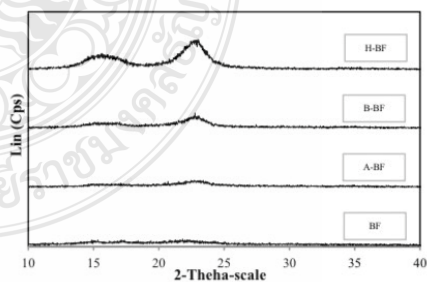
Figure 3 shows the FTIR spectra of the BF, A-BF, B-BF and H-BF, respectively. The broad peak at 3337 cm^{-1} was assigned to the OH stretching vibration in cellulose structure. It was found that the H-BF exhibited a strong band at 3337 cm^{-1} . The aliphatic saturated C-H stretching related to methylene groups in cellulose is indicated by the absorption at 2899 to 2918 cm^{-1} for BF, A-BF, B-BF and H-BF. In BF, A-BF and B-BF spectra the peaks at 1731 cm^{-1} and 1242 cm^{-1} were characteristic of

carbonyl stretching in xylan and hemicellulose; and CO stretching in lignin and hemicellulose, respectively. However, both peaks at 1731 cm^{-1} and 1242 cm^{-1} disappeared after the alkalization and bleaching, as shown in A-BF and B-BF spectra, indicating that the alkalization and bleaching effectively removed lignin and hemicellulose. [11]

**Figure 3.** FT-IR spectra of BF, A-BF, B-BF and H-BF

3.2.2 Crystallinity

Figure 4 shows the comparative X-ray diffraction patterns of the BF, A-BF, B-BF and H-BF. The typical 22° and 15° peaks, which correspond to the 110 and 200 cellulose crystallographic planes, may be detected in all samples and are indicative of cellulose's crystalline structure. BF, A-BF, B-BF and H-BF were found to have Crystalline index (CI) of 46.67, 77.08, 81.25, and 88.10%, respectively.

**Figure 4.** X-RD spectra of BF, A-BF, B-BF and H-BF

COMP-P10

3.3 Mechanical properties of P-DPNR/NCC green rubber composite

Usually, natural rubber reinforced with inorganic filler shows excellent flexibility and mechanical properties, and it can meet the requirement of applications. Table 2 shows the mechanical properties of DPNR/NCC composites. The tensile strength and modulus at 100%, 300% and 500% of DPNR/ NCC nanocomposites increased with NCC content increased. The DPNR reinforced with NCC at 5wt% shows the highest value of tensile strength at 5.25 MPa, while elongation at break is 120% lower than that of DPNR.

Table 2. Mechanical properties of DPNR/NCC composites.

Properties	DPNR /NCC (0%)	DPNR /NCC (1.5%)	DPNR /NCC (3.0%)	DPNR /NCC (4.5%)	DPNR /NCC (5.0%)
Modulus 100%, MPa	1.8±0.09	2.35±0.06	3.15±0.10	4.2±0.07	5.15±0.09
Modulus 300%, MPa	2.55±0.08	3.8±0.11	4.65±0.08	5.55±0.09	6.85±0.06
Modulus 500%, MPa	3.6±0.05	4.95±0.11	5.7±0.09	6.45±0.12	7.1±0.09
Tensile strength, MPa	3.64±0.06	3.7±0.05	4.35±0.08	4.8±0.08	5.25±0.07
Elongation at break, %	840±0.10	435±0.09	420±0.07	250±0.05	120±0.11

4. Conclusion

In this study, the NCC can be successfully prepared by acid hydrolysis from banana fiber. The P-DPNR/NCC green rubber composites can be prepared as thin film. The tensile strength of P-DPNR/NCC green rubber composites was improved with increasing nanocellulose concentration up to 5 wt%. At the 5 wt% NCC composites, the modulus at low strain (100, 300, and 500%) increases by almost 1.6–2.8 times while the tensile strength increases by 1.5 times.

5. Acknowledgement

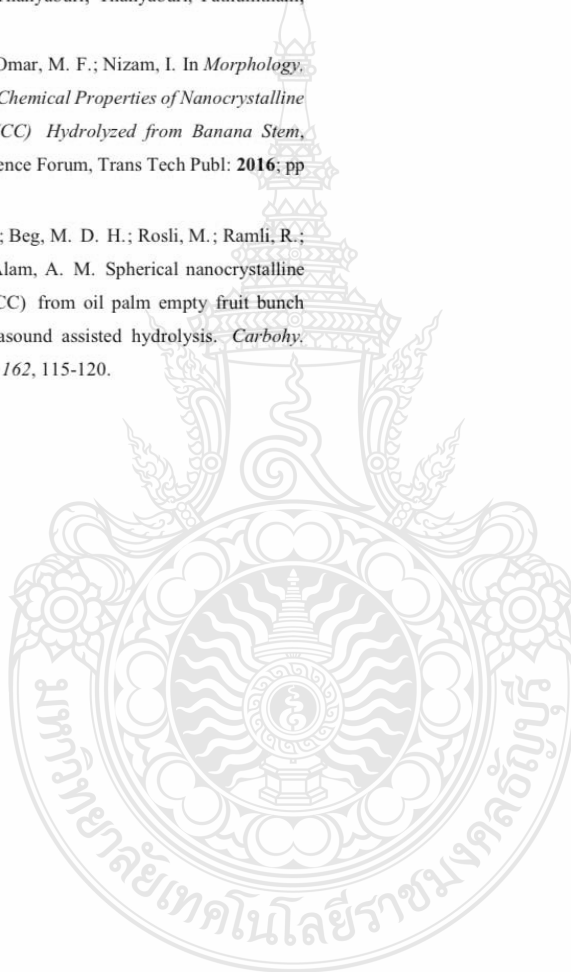
This research was partially supported by The Science, Research and Innovation Promotion Funding (TSRI) (Grant no. FRB650070/0168). This research block grant was managed under Rajamangala University of Technology Thanyaburi (FRB65E0708).

6. References

1. Ajayan, P.; Schadler, L.; Braun, P., Nanocomposite science and technology WILEY. *VCY. GmbH I Co KgaA*. **2003**, 2004.–230.
2. Sharma, A.; Thakur, M.; Bhattacharya, M.; Mandal, T.; Goswami, S. Commercial application of cellulose nano-composites—A review. *Biotech. Reports*. **2019**, 21, e00316.
3. Chaikumpollert, O.; Yamamoto, Y.; Suchiva, K.; Kawahara, S. Protein-free natural rubber. *Colloid. Polym. Sci.* **2012**, 290 (4), 331-338.
4. Ariyawiriyanan, W.; Nuinu, J.; Sae-heng, K.; Kawahara, S. The mechanical properties of vulcanized deproteinized natural rubber. *Ener. Procedia*. **2013**, 34, 728-733.
5. Yamamoto, Y.; Nghia, P. T.; linklai, W.; Saito, T.; Kawahara, S. Removal of proteins from natural rubber with urea and its application to continuous processes. *J. Appl. Polym. Sci.* **2008**, 107 (4), 2329-2332.
6. Taflick, T.; Schwendler, L. A.; Rosa, S. M.; Bica, C. I.; Nachtigall, S. M. Cellulose nanocrystals from acacia bark—Influence of solvent extraction. *Inter. J. Bio. Macromole.* **2017**, 101, 553-561.
7. Moon, R. J.; Martini, A.; Nairn, J.; Simonsen, J.; Youngblood, J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemic. Socie. Revie.* **2011**, 40 (7), 3941-3994.
8. Sae-heng, K.; Kanya, T.; Choothong, N.; Kosugi, K.; Ariyawiriyanan, W.; Kawahara, S. Latex-state NMR spectroscopy for quantitative analysis of epoxidized

COMP-P10

- deproteinized natural rubber. *Polym. Adv. Tech.* **2017**, 28 (9), 1156-1161.
9. Buaboon, S. Characterization on epoxidation and prevulcanization reaction of deproteinized natural rubber by using latex-state ^{13}C NMR spectroscopy. M.S. Thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, **2017**.
 10. Kasa, S. N.; Omar, M. F.; Nizam, I. In *Morphology, Thermal and Chemical Properties of Nanocrystalline Cellulose (NCC) Hydrolyzed from Banana Stem*, Materials Science Forum, Trans Tech Publ: **2016**; pp 257-261.
 11. Azrina, Z. Z.; Beg, M. D. H.; Rosli, M.; Ramli, R.; Junadi, N.; Alam, A. M. Spherical nanocrystalline cellulose (NCC) from oil palm empty fruit bunch pulp via ultrasound assisted hydrolysis. *Carbohydr. Polym.* **2017**, 162, 115-120.





-[PCT-12]_n

COMP-P10

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

This is to certify that

MARISA JANWONGSA

Has presented the paper (Poster) titled

Characterization and Mechanical Properties of Pre-vulcanized Deproteinized Natural Rubber (P-DPNR) / Nanocrystalline Cellulose (NCC) Composites

The International Polymer Conference of Thailand (PCT-12)

(Virtual Conference)

August 4 – 5, 2022

T. Amornsakchai

Assoc. Prof. Dr. Taweechai Amornsakchai

Chairperson

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวพิมพ์ณญาณ์ พัฒน์ณพัชญ์
วัน เดือน ปีเกิด	12 ธันวาคม 2540
ที่อยู่	7/232 ซอย รังสิต-นครนายก 34/1 ตำบลประชาธิปัตย์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12130
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ- วิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	063 942 2929
อีเมลล์	marisa_j@mail.rmutt.ac.th

