



รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพ

จากเจลาติน นาโนเซลลูโลสของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

Development of bio-based nanocomposite food packaging film from
gelatin/nano-cellulose of cannabis mixed with zinc oxide nanoparticles

โดย

จิระศักดิ์ ธาระจักร์

ภูตินันท์ เอื้อวงศ์สุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เดือน มีนาคม พ.ศ. 2568

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ชื่อเรื่อง การพัฒนาฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาติน นาโนเซลลูโลส
ของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ชื่อนักวิจัยโครงการ 1. นายจิระศักดิ์ ธาระจักร์ หัวหน้าโครงการวิจัย
2. ภูตินันท์ เอื้อวงศ์สุวรรณ ผู้ร่วมโครงการวิจัย

แหล่งทุน งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)
กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

บทคัดย่อ

ลำต้นของกัญชาเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม สามารถนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ โดยนำมาสกัดเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กเพื่อผลิตเป็นวัสดุผสมฟิล์มบาง (nanocomposite film) โดยในกระบวนการสกัดเส้นใยกัญชาประกอบด้วย 3 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้ 1. กระบวนการ Alkali treatment 2. กระบวนการ Bleaching (Delignification) และ 3. กระบวนการ Acid hydrolysis เส้นใยกัญชาที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวจะถูกกำจัดส่วนประกอบที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) และลดขนาดเส้นใยเซลลูโลส (cellulose) ให้เป็นนาโนเซลลูโลส (nano cellulose) เส้นใยนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้จะถูกตรวจสอบวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR (Fourier transform infrared spectrometer) ลักษณะของเส้นใยนาโนเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) และดัชนีความเป็นผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) จากกระบวนการสกัดดังกล่าว พบว่าสามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และมีขนาดเส้นใยกัญชา 60-100 นาโนเมตร เมื่อนำเส้นใยกัญชาที่สกัดได้ผสมกับฟิล์มเจลาติน (Gelatin) ผสมกลีเซอรอล (Glycerol) ด้วยกระบวนการหล่อฟิล์ม (casting films method) พร้อมทั้งผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (n-ZnO) เพื่อเพิ่มความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (anti-bacteria) โดยพบว่าสามารถยับยั้งเชื้อ สแตปฟีโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) เชื้อบาซิลลัส ซับทีลิส (*Bacillus subtilis*) เชื้อเอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*) แต่ไม่ส่งผลต่อแซคคาโรมายซีส เซอริวิสเซีย (*Saccharomyces cerevisiae*) ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ทางชีวภาพ

คำสำคัญ : ฟิล์มบรรจุอาหาร วัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพ เจลาติน นาโนเซลลูโลสของกัญชา
อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

Title Development of bio-based nanocomposite food packaging film from gelatin/nano-cellulose of cannabis mixed with zinc oxide nanoparticles

Name of researcher 1. Mr. Jirasak Tharajak Head of research project
2. Mr. Putinun Uawongsuwan Sub-investigator

Source of Funding Budget expenditure for fiscal year 2024

Abstract

The cannabis stem is an industrial waste material that can be economically value-added by extraction into small fibers for producing nanocomposite films. The extraction process of cannabis fibers involves three sequential steps: (1) alkali treatment, (2) bleaching (delignification), and (3) acid hydrolysis. Through these processes, amorphous regions are eliminated and cellulose fiber sizes are reduced to nano-scale dimensions, resulting in nanocellulose. Extracted nanocellulose fibers are chemically characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), morphologically characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), and crystallinity is determined by X-ray Diffractometry (XRD). The results indicate successful removal of hemicellulose and lignin, with cannabis fiber sizes reduced to between 60-100 nanometers. Subsequently, the extracted nanocellulose fibers are combined with gelatin and glycerol using a casting film method, and zinc oxide nanoparticles (n-ZnO) are incorporated to enhance antibacterial properties. The resultant films demonstrate effective antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, and *Escherichia coli*, while exhibiting no inhibitory effect on *Saccharomyces cerevisiae*, indicating biocompatibility.

Key words : food packaging film, bio-based nanocomposite, gelatin, nano-cellulose of cannabis, zinc oxide nanoparticles

กิตติกรรมประกาศ

การพัฒนาฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาติน นาโนเซลลูโลส ของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า สร้างผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมาต่อยอดใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สร้างโอกาสในการแข่งขัน ทางเศรษฐกิจให้กับประเทศไทย ซึ่งคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมที่มอบทุนวิจัยภายใต้งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 รหัสโครงการ 4709365 ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ และเทคโนโลยีการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และบริการ (SISC) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (ศูนย์พระนครเหนือ) ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือ ในการวิเคราะห์ข้อมูลและคำแนะนำในการดำเนินการงานวิจัย และขอขอบคุณ นายนิธิกร เขียวไขกาน นางสาวณัฏฐินี ศรีบุญวงศ์ และนางสาวณัฐพร อรรถวิล นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ และเทคโนโลยีการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เป็นผู้ช่วยวิจัยในโครงการดังกล่าว

อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะทำให้เกิดคุณประโยชน์และมีคุณูปการต่อ การศึกษาหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของชุดโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4. ระเบียบวิธีวิจัยและวิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 นาโนเซลล์โลส	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	11
3.1 แผนดำเนินงานขั้นตอนการทดลอง	11
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์การทดลอง	13
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	14
3.4 การตรวจสอบและทดสอบนาโนเซลล์โลส	15
บทที่ 4 ผลการวิจัย	17
4.1 การสกัดนาโนเซลล์โลส	17
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกัญชาและเส้นใยนาโนเซลล์โลส	19

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2 फिल्मบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพ	21
4.2.1 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile test)	22
4.2.2 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	27
5.1 สรุปผลการทดลอง	27
5.2 ข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	28
ประวัตินักวิจัย	29

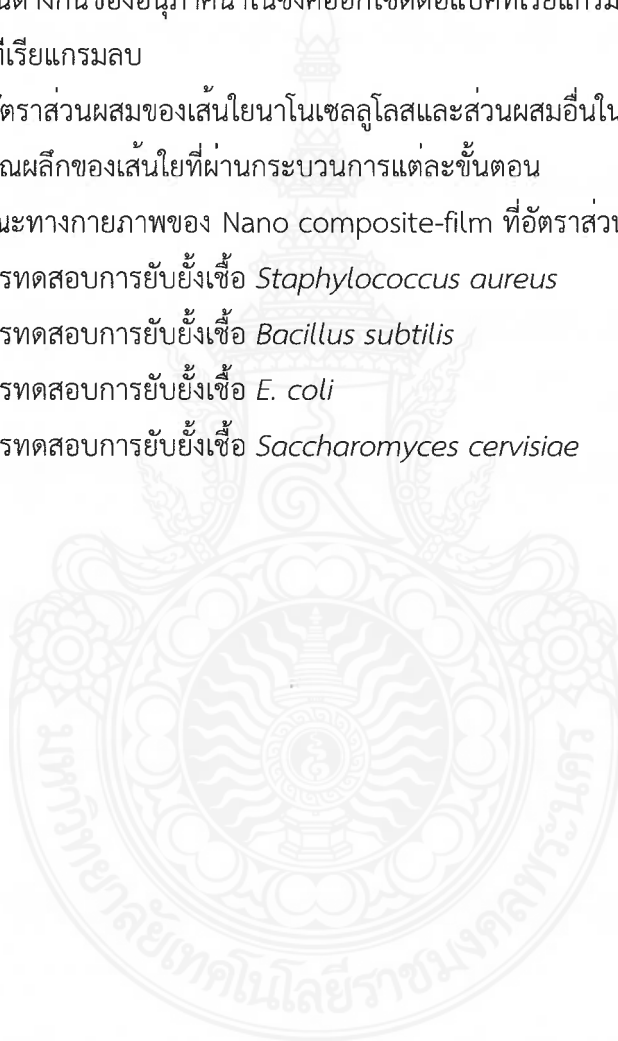


สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1. เส้นใยเซลลูโลส	4
2. รูปแบบนาโนเซลลูโลส	5
3. รูปแบบกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส	5
4. ขั้นตอนการสกัดนาโนเซลลูโลส	6
5. การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวที่จุดแตกหักของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพเจลาตินและเจลาติน/ซีซี	8
6. การเปรียบเทียบโมดูลัสแรงดึงของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพเจลาติน/ซีซี	8
7. ขั้นตอนการสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชกล้วย	14
8. เครื่อง Fourier transform-infrared spectroscopy (FTIR)	15
9. เครื่อง X-ray diffraction (XRD)	16
10. เครื่องเคลือบฟิล์มบาง	16
11. สเปกตรัม FT-IR ของเส้นใยกล้วยที่ผ่านกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส	18
12. XRD pattern ของเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดในแต่ละขั้นตอน	19
13. ลักษณะของเส้นใยกล้วยจากกระบวนการสกัดเส้นใย	20
14. ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกล้วยที่ผ่านกระบวนการสกัดเส้นใยนาโนเซลลูโลสของแต่ละขั้นตอน	21
15. ค่าเฉลี่ยของค่าโมดูลัสของฟิล์มตามสูตรต่าง ๆ	23
16. ค่าเฉลี่ยของค่าความเค้นของฟิล์มตามสูตรต่าง ๆ	24
17. ค่าเฉลี่ยของความเครียดของฟิล์มตามสูตรต่าง ๆ	24

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. สมบัติของนาโนเซลลูโลส	7
2. การยับยั้งของฟิล์มคอมโพสิตเจลาตินหนังไก่/แป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นต่างกันของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ	9
3. สูตรอัตราส่วนผสมของเส้นใยนาโนเซลลูโลสและส่วนผสมอื่นในการขึ้นรูป	15
4. ปริมาณผลึกของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการแต่ละขั้นตอน	19
5. ลักษณะทางกายภาพของ Nano composite-film ที่อัตราส่วนผสมต่างกัน	22
6. ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ <i>Staphylococcus aureus</i>	25
7. ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ <i>Bacillus subtilis</i>	25
8. ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ <i>E. coli</i>	26
9. ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	26



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พืชกล้วยาเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมในการปลูกเพื่อสร้างรายได้และพัฒนาคุณภาพชีวิตให้กับเกษตรกร โดยในการปลูกพืชในกลุ่มของกล้วยานั้นจะมุ่งเน้นการได้มาซึ่งช่อดอกเป็นสำคัญ หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ในส่วนของต้นกล้วยนั้นจะกลายเป็นเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร เกษตรกรส่วนหนึ่งจึงนำส่วนเหลือทิ้งมาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการนำไปทำปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้อีกช่องทางหนึ่ง อย่างไรก็ตาม พืชกล้วยาเป็นพืชที่อายุสั้น ในการปลูกแต่ละรอบการผลิตจะมีระยะเวลาประมาณ 4-6 เดือน ดังนั้นในหนึ่งปีจะมีต้นกล้วยาถูกผลิตออกมาเป็นปริมาณมาก ในงานวิจัยนี้จึงดำเนินการนำต้นกล้วยามาสกัดนาโนเซลลูโลสเพื่อพัฒนาเป็นฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพ ซึ่งจะเป็นช่องทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรให้กับเกษตรกรต่อไป ซึ่งในการสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชกล้วยานั้นมีวิธีการที่คล้ายคลึงกันกับการสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชชนิดอื่น แต่สิ่งจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาวิจัยเนื่องจากองค์ประกอบของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทั้งทางด้านองค์ประกอบและปริมาณการสกัดนาโนเซลลูโลสให้ได้ปริมาณและคุณภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องดำเนินการศึกษา สำหรับการนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้นาโนเซลลูโลสของกล้วยาผสมกับเจลาตินและอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังนั้นองค์ประกอบ และอัตราส่วนที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นในการศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพ มีสมบัติทางกล และการยับยั้งเชื้อที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของชุดโครงการ

1. เพื่อพัฒนาฟิล์มบรรจุอาหารจากวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาติน นาโนเซลลูโลสของกล้วยาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์
2. เพื่อสกัดนาโนเซลลูโลสจากกล้วยา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	เส้นใย : ต้นกล้วย แผ่นฟิล์ม : เจลลาติน กลีเซอรอล ซิงค์ออกไซด์
กระบวนการขึ้นรูป	การสกัดนาโนเซลลูโลส - Alkaline treatment ใช้สารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 4wt% อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง - Delignification ใช้สารละลาย Sodium chlorite (NaClO₂) ความเข้มข้น 2wt% ใช้สารละลาย Acetic acid ความเข้มข้น 3wt% อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง - Acid hydrolysis ใช้สารละลาย Sulfuric Acid (H₂SO₄) ความเข้มข้น 64wt% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส การขึ้นรูปฟิล์ม - Casting films
การทดสอบวิเคราะห์ - ลักษณะทางกายภาพ - หมู่ฟังก์ชัน - โครงสร้างผลึก - สมบัติทางกล - การทดสอบการยับยั้งเชื้อ	SEM (Scanning Electron Microscopy) FTIR (Fourier Transform Spectrometer) XRD (X-ray diffractometer) ความต้านทานแรงดึง (Tensile Test) Anti-bacteria Test

1.4. ระเบียบวิธีวิจัยและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาบทความวิชาการที่เกี่ยวข้อง รวบรวมข้อมูล และวางแผนการดำเนินงาน
2. สั่งซื้ออุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย
3. ทำการสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชกล้วยา และตรวจสอบลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี
4. ทำการพัฒนาฟิล์มบรรจุอาหารจากวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาตินนาโนเซลลูโลสของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์
5. ศึกษาโครงสร้าง การกระจายตัว สมบัติทางกลของฟิล์มตัวอย่าง และการยับยั้งเชื้อ
6. วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ด้านวิชาการ

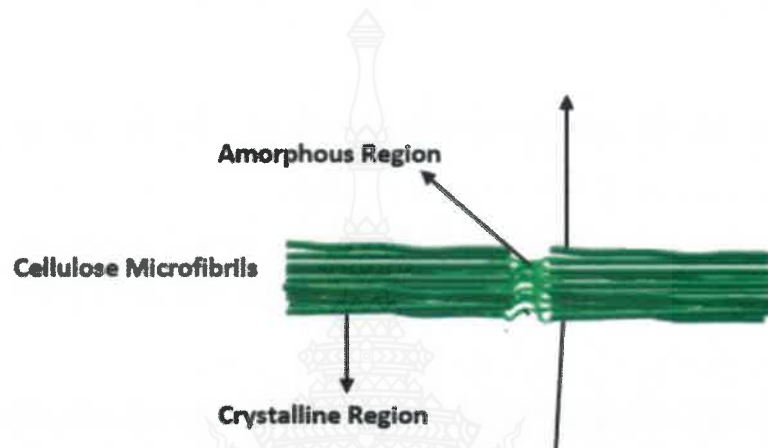
- สามารถสร้างฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาตินนาโนเซลลูโลสของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชกล้วยา
- ด้านสิ่งแวดล้อม
- ปัจจุบันพืชกล้วยากลายเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ แต่สังคมยังขาดงานวิจัยและองค์ความรู้และการใช้ประโยชน์ งานวิจัยเรื่องนี้จะป็นหนึ่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบของการเลือกใช้และพัฒนาพืชกล้วยา

ด้านนโยบาย

- จากนโยบายแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 13 การลดการเหลื่อมล้ำทางสังคมของประชากร
- ด้านเศรษฐกิจ
- เพิ่มมูลค่าเศษเหลือทางการเกษตร เพิ่มช่องทางใช้ประโยชน์จากพืชทางการเกษตร

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นาโนเซลลูโลส



รูปที่ 1 เส้นใยเซลลูโลส [1]

นาโนเซลลูโลส เป็นผลผลิตจากชีวภาพ โดยทั่วไปถูกสกัดจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของพืช ลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสแสดงได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะมีส่วนของผลึกแข็งและส่วนที่เป็นอสัณฐาน การสกัดนาโนเซลลูโลสด้วยวิธีการที่ต่างกันส่งผลต่อรูปแบบหรือชนิดของนาโนเซลลูโลสที่ต่างกัน โดยทั่วไปจะแบ่งชนิดของนาโนเซลลูโลสออกเป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

1. ผลึกนาโนเซลลูโลส Cellulose Nanocrystals (CNC)

ผลึกนาโนเซลลูโลสเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสจากกรด มีลักษณะเป็นเข็มแหลม นิยมนำมาทำวัสดุผสมชีวภาพ

2. เส้นใยนาโนเซลลูโลส Cellulose Nanofibers (CNF)

เส้นใยนาโนเซลลูโลส (CNF) เป็นที่นิยมนำมาใช้ขึ้นรูปเป็นวัสดุผสม โดยการได้มาซึ่งเส้นใยนาโนเซลลูโลสต้องใช้พลังงานสูงเพื่อปรับสภาพจากเส้นใยเซลลูโลสเป็นเส้นใยระดับนาโน

3. นาโนเซลลูโลสจากแบคทีเรีย Bacterial Nanocellulose (BNC)

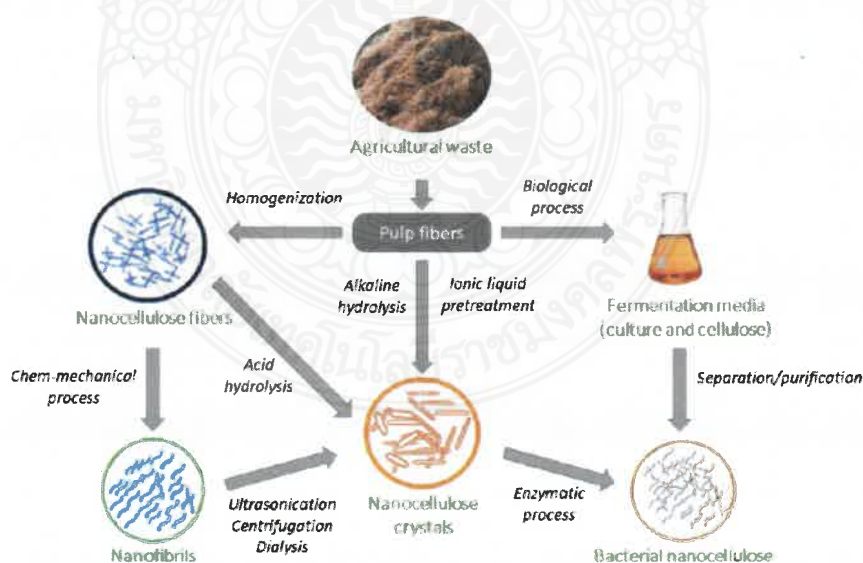
เป็นเซลลูโลสที่ถูกสกัดขึ้นโดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายวัสดุโดยผ่านกระบวนการที่ประกอบด้วยน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจนเกิดเป็นนาโนเซลลูโลสขึ้น โดยกระบวนการผลิตเซลลูโลสแบบนี้จะให้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก



รูปที่ 2 รูปแบบนาโนเซลลูโลส [1]

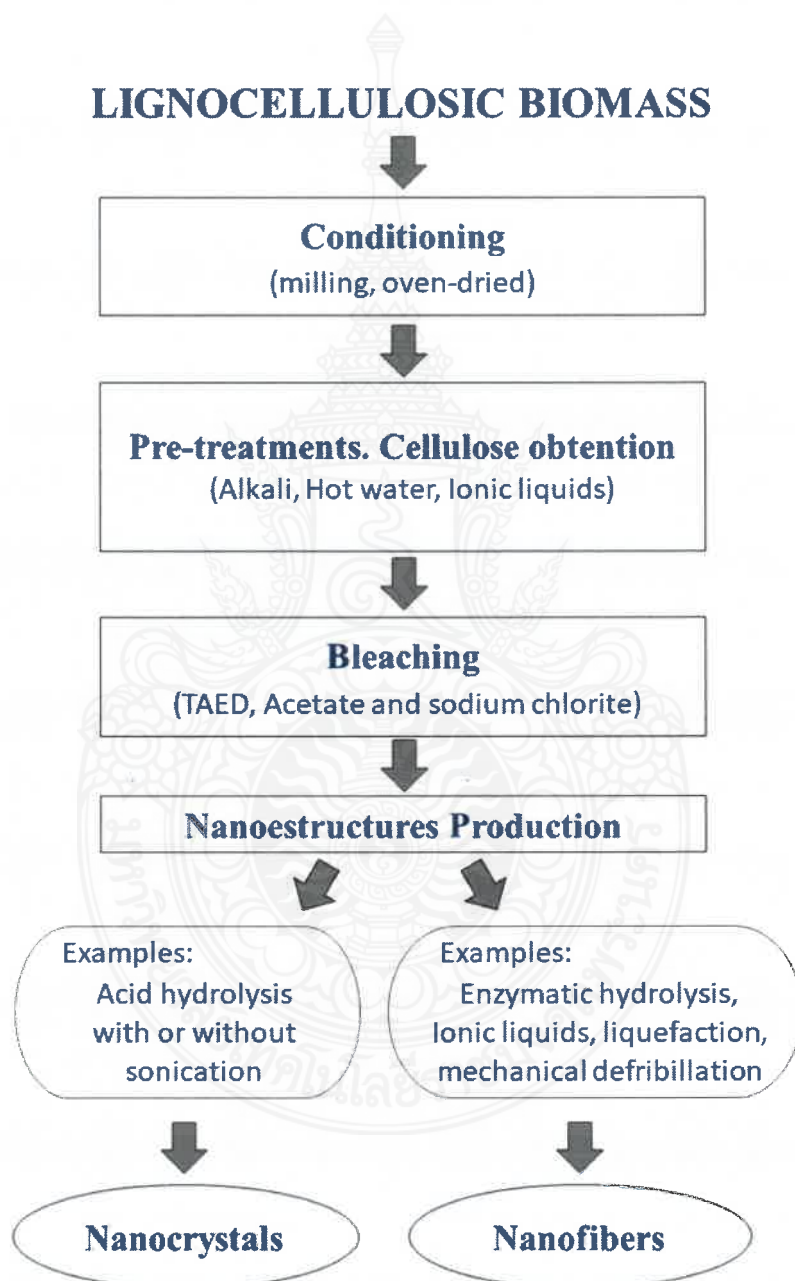
ขั้นตอนการสกัดนาโนเซลลูโลส

ในกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จะมีขั้นตอนกระบวนการสกัดที่มีความหลากหลาย ซึ่งในแต่ละขั้นตอนวิธีการจะได้มาซึ่งนาโนเซลลูโลสที่อยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกันไป แสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส [1]

ขั้นตอนการสกัดลิกนาโนเซลลูโลสและเส้นใยนาโนเซลลูโลส ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน เช่นเดียวกัน คือ 1. Dewax fiber 2. Delignification 3. Bleaching และ 4. Extraction โดยในขั้นตอนที่ 4 ในกระบวนการสกัดที่จะส่งผลต่อลักษณะของนาโนเซลลูโลสให้มีความแตกต่างกัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 โดยสมบัติของนาโนเซลลูโลสชนิดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 1



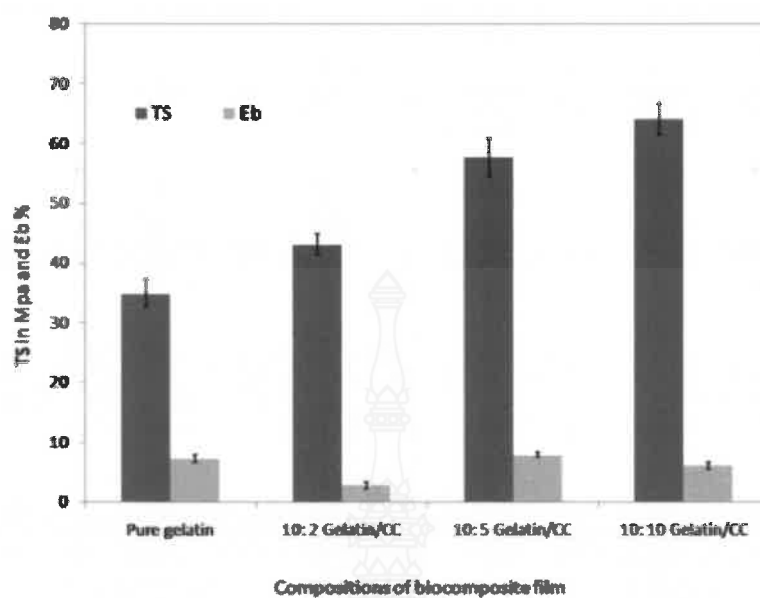
รูปที่ 4 ขั้นตอนการสกัดนาโนเซลลูโลส [1]

ตารางที่ 1 สมบัติของนาโนเซลลูโลส [2]

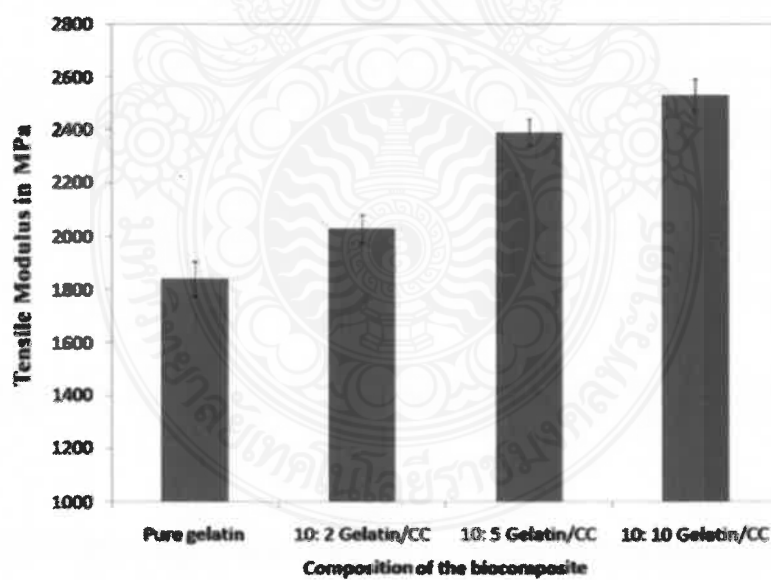
Properties	CNFs	CNCs	BNCs
Diameter (nm)	<100	1–100	20–100
Length (nm)	Micrometer range	5–200	Micrometer range
Morphology	Long Chain	Rod/needle	Twisted ribbon
Tensile Modulus (GPa)	100	130	80–110
Tensile Strength (GPa)	0.8–1.0	8–10	1.5–1.7
Crystallinity (%)	50–65	72–80	75–80
Aspect Ratio	60–100	10–50	~50
Specific Surface Area (m ² /g)	51	533	125

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bhowmik, S. และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาฟิล์มเจลาตินเสริมแรงด้วยผลึกเซลลูโลส ที่สกัดจากฝ้ายสำหรับการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฐานะวัสดุปิดแผล เนื่องจากมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพและฤทธิ์ทางชีวภาพที่ยอดเยี่ยม นอกจากนี้ เจลาตินยังช่วยในการสมานแผลและเซลลูโลสผลึก ซึ่งเป็นสารเติมแต่งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของมันได้ สารสกัดผลึกเซลลูโลสถูกเตรียมโดยการไฮโดรไลซิส และพบว่าอัตราส่วนผสมของผลึกเซลลูโลส มีผลต่อสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับน้ำ เมื่อทำการตรวจสอบ ลักษณะทางกายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน การทดสอบความแข็งแรง ในการดึง และการทดสอบการดูดซึมน้ำ ฟิล์มไบโอคอมโพสิตที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็น การกระจายตัวของผลึกเซลลูโลสสามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันภายในเมทริกซ์เจลาติน ส่งผลให้ มีการยึดเกาะที่แข็งแรงระหว่างเมทริกซ์และการเสริมแรง ผลการทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และความเป็นพิษต่อเซลล์ในหลอดทดลอง พบว่ามีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ยอดเยี่ยมโดยไม่มี ความเป็นพิษต่อเซลล์ การศึกษาการรักษาแผลในร่างกายนกแบบจำลองสัตว์แสดงให้เห็นว่า การรักษาเพิ่มขึ้น 40% เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ปิดแผลด้วยวัสดุปิดแผลแบบธรรมดา ในงานวิจัย ยังได้กล่าวถึงการทดสอบการวิเคราะห์สมบัติทางกล (mechanical properties analysis) โดยเป็นการศึกษาความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของวัสดุ ซึ่งสามารถแสดงผลได้โดยค่าของแรงดึง (tensile strength) อัตราการยืดตัว (elongation at break) และโมดูลัสแรงดึง (tensile modulus) ของวัสดุนั้น ๆ



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวที่จุดแตกหักของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพเจลาตินและเจลาติน/ซีซี [3]



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบโมดูลัสแรงดึงของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพเจลาติน/ซีซี [3]

Lee, S. และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาลักษณะของฟิล์มคอมโพสิตเจลาตินจากหนังไก่ผสมแป้งมันสำปะหลังผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (0–5%) โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบหล่อ การผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 5% ช่วยเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำ ($1.52\text{--}1.93 \times 10^{-7}$ gmm/cm²hPa) และอุณหภูมิการหลอมเหลวของฟิล์ม ความแข็งแรงแรงดึง (22.96–50.43 MPa) เพิ่มขึ้น ในขณะที่การยืดตัวขณะขาดลดลงเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้โครงสร้างของฟิล์มยังได้รับการตรวจสอบจากสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดแบบแปลงฟูเรียร์ ผลการยับยั้งสำหรับแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) (16–20 มม.) และแกรมลบ (*Escherichia coli*) (15–20 มม.) พบว่ามีความสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีขึ้นสำหรับฟิล์มที่มีซิงค์ออกไซด์ 5% โดยรวมแล้ว พบว่าฟิล์มคอมโพสิตเจลาตินจากหนังไก่ผสมแป้งมันสำปะหลังที่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 3% มีสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยแสดงสมบัติทางกายภาพ กลไก และสมบัติต้านแบคทีเรียที่ดี ฟิล์มคอมโพสิตที่ทำจากเจลาตินที่มีอนุภาคนาโนแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่แข็งแกร่งสำหรับการใช้ในวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ตารางที่ 2 การยับยั้งของฟิล์มคอมโพสิตเจลาตินหนังไก่/แป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นต่างกันของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ [4]

Film formulation	Zone of inhibition (mm)	
	Gram-positive bacteria (<i>S.aureus</i>)	Gram-negative bacteria (<i>E.coli</i>)
A	0	0
B	8–11	8–10
C	10–15	11–15
D	16–20	15–20

A is film with 0% zinc oxide nanoparticles; B is film with 1% zinc oxide nanoparticles; C is film with 3% zinc oxide nanoparticles; and D is film with 5% zinc oxide nanoparticles. Data reported as range in mm

Li, J. และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาเซลลูโลสซึ่งเป็นไบโอโพลิเมอร์ที่พบมากที่สุดในโลกซึ่งสกัดขึ้นโดยพืช แบคทีเรีย และสัตว์ โดยมีคุณสมบัติขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเซลลูโลสที่มี D-กลูโคสที่เชื่อมโยงกับ β -1,4 จะรวมตัวกันเป็นโครงสร้างแบบลำดับชั้นในไมโครไฟบริลซึ่งสามารถแปรรูปเป็นนาโนเซลลูโลสที่มีความยาวหรือความกว้างในระดับนาโนได้หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมการต่าง ๆ เช่น การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ การออกซิเดชันแบบ TEMPO และคาร์บอกซิเมทิล นาโนเซลลูโลสสามารถแบ่งประเภทหลัก ๆ ได้เป็นเซลลูโลสนาโนคริสตัล (CNC) ที่ผลิตขึ้นโดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด เซลลูโลสนาโนไฟบริล (CNF) ที่เตรียมขึ้นโดยการทำให้

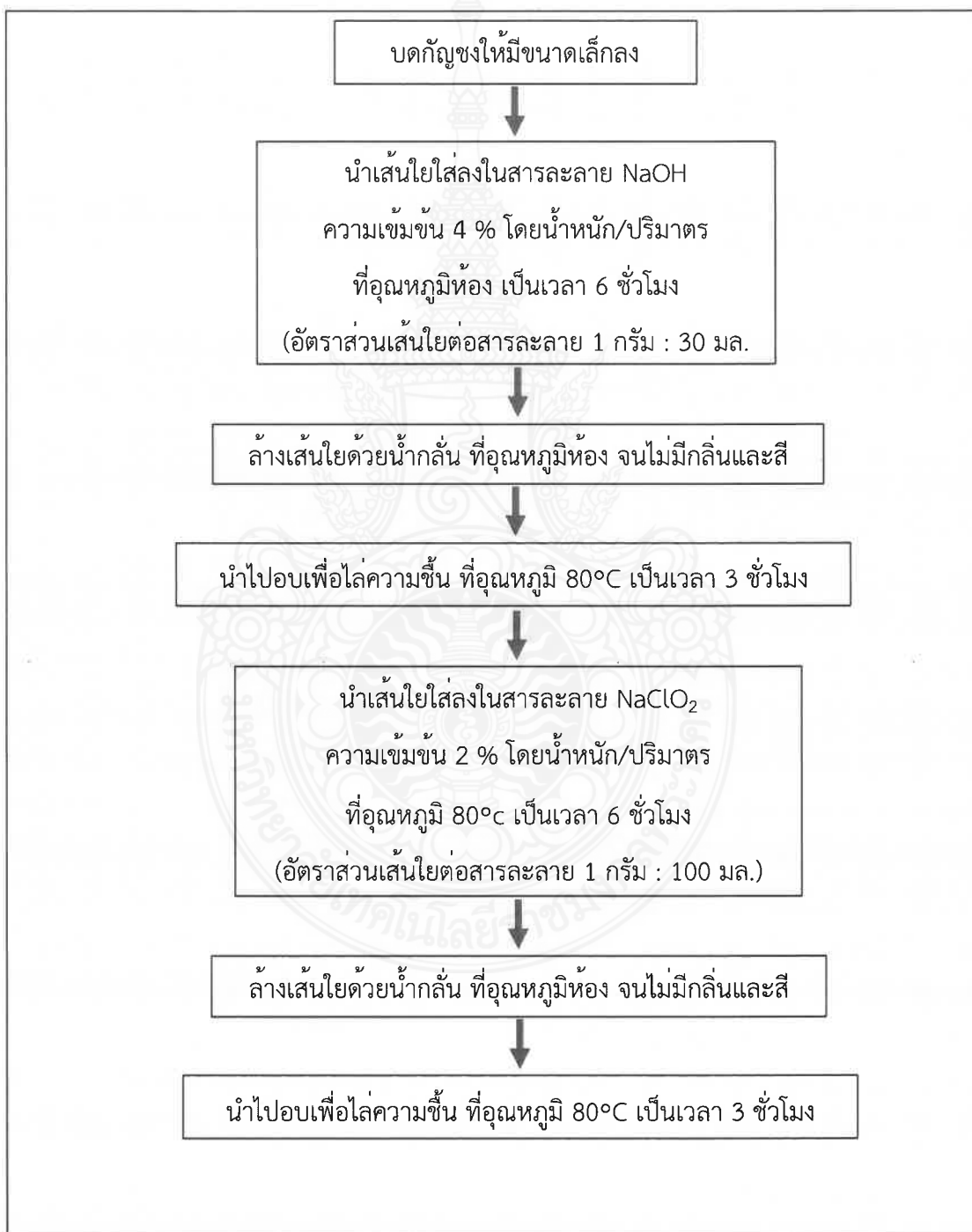
บริสุทธิ์ การทำให้เป็นของเหลวด้วยไมโครฟลูอิดิเซชัน การทำให้เป็นคลื่นเสียง การบดด้วยลูกบอล การชนกันในน้ำ (ACC) หรือเซลล์โลสแบคทีเรีย (BC) ที่สกัดขึ้นโดยแบคทีเรียสายพันธุ์ *Acetobacter* เนื่องจากไม่มีพิษ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและเข้ากันได้ทางชีวภาพได้ดี อัตราส่วน กว้างยาวสูง ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนต่ำ ความแข็งแรงเชิงกลที่ดี และสมบัติทางแสงที่เป็นเอกลักษณ์นาโนเซลล์โลสจึงถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาเซลล์โลสนาโนคอมโพสิตต่าง ๆ ผ่านการหล่อด้วยสารละลาย การประกอบแบบชั้นต่อชั้น (LBL) การอัดรีด การเคลือบ การสร้างเจล การอบแห้งแบบพ่นฝอย การปั่นไฟฟ้าสถิต การดูดซับนาโนอิมัลชัน หรือเทคนิคอื่น ๆ ซึ่งได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลาย วัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารควรมีสมบัติการห่อและสมบัติเชิงกลที่ดี มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและประสิทธิภาพการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพอาหาร และอายุการเก็บรักษา ภายใต้แรงผลักดันจากตลาดบรรจุภัณฑ์อาหารสีเขียวที่เพิ่มมากขึ้น การผลิตนาโนเซลล์โลสได้พัฒนาจากระดับห้องปฏิบัติการไปสู่ระดับนำร่องหรือแม้แต่ระดับอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่ในยุโรป แอฟริกา และเอเชีย แม้ว่าการพัฒนาวิธีการเตรียมที่มีประสิทธิภาพคุ้มค่า และการปรับแต่งคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์อย่างแม่นยำจะเป็นกุญแจสำคัญในการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป



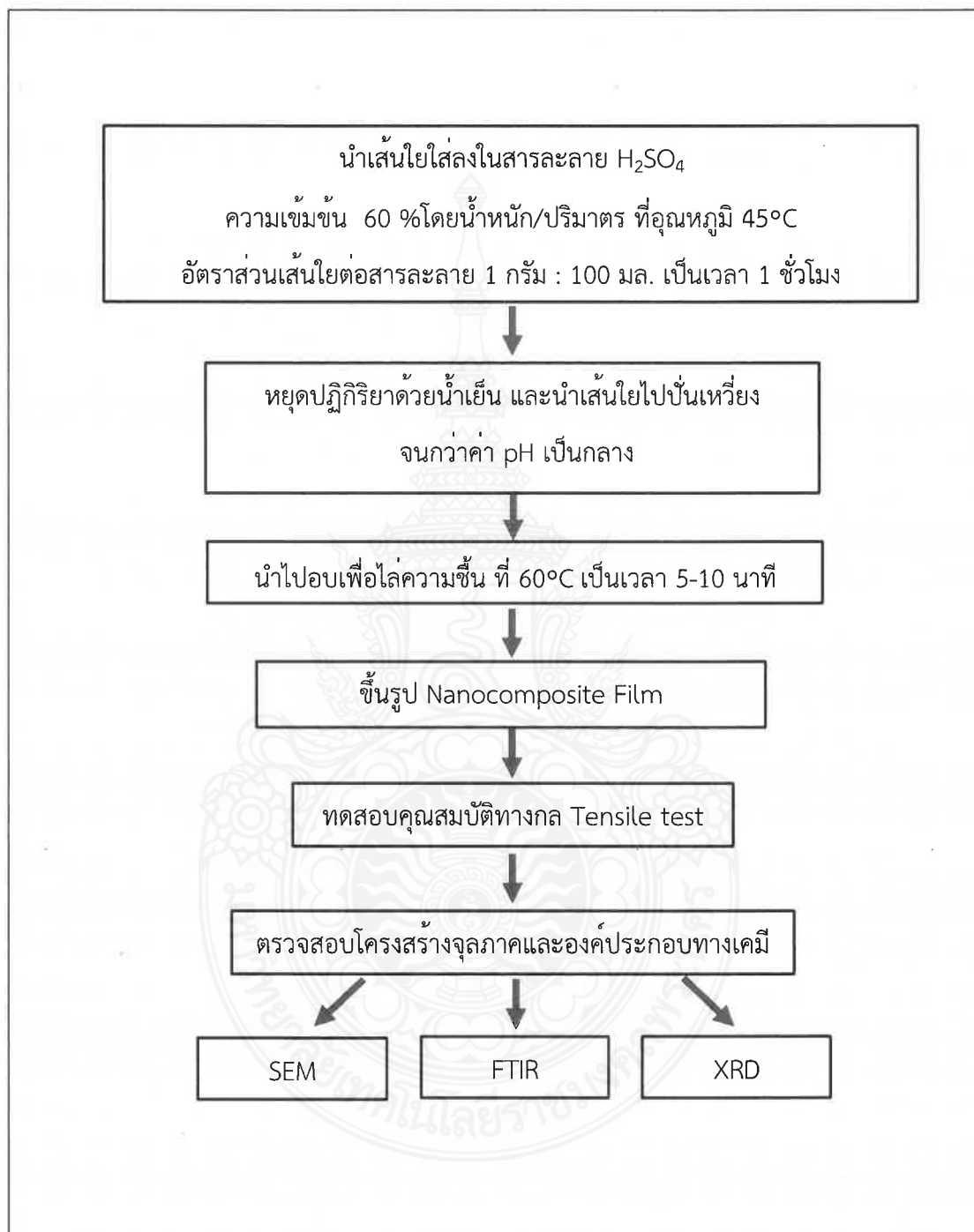
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนดำเนินงานขั้นตอนการทดลอง

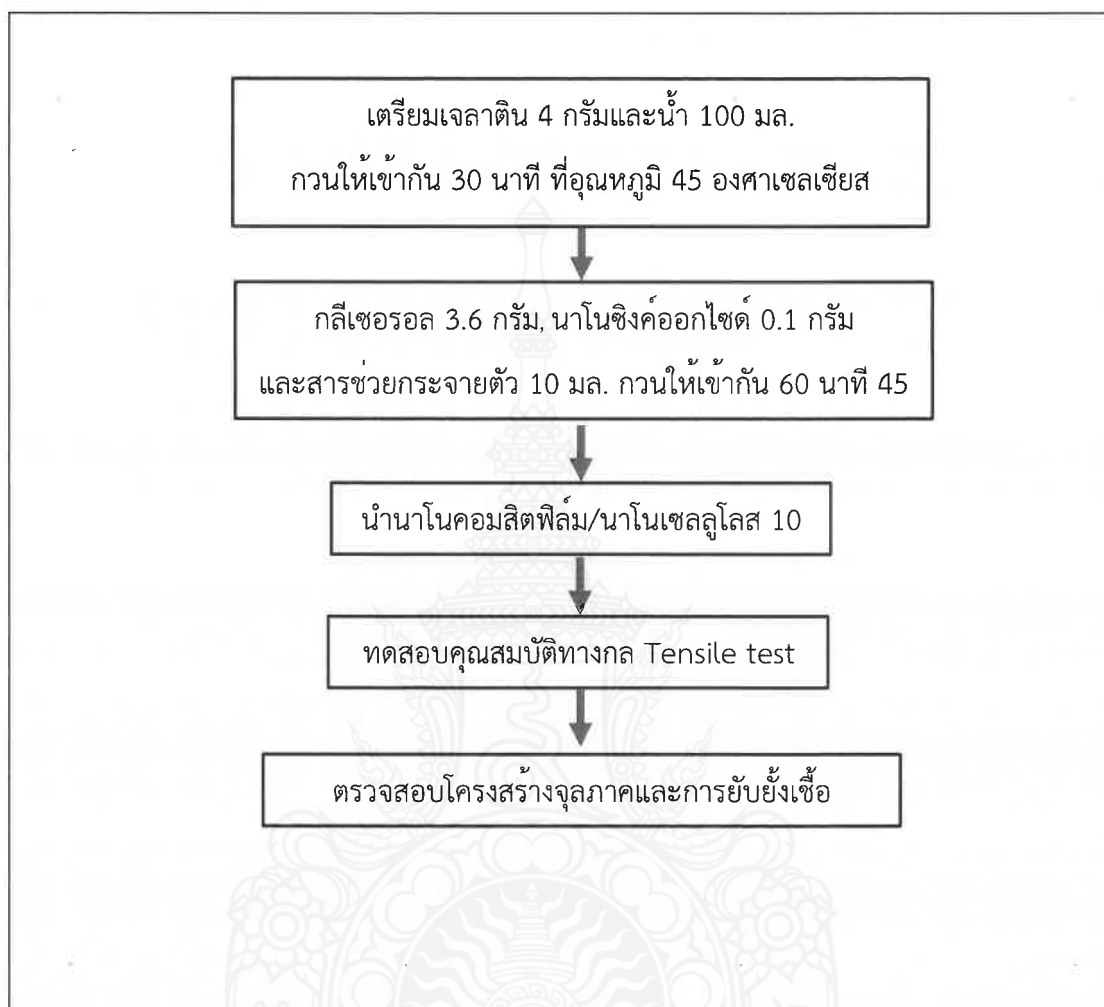
3.1.1 กระบวนการสกัดเส้นใยเซลลูโลส



3.1.2 กระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส



3.1.3 กระบวนการขึ้นรูป Nano Composite Film



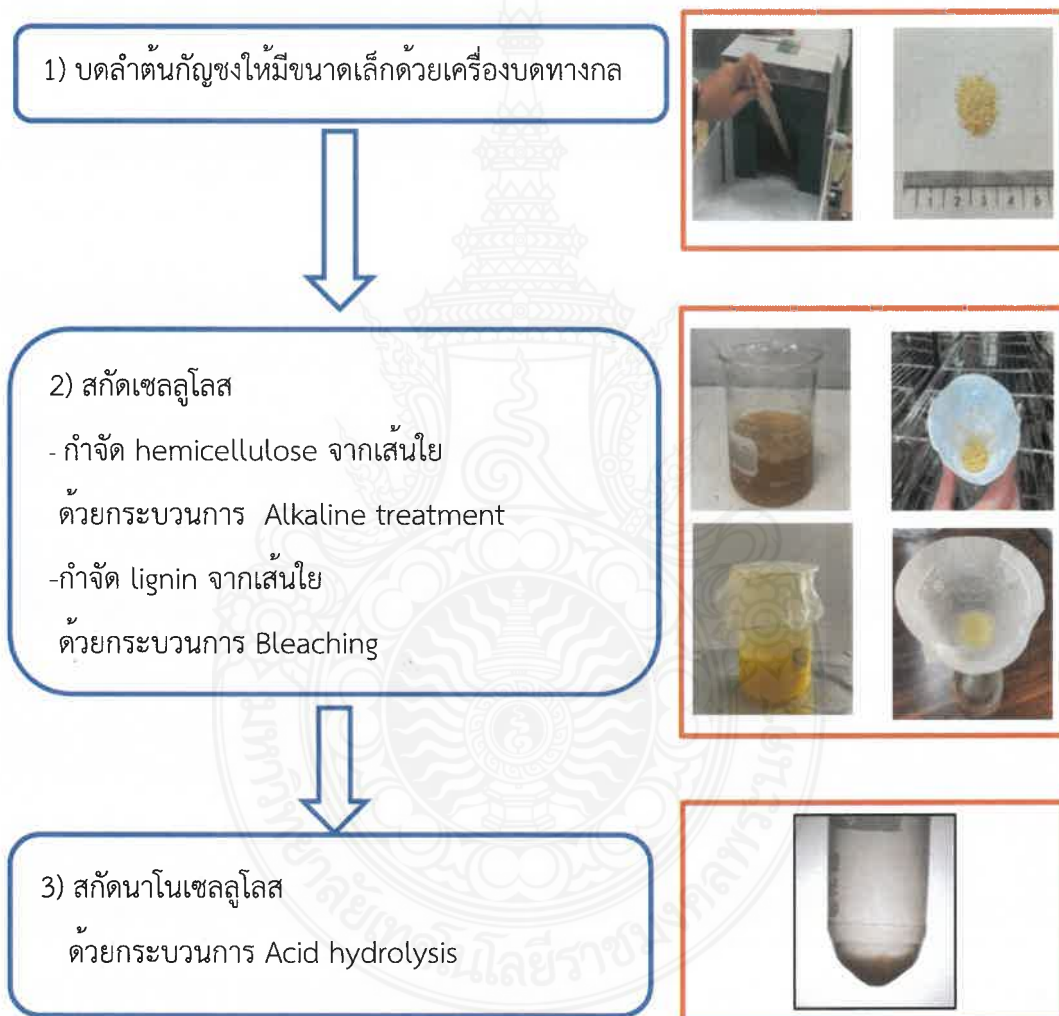
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์การทดลอง

สารเคมี	อุปกรณ์
1. NaOH	1. ปีกเกอร์
2. NaClO ₂	2. แท่งแก้วคนสาร
3. Acetic acid	3. กระจกตาชกรอง
4. H ₂ SO ₄	4. เตาให้ความร้อน
5. n-ZnO	5. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
6. Glycerol	
7. Gelatin	
8. เส้นใยกล้วย	

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชกล้วยา

ในการสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชกล้วยา เริ่มจากกระบวนการย่อยกล้วยาให้มีขนาดเล็กจนอยู่ในระดับนาโน โดยแบ่งขั้นตอนสกัดออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1. ขั้นตอนการบดต้นกล้วยาให้มีขนาดเล็กด้วยกระบวนการทางกล 2. การสกัดเซลลูโลสด้วยกระบวนการทางเคมี และ 3. การสกัดนาโนเซลลูโลสด้วยกระบวนการทางเคมี โดยแสดงขั้นตอนการสกัดได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขั้นตอนการสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชกล้วยา

3.3.2 การขึ้นรูปฟิล์มบรรจุอาหารของวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาตินนาโนเซลลูโลสของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

จากกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส สามารถนำเส้นใยนาโนเซลลูโลสมาผสมกับวัสดุขึ้นรูปฟิล์มเจลาติน กลีเซอรอล และซิงค์ออกไซด์ เป็น Nanocomposite film สามารถแสดงในปริมาณอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สูตรปริมาณอัตราส่วนผสมของเส้นใยนาโนเซลลูโลสและส่วนผสมอื่นในการขึ้นรูป

Conditions	เจลาติน (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	เส้นใยนาโน เซลลูโลส (มิลลิลิตร)	สารช่วยกระจายตัว (กรัม)
C1	4	3.6	-	-	-
C2	4	3.6	-	10	-
C3	4	3.6	0.1	-	10
C4	4	3.6	0.1	10	10

3.4 การตรวจสอบและทดสอบนาโนเซลลูโลส

- 1) ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของนาโนเซลลูโลส โดยทดสอบ FTIR (Fourier transform-infrared spectroscopy)



รูปที่ 8 เครื่อง Fourier transform-infrared spectroscopy (FTIR)

2) วิเคราะห์โครงสร้างของนาโนเซลลูโลส โดยทดสอบ X-ray diffraction (XRD)



รูปที่ 9 เครื่อง X-ray diffraction (XRD)

3) วิเคราะห์พื้นผิวของเส้นใยนาโนเซลลูโลส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน SEM (Scanning electron microscopy)

3.1) นำเส้นใยนาโนเซลลูโลส ไปเคลือบผิวด้วยทอง เพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าได้



รูปที่10 เครื่องเคลือบฟิล์มบาง

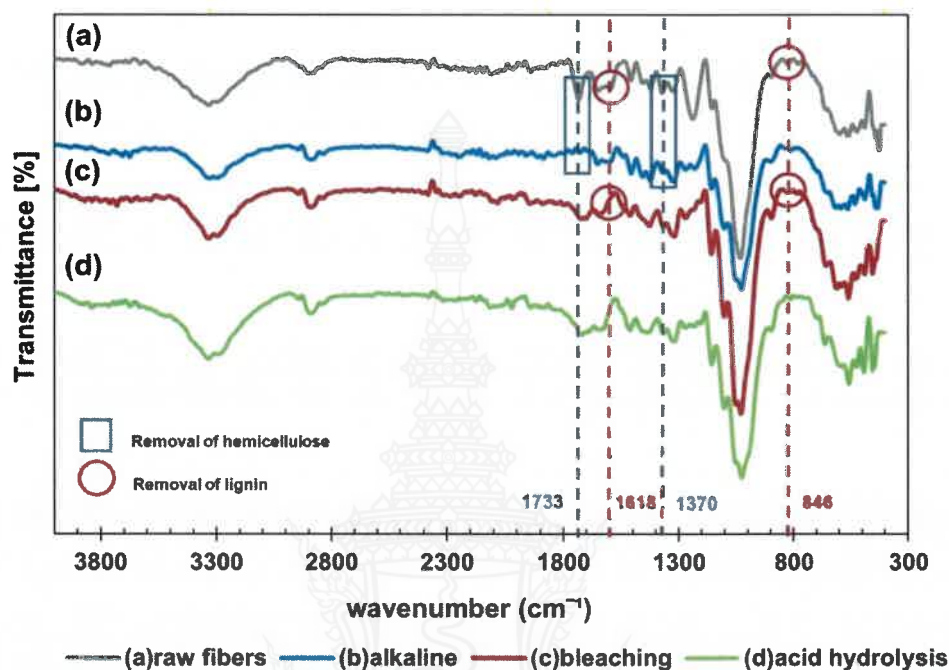
บทที่ 4 ผลการวิจัย

การพัฒนาฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาติน นาโนเซลลูโลส ของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ แบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการสกัดนาโนเซลลูโลสจากต้นกัญชา และในส่วนที่ 2 เป็นการนำเส้นใยนาโนเซลลูโลสมาขึ้นรูปเป็นฟิล์ม เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพ

4.1 การสกัดนาโนเซลลูโลส

โดยทั่วไปเส้นใยจากลำต้นของต้นกัญชา (Cannabis fibers) ประกอบด้วยเซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และไขมันต่าง ๆ ที่ยึดเกาะและเคลือบอยู่บนพื้นผิวของเส้นใย ดังนั้นในการสกัดนาโนเซลลูโลสจำเป็นต้องนำเส้นใยผ่านกระบวนการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกให้เหลือเฉพาะส่วนของโครงสร้างผลึกเซลลูโลส และนำมาใช้ในการสกัดนาโนเซลลูโลสจากต้นกัญชาต่อไป จากการวิเคราะห์เส้นใยที่ผ่านกระบวนการสกัดในแต่ละขั้นตอน มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีในแต่ละขั้นตอนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11 ผลของการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยเซลลูโลส เมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมที่ 1370 และ 1733 cm^{-1} ซึ่งเป็นสเปกตรัมที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของเฮมิเซลลูโลส พบว่าสเปกตรัมดังกล่าวมีความสูงลดลง ซึ่งแสดงถึงเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ในเส้นใยถูกกำจัดออกเมื่อผ่านกระบวนการ Alkaline Treatment (การบำบัดด้วยด่าง) โดยกระบวนการนี้ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กำจัดสารที่ไม่ใช่เซลลูโลส เช่น เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่ยึดเกาะและเคลือบผิวเส้นใย ทำให้เส้นใยมีความบริสุทธิ์และโครงสร้างเซลลูโลสที่เหลือมีความเป็นระเบียบมากขึ้น และเมื่อนำเส้นใยที่ผ่านกระบวนการ Alkaline Treatment แล้ว มาทำการ Bleaching (การฟอกสี) โดยกระบวนการนี้เป็นการฟอกสีด้วยสารออกซิไดซ์ ไฮโดรคลอไรด์ ซึ่งเป็นการกำจัดสารเจือปนและเม็ดสีที่เหลือจากขั้นตอนก่อนหน้านี้ออกไป เพื่อให้เส้นใยมีสีขาวและบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมที่ 846 และ 1618 cm^{-1} ซึ่งเป็นสเปกตรัมของลิกนินพบว่าการถูกกำจัดจากขั้นตอน bleaching และเมื่อผ่านกระบวนการ Acid Hydrolysis (การไฮโดรไลซิสด้วยกรด) ซึ่งเป็นกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส การใช้กรดซัลฟิวริกเพื่อไฮโดรไลซ์ส่วนที่ไม่มีโครงสร้างแบบผลึกหรือโครงสร้างอสัณฐานออกไป เหลือไว้เฉพาะโครงสร้างผลึกนาโนเซลลูโลสที่มีขนาดเล็กและสมบัติที่โดดเด่น ซึ่งจากการทดสอบ FTIR แสดงให้เห็น

ว่าไม่พบสเปกตรัมที่ 1370 และ 1733 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชันเฮมิเซลลูโลส และสเปกตรัมที่ 846 และ 1618 cm^{-1} ซึ่งเป็นสเปกตรัมของลิกนิน



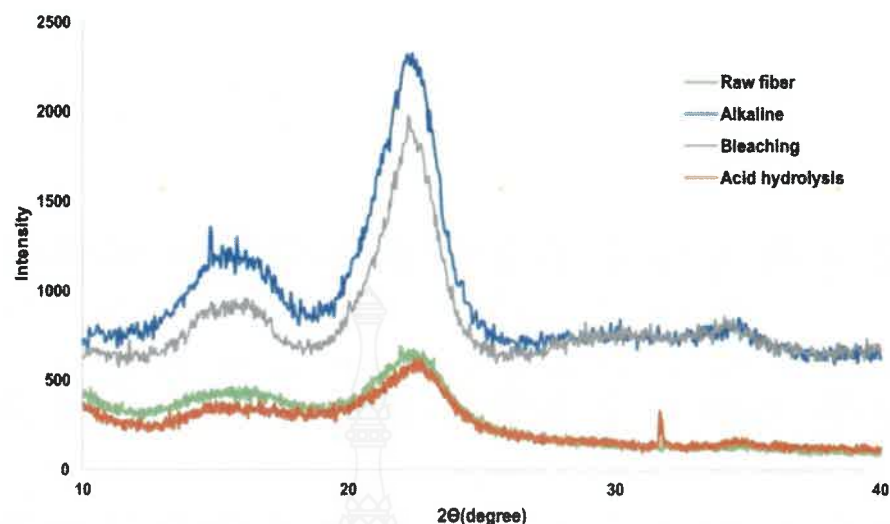
รูปที่ 11 สเปกตรัม FT-IR ของเส้นใยกล้วยงาที่ผ่านกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส

จากกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส พบว่าในแต่ละกระบวนการส่วนประกอบที่เป็นอสังฐานจะถูกกำจัดออก และเมื่อผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้ว นาโนเซลลูโลสที่เกิดขึ้นจะเป็นส่วนของผลึกของแข็งของเซลลูโลส ดังนั้นในการตรวจสอบนาโนเซลลูโลสจึงสามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ได้ ดังรูปที่ 12

ดัชนีความเป็นผลึกของเส้นใยกล้วยงาในแต่ละกระบวนการสกัดสามารถตรวจสอบโดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer (The D8 ADVANCE ECO) ที่ 2θ ระยะที่ $10^\circ - 40^\circ$ โดยใช้ X_c เป็นตัวแปรที่บอกถึงดัชนีความเป็นผลึกในสมการที่ (1)

$$X_c = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ I_{002} และ I_{am} คือความเข้มสเปกตรัมของผลึกและอสัณฐานตามลำดับ



รูปที่ 12 XRD pattern ของเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 4 ปริมาณผลึกของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการแต่ละขั้นตอน

ชิ้นงาน	2θ (am) (°)	2θ (002) (°)	X_c %
Raw fibers	18	22.6	42.48
Alkaline	18	22.6	60.31
Bleaching	18	22.6	61.45
Acid hydrolysis	18	22.6	51.53

จากตารางที่ 4 ดัชนีความเป็นผลึกของเส้นใยดิบ, alkaline, bleaching และ acid hydrolysis พบว่ามีค่าเท่ากับ 42.48%, 60.31%, 61.45% และ 51.53% ตามลำดับ ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าความเป็นผลึกของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างกระบวนการสกัด อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลส acid hydrolysis พบลักษณะการจัดเรียงผลึกในทิศทางหนึ่งเกิดขึ้นสูงซึ่งแสดงถึงการมีอยู่ของผลึกนาโนเซลลูโลสได้อย่างชัดเจน

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกัญชาและเส้นใยนาโนเซลลูโลส

ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกัญชาและเส้นใยนาโนเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดแสดงได้ดังรูปที่ 13 และรูปที่ 14 ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีด้วย FTIR ดังกล่าวข้างต้น โดยรูปที่ 13 แสดงถึงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกัญชาก่อนและหลังผ่านกระบวนการ

สกัดเส้นใยเซลลูโลส เส้นใยัญชามีลักษณะทางกายภาพเป็นเส้นใยเกาะกลุ่มกันประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นใยและส่วนที่เป็นอสังฐานแสดงได้ดังรูปที่ 13(a) เมื่อนำเส้นใยัญชามาผ่านกระบวนการ Alkaline treatment รูปที่ 13(b) พบว่าผิวของเส้นใยขรุขระน้อยลง เนื่องจากในส่วนของอสังฐานถูกกำจัดออกไปจากเส้นใย และเมื่อเส้นใยัญชามาผ่านกระบวนการทำ Bleaching พบว่าผิวของเส้นใยจะเห็นได้ว่ามีผิวที่เรียบ แสดงได้ดังรูปที่ 13(c)

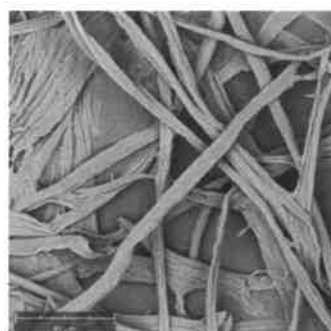


รูปที่ 13 ลักษณะของเส้นใยัญชาจากกระบวนการสกัดเส้นใย

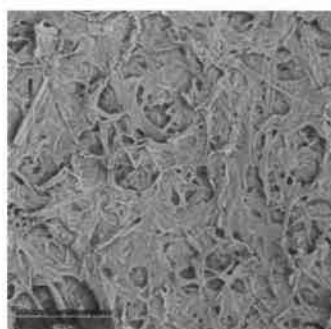
จากรูปที่ 14 (a)-(b) จะเห็นได้ว่าเส้นใยยังมีขนาดที่ใหญ่และยาวอยู่เมื่อเทียบกับรูปที่ 14(c) acid hydrolysis 60 นาที ที่ขนาดของเส้นใยใกล้เคียงกับเส้นใยนาโนเซลลูโลสในรูปที่ 14(d) และจากรูปที่ 14(c) พบว่ามีลักษณะเป็นแผ่นประกอบด้วยส่วนที่เป็นอสังฐานและส่วนที่เป็นผลึกนาโนเซลลูโลส ซึ่งเกิดจากกระบวนการกำจัดอสังฐานออกไม่หมด



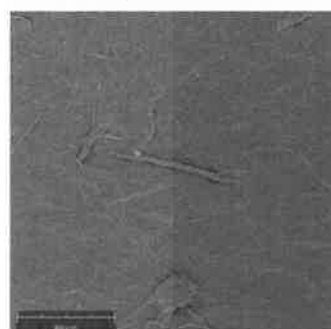
a. acid hydrolysis 20 นาที



b. acid hydrolysis 40 นาที



c. acid hydrolysis 60 นาที



d. เส้นใยนาโนเซลลูโลส (1000X)

รูปที่ 14 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการสกัดเส้นใยนาโนเซลลูโลส
ของแต่ละขั้นตอน

4.2 फिल्मบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาติน นาโนเซลลูโลส ของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

การขึ้นรูปฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาติน นาโนเซลลูโลส
ของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นการนำเจลาตินมาขึ้นรูปเป็นฟิล์ม เพิ่มสมบัติความ
เหนียวด้วยกลีเซอรอล เพิ่มความแข็งแรงโดยการผสมนาโนเซลลูโลส และเพิ่มสมบัติด้านการยับยั้งเชื้อ
ด้วยการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ การขึ้นรูปในอัตราส่วนที่ต่างกันได้แสดงลักษณะ
ทางกายภาพของ Nanocomposite-film ได้ดังตารางที่ 5

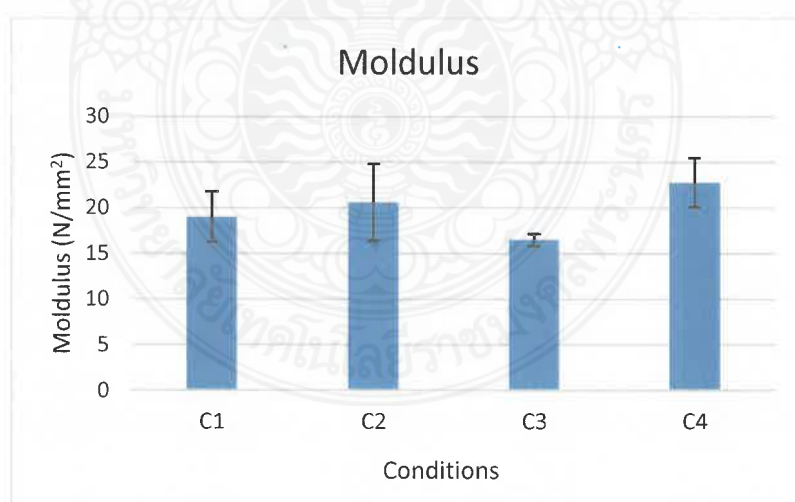
ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของ Nano composite-film ที่อัตราส่วนผสมต่างกัน

สูตรที่	ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม	
C1 : เจลาติน/กลีเซอรอล	เป็นฟิล์มใสและนุ่ม	
C2 : เจลาติน/กลีเซอรอล/ นาโนเซลลูโลส	เป็นฟิล์มใสและเหนียว	
C3 : เจลาติน/กลีเซอรอล/ ซิงค์ออกไซด์/ สารช่วยกระจายตัว	เป็นฟิล์มสีขาวขุ่นและ เหนียว	
C4 : เจลาติน/กลีเซอรอล/ ซิงค์ออกไซด์/ สารช่วยกระจายตัว	เป็นฟิล์มสีขาวขุ่นและ เหนียว	

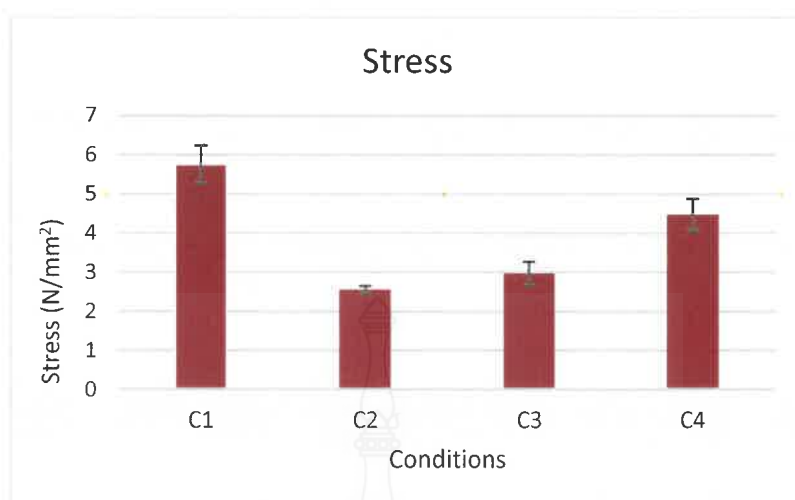
4.2.1 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile test)

ผลการทดสอบสมบัติทางกล โดยพิจารณาค่าความสามารถในการความต้านทานแรงดึง ก่อนการเสียรูปอย่างถาวรของฟิล์มที่ขึ้นรูปตามสูตรต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 13 ซึ่งพบว่าค่าโมดูลัสของแผ่นฟิล์มเจลาตินผสมกลีเซอรอลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผสมเส้นใยนาโนเซลลูโลส ดังสูตรที่ C2 และ C4 เนื่องจากเส้นใยนาโนเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงช่วยในการรับและกระจายแรงให้กับโครงสร้างของฟิล์มเจลาตินผสมกลีเซอรอล ขณะที่เมื่อเติมนาโนซิงค์ออกไซด์ลงในฟิล์มเจลาตินผสมกลีเซอรอล พบว่าความสามารถในการต้านทานแรงดึงของฟิล์มมีค่าลดลง ดังสูตรที่ C3 ทั้งนี้เนื่องจาก

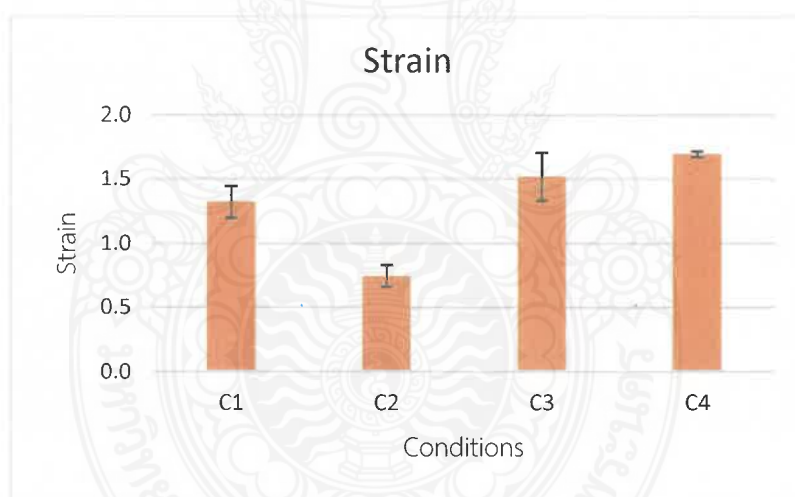
อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมในฟิล์มพบว่ามีความสามารถในการกระจายตัวได้น้อย พบเป็นฟิล์มทึบสีขาวที่เกิดจากการสะท้อนแสงของกลุ่มอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสูตรที่ C4 พบว่าการผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ และนาโนเซลลูโลส ช่วยทำให้การกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ดีขึ้น สังเกตได้จากฟิล์มที่ขึ้นรูปมีความใสขึ้นกว่าสูตร C3 จึงทำให้แผ่นฟิล์มของสูตรที่ C4 มีค่าโมดูลัสสูงที่สุด เมื่อพิจารณาความแข็งแรงความสามารถในการต้านทานทางแรงดึง (Tensile stress) ดังรูปที่ 14 และความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกหรือ ความเครียด (Strain) ดังรูปที่ 15 พบว่าค่า stress และ strain มีแนวโน้มคล้ายกันคือเมื่อผสมเส้นใยนาโนเซลลูโลสในฟิล์มเจลาตินผสมกลีเซอรอล ค่าความสามารถในการต้านทานแรงดึง การการยืดตัวมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคเส้นใยนาโนเซลลูโลสมีความสามารถในการกระจายตัวต่ำ เกิดเป็นจุดบกพร่องบนแผ่นฟิล์ม เช่นเดียวกับการผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงแม้ว่าเป็นอนุภาคที่มีความแข็งแรงสูงกว่าเนื้อฟิล์มสามารถช่วยรับแรงได้ดี แต่การกระจายตัวที่ต่ำกลับส่งผลให้ stress และ strain มีค่าไม่สูงมาก อย่างไรก็ตามเมื่อผสมนาโนเซลลูโลสและอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และเติมสารช่วยในการกระจายตัวทำให้อนุภาคมีการกระจายตัวเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติทางกล ความสามารถในการต้านทานแรงจากภายนอกเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 15 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่าโมดูลัสของฟิล์มตามสูตรต่าง ๆ



รูปที่ 16 ค่าเฉลี่ยของค่าความเค้นของฟิล์มตามสูตรต่าง ๆ



รูปที่ 17 ค่าเฉลี่ยของความเครียดของฟิล์มตามสูตรต่าง ๆ

4.2.2 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Anti-bacteria)

ในการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยการนำฟิล์มในสูตรต่าง ๆ มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อตามวิธีการทดสอบแบบ Broth microdilution โดยเชื้อที่นำมาทดสอบ คือ เชื้อ *Staphylococcus aureus* เชื้อ *Bacillus subtilis* เชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นเชื้อในกลุ่มก่อโรค และเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ที่สามารถแสดงถึงความเข้ากันได้ทางชีวภาพ โดยทำการทดสอบ ณ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลาทดสอบ 20 ชั่วโมง ผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 5 6 7 และ 8

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มในสูตรต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่มีส่วนผสมของเจลาติน กลีเซอรอล และนาโนเซลลูโลส ไม่มีประสิทธิภาพในการช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ การผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จึงเป็นสิ่งที่ช่วยให้แผ่นฟิล์มมีความสามารถในการช่วยยับยั้งเชื้อดังสูตรที่ C3 และ C4 อย่างไรก็ตาม พบว่าฟิล์มที่มีส่วนผสมของซิงค์ออกไซด์ที่สามารถช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียต่าง ๆ ได้แล้วนั้น การผสมนาโนเซลลูโลสในสูตรที่มีอนุภาคซิงค์ออกไซด์ดังสูตรที่ C4 พบว่าช่วยเพิ่มความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มเจลาตินผสมกลีเซอรอลและอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคนาโนเซลลูโลสช่วยในการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus*

Conditions	growth CFU/mL	Results	Control CFU/mL
C1	5.10E+06	ไม่ยับยั้ง S	4.50E+10
C2	8.70E+06	ไม่ยับยั้ง S	
C3	<800	ยับยั้งเชื้อ s	
C4	<400	ยับยั้งเชื้อ S ดีสุด	

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Bacillus subtilis*

Conditions	growth CFU/mL	Results	Control CFU/mL
C1	7.60E+06	ไม่ยับยั้งเชื้อ B	2.30E+08
C2	8.70E+06	ไม่ยับยั้งเชื้อ B น้อย	
C3	4.70E+03	ยับยั้งเชื้อ B	
C4	7.62E+03	ยับยั้งเชื้อ B	

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *E. coli*

Conditions	growth CFU/mL	Results	Control CFU/mL
C1	3.93E+08	ไม่ยับยั้งเชื้อ E น้อย	2.50E+08
C2	2.43E+08	ไม่ยับยั้งเชื้อ E น้อย	
C3	1.57E+06	ยับยั้งเชื้อ E น้อย	
C4	1.72E+06	ยับยั้งเชื้อ E น้อย	

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae*

Conditions	growth CFU/mL	Results	Control CFU/mL
C1	1.71E+09	ไม่ยับยั้งเชื้อ Sc	8.90E+08
C2	1.16E+09	ไม่ยับยั้งเชื้อ Sc	
C3	1.82E+08	ไม่ยับยั้งเชื้อ Sc	
C4	3.20E+06	ยับยั้งเชื้อ Sc น้อย	

ผลการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อการหมัก (fermentation) เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ซึ่งผลจากการทดสอบบ่งบอกถึงความเป็นพิษต่อเซลล์และความเข้ากันได้ทางชีวภาพ จากการทดสอบดังตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบรรจุอาหารตามสูตร C1 C2 C3 และ C4 ไม่ยับยั้งเชื้อ และ สูตร C4 มีผลการยับยั้งเชื้อได้เล็กน้อย แสดงถึงฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาตินนาโนเซลลูโลสของกัญชาผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความเป็นพิษต่อเซลล์ต่ำและความสามารถในการเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดี

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากเจลาติน นาโนเซลลูโลสของกัญชา ผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการสกัดนาโนเซลลูโลสจากต้นกัญชา และในส่วนที่ 2 เป็นการนำเส้นใยนาโนเซลลูโลสมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นฟิล์มบรรจุอาหารวัสดุนาโนคอมโพสิตชีวภาพ จากผลการวิจัยพบว่า

1. กระบวนการสกัด Cellulose nano crystal จากกัญชา ที่ผ่านกระบวนการ Alkaline treatment เวลา 6 ชั่วโมง จะช่วยในการกำจัดเฮมิเซลลูโลสได้ดีที่สุด กระบวนการ Bleaching เวลา 3 ชั่วโมง ช่วยกำจัดลิกนินได้ดีที่สุด และ Acid hydrolysis เป็นเวลา 60 นาที จะสามารถสกัดเซลลูโลสได้ใกล้เคียงนาโนเซลลูโลสมากที่สุด
2. การผสมอนุภาคนาโนเซลลูโลสลงในฟิล์มเจลาตินผสมกลีเซอรอล สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้ฟิล์มเจลาตินผสมกลีเซอรอลได้
3. การผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานแบคทีเรียของฟิล์มเจลาตินผสมกลีเซอรอล โดยมีความเป็นพิษต่อเซลล์ต่ำ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำเส้นใยกัญชามาใช้ในการทดลอง ควรบดเส้นใยให้ละเอียดที่สุดเพื่อที่ง่ายต่อการสกัด เพื่อลดขนาดเส้นใยได้รวดเร็วขึ้น
2. ในขั้นตอน Alkaline treatment ควรแช่เส้นใยในปริมาณมากเพราะใช้เวลานานในการแช่ ทำให้ลดจำนวนครั้งในการทดลอง
3. ในแต่ละกระบวนการสกัดต้องล้างเส้นใยจนสะอาดหรือมีค่า pH เป็นกลางและอบเส้นใยให้แห้งทุกครั้งเพื่อลดความชื้นอาจทำให้เส้นใยขึ้นราได้
4. ในขั้นตอนก่อนนำไปทดสอบ FTIR และ XRD ควรตรวจสอบเส้นใยว่ามีค่า pH เป็นกลางหรือไม่ เพราะเมื่อนำเส้นใยไปอบก่อนทดสอบถ้าค่า pH ไม่กลาง การอบอาจจะทำให้เส้นใยทำปฏิกิริยาอีกครั้งได้ ทำให้เส้นใยเสียหายหรือไหม้ ส่งผลให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

บรรณานุกรม

- [1] Mateo, S., Peinado, S., Morillas-Gutiérrez, F., La Rubia, M. D., & Moya, A. J. (2021). Nanocellulose from agricultural wastes: Products and applications—A review. *Processes*, 9(9), 1594.
- [2] Iqbal, D., Zhao, Y., Zhao, R., Russell, S. J., & Ning, X. (2022). A review on nanocellulose and superhydrophobic features for advanced water treatment. *Polymers*, 14(12), 2343.
- [3] Bhowmik, S., Islam, J. M., Debnath, T., Miah, M. Y., Bhattacharjee, S., & Khan, M. A. (2017). Reinforcement of gelatin-based nanofilled polymer biocomposite by crystalline cellulose from cotton for advanced wound dressing applications. *Polymers*, 9(6), 222.
- [4] Lee, S. W., Said, N. S., & Sarbon, N. M. (2021). The effects of zinc oxide nanoparticles on the physical, mechanical and antimicrobial properties of chicken skin gelatin/tapioca starch composite films in food packaging. *Journal of Food Science and Technology*, 58(11), 4294-4302.
- [5] Li, J., Zhang, F., Zhong, Y., Zhao, Y., Gao, P., Tian, F., Zhang, X., Zhou, R., Cullen, P. J. (2022). Emerging food packaging applications of cellulose nanocomposites: a review. *Polymers*, 14(19), 4025.

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ



ประวัตินักวิจัย

ข้อมูลหัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย): ...นายจิระศักดิ์ ธาระจักร์.....

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ): Mrs. Jirasak Tharajak.....

2. หน่วยงาน หมายเลขโทรศัพท์มือถือ และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

- หน่วยงาน: สาขาวิชาวัสดุศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.....

- หมายเลขโทรศัพท์มือถือ: ...0626859684.....

- E-mail: Jirasak.t@rmutp.ac.th.....

3. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิและสถานศึกษา	ปีที่จบการศึกษา
ปริญญาเอก	ปร.ด. เทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี	2559
ปริญญาโท	วศ.ม. เทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าธนบุรี	2546
ปริญญาตรี	วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร	2544

4. สมรรถนะด้านการวิจัย

- ผลงานตีพิมพ์

ลำดับ	ชื่อบทความ	ชื่อวารสาร	ระดับชาติ/ นานาชาติ	ปีที่ตีพิมพ์
1.	High-temperature corrosion investigations of deposit containing eutectic KCl-	Corrosion Science	นานาชาติ	2022

	K2SO4 mixture on AISI 1015 and SS304 steels			
2.	The Effect of Sintering Temperature on Physical Properties of Leucite Ceramics	Applied Mechanics and Materials	นานาชาติ	2019
3.	The Effect of Leucite Ceramics on Mechanical Properties of Silicone Coating	Applied Mechanics and Materials	นานาชาติ	2019
4.	The Study on Optimum Spray Parameters and Characterization of Flame Sprayed PVC Coating	Applied Mechanics and Materials	นานาชาติ	2019
5.	A Study on Characterization of Biomass Fly Ash	Applied Mechanics and Materials	นานาชาติ	2019
6.	Recommendations for h-BN loading and service temperature to achieve low friction coefficient and wear rate for thermal-sprayed PEEK coatings	Surface and Coatings Technology	นานาชาติ	2017
7.	The effects of magnetic field-enhanced thermal spraying on	Wear	นานาชาติ	2017

	the friction and wear characteristics of poly(ether-ether-ketone) coatings			
8.	Morphological and physical properties and friction/wear behavior of h-BN filled PEEK composite coatings	Surface and Coatings Technology	นานาชาติ	2015

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ลำดับ	ชื่อโครงการ / แผนงาน	ปีงบประมาณ	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	หน้าที่ความรับผิดชอบ (หัวหน้าโครงการ/ผู้ร่วมวิจัย)
1	พฤติกรรมการณ์สึกหรอแบบกัดเซาะที่อุณหภูมิสูงของเหล็กกล้าผสมที่บริเวณ Superheat	2565	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	1,366,750	ผู้ร่วมโครงการ
2	การลดการกัดกร่อนในท่อส่งน้ำมันและก๊าซที่เกิดจากจุลชีพโดยการเคลือบผิวด้วยอีพ็อกซีผสมอนุภาคนาโนเงินกับถ่านไม้ไผ่	2558	ประมาณแผ่นดินประจำปี 2558	475,000	หัวหน้าโครงการ

6. ความเชี่ยวชาญ

..... - หัวหน้าโครงการ โครงการวิจัยการสร้างเทคโนโลยีการผลิต (ปลูก) กัญชาตามมาตรฐานทางการแพทย์ (Medical grade) ตามมาตรฐาน WHO-GACP

ผู้ร่วมวิจัย

ข้อมูลผู้ร่วมวิจัยคนที่..1....

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย):ดร.ภูตินันท์ เอื้อวงศ์สุวรรณ.....

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ): DR. PUTINUN UAWONGSUWAN.....

2. หน่วยงาน หมายเลขโทรศัพท์มือถือ และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

- หน่วยงาน: ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยีการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.....

- หมายเลขโทรศัพท์มือถือ:0618811790.....

- E-mail: putinun.u@eng.kmutnb.ac.th.....

3. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิและสถานศึกษา	ปีที่จบการศึกษา
ปริญญาเอก	Ph.D. Advanced Fibro-Science, Kyoto Institute of Technology, Japan	2558
ปริญญาโท	M.Eng. Materials Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi	2548
ปริญญาตรี	B.Sc. Petrochemical and Polymeric Materials, Silpakorn University	2543

4. สมรรถนะด้านการวิจัย

- ผลงานตีพิมพ์

ลำดับ	ชื่อบทความ	ชื่อวารสาร	ระดับชาติ/ นานาชาติ	ปีที่ ตีพิมพ์
1	Jute fiber reinforced thermoplastic composites fabricated by direct fiber feeding	Key Engineering Materials	นานาชาติ	2020

	injection molding (DFFIM) process.			
2	Mechanical properties and fiber characteristics of glass fiber/carbon fiber reinforced polyethylene terephthalate hybrid composites fabricated by direct fiber feeding injection molding.	Journal of Polymer Engineering	นานาชาติ	2018
3	Damage behavior of low velocity impact test on glass fiber reinforced poly (ethylene terephthalate) composites.	Materials Today: Proceedings	นานาชาติ	2018
4	Properties of Recycled-Polyethylene Terephthalate/Polycarbonate Blend Fabricated by Vented Barrel Injection Molding.	Materials Sciences and Applications	นานาชาติ	2018
5	Study on the Effective of Utilization in Vent-Type Injection Molding.	Key Engineering Materials	นานาชาติ	2017
6	Study on Adhesive Property of Insert Injection Molded Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites.	Energy Procedia	นานาชาติ	2016
7	The Effect of Processing Parameter on Mechanical Properties of Short Glass Fiber Reinforced Polyoxymethylene Composite by Direct Fiber	Energy Procedia	นานาชาติ	2016

	Feeding Injection Molding Process.			
8	Interfacial Shear Strength of Glass Fiber Reinforced Polymer Composites by the Modified Rule of Mixture and Kelly-Tyson Model.	Energy Procedia	นานาชาติ	2016
9	Long jute fiber-reinforced polypropylene composite: Effects of jute fiber bundle and glass fiber hybridization.	Journal of Applied Polymer Science	นานาชาติ	2015
10	Effect of molding condition and pellets material on the weld property of injection molded jute/polylactic acid.	Polymer Engineering & Science	นานาชาติ	2013
11	Impact property of flexible epoxy treated natural fiber reinforced PLA composites.	Energy Procedia	นานาชาติ	2013
12	Mechanical property of surface modified natural fiber reinforced PLA biocomposites.	Energy Procedia	นานาชาติ	2013
13	Mechanical Properties of Sandwich Injection Molded Jute/Glass Fiber Hybrid Composites.	Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering	นานาชาติ	2011

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ลำดับ	ชื่อโครงการ / แผนงาน	ปีงบประมาณ	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	หน้าที่ความรับผิดชอบ (หัวหน้าโครงการ/ผู้ร่วมวิจัย)
1	โครงการพัฒนาวัสดุแผ่นหนังเทียมจากยางพาราและเศษขยะปุ๋ยไหม	2565	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มจพ.	35,000	หัวหน้าโครงการ
2	โครงการพัฒนาวัสดุลอยจากวัสดุรีไซเคิลสำหรับคลุมผิวแหล่งน้ำเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยของน้ำในแหล่งน้ำ	2564	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	250,000	หัวหน้าโครงการ

6. ความเชี่ยวชาญ

หัวหน้าโครงการพัฒนาวัสดุแผ่นหนังเทียมจากยางพาราและเศษขยะปุ๋ยไหมและโครงการพัฒนาวัสดุลอยจากวัสดุรีไซเคิลสำหรับคลุมผิวแหล่งน้ำเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยของน้ำในแหล่งน้ำ และเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยีการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ทำงานวิจัยทางด้านพอลิเมอร์คอมพอสิต รับเบอร์คอมพอสิต และการนำวัสดุธรรมชาติและเศษวัสดุกลับมาใช้ประโยชน์