



## โครงการ

### การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ	เซรั่มบำรุงผมจากนาโนเซลลูโลสไฟและน้ำมันมินท์ Preparation of nanocellulose hair serum from bamboo agriculture waste and peppermint oil		
ชื่อนิสิต	นางสาวกวิตา บุญธรรม	เลขประจำตัว	6033203223
	นายโอฬาร โขวุฒิธรรม		6033290823
ภาควิชา	วัสดุศาสตร์ แขนงพอลิเมอร์และสิ่งทอ		
ปีการศึกษา	2563		

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี

เรื่อง

เสริมบำรุงผมจากนาโนเซลลูโลสไฟและน้ำมันมินท์

เสนอ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตามระเบียบการศึกษาชั้นปริญญาตรีวิทยาลัย สาขาวัสดุศาสตร์

นางสาวกวิตา บุญธรรม 6033203223

นายโอฬาร โชษุมิตรธรรม 6033290823

อาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ดวงดาว อัจจงค์

อนุมัติโดย



(รองศาสตราจารย์ ดร. ดวงดาว อัจจงค์)

ปีการศึกษา 2563

# สารบัญ

บทที่	หน้า
1.บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
2.วารสารปริทัศน์	4
2.1 ไม้ (Bamboo)	4
2.2 เซลลูโลส (Cellulose)	5
2.3 นาโนเซลลูโลส (Nanocellulose)	6
2.4 ลิกนิน (Lignin)	7
2.5 การผลิตเซลลูโลส	7
2.6 เส้นผมและขน (Hair)	8
2.7 เซรั่ม (Serum)	11
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
3.วิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	15
3.2 วิธีการทดลอง	16
3.3 แผนผังการทดลอง	18
3.4 การวิเคราะห์สมบัติของนาโนเซลลูโลสและต้นแบบผลิตภัณฑ์	19
3.5 ตารางการดำเนินงาน	21
4.ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	22
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของเซลลูโลส	22
4.2 การวิเคราะห์สมบัติไมโครเซลลูโลส	24
4.3 การวิเคราะห์สมบัติของเซรั่ม	32

5.สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการทดลอง	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
รายการอ้างอิง	37

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ไม้เป็นพืชที่พบได้ในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทยโดยกระจายตัวตั้งแต่บริเวณภูเขาจนถึงภูมิภาคที่เป็นทะเล อีกทั้งยังเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย เติบโตเร็ว มีความสำคัญต่อระบบนิเวศสามารถช่วยยึดหน้าดินชะลอการพังของตลิ่งในฤดูฝนทั้งนี้ไม้ยังเป็นพืชเศรษฐกิจ สามารถประยุกต์เป็นอุปกรณ์จักสานเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชน ทว่าเศษไม้ที่เหลือจากการจักสานมักจะถูกนำไปทิ้งและสร้างขยะจำนวนมาก เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบหลักของไม้ พบว่าประกอบด้วยเซลลูโลสจำนวนมากถึง 96% ซึ่งไม้เติบโตได้ง่ายและพบได้ทั่วไปโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในการเพาะปลูก ไม้สามารถทนความร้อนได้ดี กักเก็บความชื้นสูง หากนำมาแปรรูปสกัดเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับนาโนเมตรหรือนาโนเซลลูโลส จะสามารถดึงประสิทธิภาพตลอดจนสรรพคุณของไม้ได้มากขึ้นและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดปริมาณเศษไม้ที่เหลือทิ้งได้อีกด้วย

เซลลูโลสสามารถพบได้ในพืชทุกชนิด เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชโดยประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ เส้นใยเซลลูโลสเมื่อรวมกันเป็นกลุ่มจะเรียกว่า ไฟบรัส บันเดิล (Fibrous bundle) ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึก และส่วนที่เป็นอสัณฐานซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า รวมไปถึงนำเศษไม้มาเข้ากระบวนการและสถานะที่เหมาะสมในการผลิตนาโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุทางชีวภาพที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ มีคุณสมบัติหลากหลายตามสมบัติของพืชที่นำมาใช้ นาโนเซลลูโลสถูกนำมาประยุกต์ใช้หลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านอาหารและยา สิ่งทอ และเครื่องสำอาง

เนื่องจากไม้มีปริมาณเซลลูโลสมาก เมื่อนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นนาโนเซลลูโลสจะได้ ปริมาณนาโนเซลลูโลสสูงสามารถนำไปประยุกต์ในด้านอื่นๆได้ดี โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางเนื่องจากในปัจจุบันการพัฒนาเครื่องสำอางเติบโตอย่างรวดเร็วและขยายตัวอย่างไร้ขอบเขต โดยสิ่งที่สำคัญคือเน้นการใช้สารสกัดจากธรรมชาติให้มากที่สุดเพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีหรือสารสังเคราะห์ และเมื่อผ่านกระบวนการสกัดเตรียมเป็นนาโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่สามารถดึงประสิทธิภาพของไม้ได้มากที่สุด และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับด้านเครื่องสำอาง จะสามารถพัฒนาเครื่องสำอางให้มีสรรพคุณมากขึ้น มีความเป็นเนื้อเดียวกันเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะถูกใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง อีกทั้งยังเพิ่มมูลค่าของไม้ให้ใช้งานได้หลากหลาย

เส้นผมเป็นส่วนหนึ่งของร่างกายที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน ช่วยปกป้องศีรษะจากสิ่งแวดล้อมภายนอก และยังช่วยตกแต่งประดับใบหน้าให้มีความสวยงาม ทั้งยังช่วยส่งเสริมบุคลิกภาพ และแสดงถึงสุขภาพที่ดีได้อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันผู้คนหันมาใส่ใจการดูแลตนเองมากยิ่งขึ้น สังเกตได้จากกระแสนิยมและการเติบโตที่เพิ่มขึ้น

ของธุรกิจความงามต่างๆ รวมถึงการศัลยกรรมต่างๆ อีกด้วย การใช้ผลิตภัณฑ์ทาภายนอกจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่นิยมมากในปัจจุบัน ซึ่งมีทั้งผลิตภัณฑ์หลายตัวในท้องตลาดทั้งที่เป็นยา เช่น Minoxidil lotion (ยาแก้เรื่องปัญหาผมบาง) แต่ยังมีพบว่าทำให้เกิดการระคายเคืองบริเวณที่ใช้ได้ และเมื่อหยุดใช้ยาดังกล่าวอาจทำให้สุขภาพของเส้นผมไม่ดี ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติจึงเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่เป็นที่นิยมและได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันที่จะนำมาใช้ทดแทนยาหรือสารเคมีดังกล่าว จากข้อมูลทางการตลาดของ Marketteer ในปี พ.ศ.2557 พบว่าตลาดของของผลิตภัณฑ์ดูแลบำรุงเส้นผมมีมูลค่าสูงถึง 17,346 ล้านบาทและยังเติบโตอย่างต่อเนื่อง

เซรั่มบำรุงผมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับทาลงบนเส้นผมเพื่อเคลือบเปลือกนอกของเส้นผม เป็นอีกหนึ่งตัวช่วยหลักเพื่อฟื้นฟูผม โดยจะไปเคลือบบริเวณภายนอก Cuticle ของเส้นผม เพื่อปกป้องจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่พบเจอได้ในสิ่งแวดล้อมชีวิตประจำวัน อีกทั้งยังช่วยให้ผมกลับมานุ่มลื่น เงางาม น่าสัมผัส

งานวิจัยระดับปริญญาบัณฑิตในโครงการนี้เล็งเห็นความสำคัญของการเพิ่มมูลค่าของเศษไม้เหลือทิ้งจากการจักสาน โดยนำไม้มาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นนาโนเซลลูโลส เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เซรั่มบำรุงผม โดยอาศัยไม้ที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงเพื่อช่วยให้เกิดการกระจายตัวของสารในเซรั่มได้ดี และสมบัติการอุ้มน้ำจากการที่เซลลูโลสสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี ยังเสริมด้วยน้ำมันที่ช่วยฟื้นฟูสภาพผมเนื่องจากอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม วิตามินเอและวิตามินซี เมื่อประกอบกันจึงทำให้ได้เซรั่มบำรุงสภาพผมได้อย่างครบถ้วน

## 1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยระดับปริญญาบัณฑิตนี้ คือการนำพืชท้องถิ่นหรือพืชที่มีอยู่นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยจะสกัดนาโนเซลลูโลสจากพืชแล้วนำไปใช้งานได้ต่อด้านต่างๆ ได้ เช่น ช่วยปรับสมดุลและเพิ่มความชุ่มชื้น ในโครงการนี้จึงเลือกใช้ไม้เนื่องจาก ไม้เป็นพืชท้องถิ่นที่หาได้ตามชุมชนทั่วไป และปริมาณเศษไม้ที่เหลือจากการจักสานมีจำนวนมาก โดยจะนำเศษไม้มาเข้ากระบวนการและสถานะที่เหมาะสมในการผลิตนาโนเซลลูโลส รวมทั้งนำน้ำมันจากธรรมชาติคือน้ำมันที่มาสวมเป็นองค์ประกอบเพื่อนำมาเป็นเซรั่มบำรุงผม

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการและสถานะที่เหมาะสมในการผลิตนาโนเซลลูโลสจากเศษไม้พันธุ์ช่างหม่นที่เหลือจากการจักสาน

1.3.2 ใช้น้ำมันที่เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเด่นด้านการดูแลเส้นผมเนื่องจากอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก แมกนีเซียม แคลเซียม วิตามินเอและวิตามินซี

1.3.3 ศึกษาหาความเข้ากันได้ของนาโนเซลลูโลสและน้ำมันที่ภาวะต่างๆ ด้วยการทดสอบการเบี่ยงเบนระหว่างตัวอย่าง (between sample variation)

1.3.4 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของนาโนเซลลูโลส การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของนาโนเซลลูโลส  
ความสามารถในการอุ้มน้ำของนาโนเซลลูโลส ความเสถียรภาพทางความร้อนของต้นแบบผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

1.3.5 เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยา ความชุ่มชื้น และการทนความร้อนของเส้นผมก่อนและหลังการ  
ใช้ต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผมที่มีส่วนผสมของนาโนเซลลูโลสจากไผ่

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 ไม้ (Bamboo)

2.1.1 ไม้ (Bamboo) มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน เขตกึ่งร้อน และเขตหนาวของทุกทวีปยกเว้นยุโรปและเอเชียตะวันตก พบได้ทั่วไปตั้งแต่ที่ต่ำจนถึงระดับสูงปานกลาง กระจายทั่วไปตามธรรมชาติรวมทั้งปลูกใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย [1] ในประเทศไทยพบไม้ได้ทั่วไปตามธรรมชาติ พบมากในป่าเบญจพรรณและป่าดิบชื้น มีบ้างที่พบมากในป่าเต็งรัง [2] ไม้เป็นพืชที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของคนชนบทเป็นอย่างมาก ถ้าไม้เป็นวัสดุก่อสร้างราคาถูก หาได้ง่าย เป็นวัสดุจักสานที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยสร้างรายได้อีกทางหนึ่ง [3]

#### 2.1.2 สารสำคัญจากส่วนต่างๆของไม้

งานวิจัยของ Liu และคณะ ได้ทำการศึกษาสารสกัดจากใบของไม้ *B.textilis* พบว่ามีสารประกอบมากกว่า 38 ชนิด ประกอบด้วย กรดอินทรีย์ ฟลาโวนอยด์ และพอลิฟีนอล นอกจากนี้สารสกัดจากใมนั้นยังมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ [4]

Mao และคณะ ได้ศึกษาพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากส่วนใบของไม้ *Phyllostachys edulis* (Moso Bamboo) พบว่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงเมื่อเทียบกับวิตามินซี [5]

Park and Jhon ศึกษาผลของสารสกัดจากส่วนของยอดของไม้ *Phyllostachys pubescens* และ *Phyllostachys nigra* พบว่ามีสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ทั้งสองสายพันธุ์ [6]

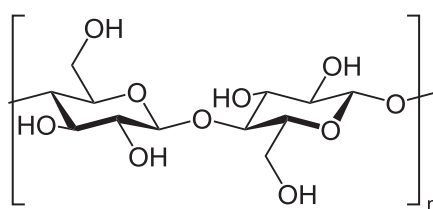
Wenjiao แล ได้ศึกษาการเคลือบผิวปลาเกล็ดเงิน (*Hypophthalmichthys molitrix*) ด้วยโคโตแซนที่มีการผสมสารสกัดจากใบไม้พันธุ์ *P.Sieb. et Zucc* ในระหว่างการแช่เย็น พบว่าตัวอย่างที่มีการเคลือบด้วยโคโตแซนผสมสารสกัดไม้สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ และลดการออกซิเดชันของไขมันในปลาได้ระหว่างการแช่เย็น [7]

Oh etal และคณะ ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในชาใบไม้ (*Sasa borealis*) พบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเมื่อใช้วิธี DPPH เท่ากับ 6.54 mg AAE/g และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเมื่อใช้วิธี ABTS เท่ากับ 18.53 mg AAE/g [8]



## 2.2 เซลลูโลส (Cellulose)

2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช เซลลูโลสมีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว ประกอบด้วยน้ำตาลมากกว่า 3,000 หน่วยต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง  $\beta$ -D-1,4 linkage ดังภาพที่ 2.1 เมื่อศึกษาเส้นใยเซลลูโลสโดยเอ็กซ์เรย์ (X-ray) พบว่าประกอบด้วยใยที่หยาบและหนา แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (H-bond) ทำให้พืชมีความแข็งแรง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสยังมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของพอลิเมอร์ ทำให้บางส่วนของโครงสร้างเป็นผลึก ส่วนที่เป็นผลึกนี้มีความหนาแน่นมากกว่าจึงทนถูกแยกสลายด้วยเอนไซม์และสารเคมีมากกว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก ทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสมีลักษณะทั้งแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ จึงโค้งงอได้โดยไม่แตกหัก [9]



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างเซลลูโลส

ที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>

### 2.2.2 การละลายของเซลลูโลส

เนื่องจากเซลลูโลสมีสมบัติไม่ละลายน้ำและไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายต่างอ่อน แต่จะละลายในกรดแก่และต่างแก่ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือต่าง ได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

2.2.2.1 แอลฟาเซลลูโลส ( $\alpha$ -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 17.5%

2.2.2.2 เบต้าเซลลูโลส ( $\beta$ -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 17.5%

2.2.2.3 แกมมาเซลลูโลส ( $\gamma$ -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 17.5% และสารละลายกรดเจือจาง

### 2.2.3 เซลลูโลสผง (Powdered cellulose)

เซลลูโลสผงมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น และไม่มีรสชาติ ได้จากการนำเซลลูโลสมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และฟอกสี [10] มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 17 ไมครอน ความยาวของเส้นใยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต แต่เซลลูโลสผงที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะมีความยาวเส้นใยในช่วง 22-290 ไมครอน

### 2.2.4 การสกัดเซลลูโลส

การสกัดเซลลูโลสสามารถใช้กรดหรือด่างภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นนำกากที่ได้มาฟอกสี และชะล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลางหรือมีพีเอช (pH) เท่ากับ 7 [11] ซึ่งกรดและด่างที่ใช้ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ช่วยทำลายลิกนินและส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไปโดยเซลลูโลสยังอยู่เหมือนเดิม [12]

Gaonkar และคณะ ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการสกัดแอลฟาเซลลูโลสจากผักตบชวาแล้วนำเซลลูโลสที่สกัดได้เตรียมเป็นผลึกเซลลูโลสระดับไมโคร (microcrystalline cellulose) โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำผักตบชวาอบแห้งล้างด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 2 รอบ จากนั้นนำผักตบชวาที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับกรดไนตริก และตามด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 17.5 โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อแยกแอลฟาเซลลูโลสออกจากเบตาและแกมมาเซลลูโลส ก่อนนำมาผ่านขั้นตอนการฟอกด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ตามลำดับ จากนั้นอบให้แห้งที่ 60 องศาเซลเซียส และนำมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.5 โมล ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที [13]

## 2.3 นาโนเซลลูโลส (Nanocellulose)

การทดลองสกัดและเตรียมนาโนเซลลูโลส มีขึ้นเป็นครั้งแรกในปีคริสต์ศักราช 1983 โดยนักวิจัยชื่อ Turbak และคณะ โดยนำเอาเยื่อไม้ (Wood pulp) มาเป็นวัตถุดิบขั้นต้น [15] หลังจากนั้นงานวิจัยเกี่ยวกับการเตรียมนาโนเซลลูโลสได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการนำเอาเส้นใยประเภทอื่นมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นวัสดุจากการเกษตร เช่น ไม้ไผ่ เป็นต้น มีการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีความทันสมัย ซึ่งสามารถแบ่งนาโนเซลลูโลสเป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.3.1 เซลลูโลสนาโนคริสตัล คือ ผลึกนาโนเซลลูโลส (Cellulose nanocrystals, CNCs) มีวิธีการสกัดโดยใช้สารเคมีประเภทกรด เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น แต่จากงานวิจัยพบว่ากรดซัลฟูริกมีประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด โดยกรดจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับส่วนอสัณฐาน เพื่อให้คงเหลือแต่ส่วนผลึก เซลลูโลสนาโนคริสตัลมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-25 นาโนเมตร มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 100-1000 นาโนเมตร

2.3.2 เซลลูโลสนาโนไฟบริล (Cellulose nanofibril, CNFs) มีวิธีการสกัดเซลลูโลสโดยใช้สารเคมีประเภทต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำมาแยกเส้นใยออกจากกันโดยใช้แรงกล ซึ่งทำให้เกิดแรงเฉือนภายใต้แรงดันสูง เส้นใยจึงเกิดการแยกตัวและเกิดการสร้างโครงร่างแห 3 มิติ (3D-networking structure) มีขนาดความยาวระดับไมโครเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-100 นาโนเมตร

## 2.4 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินประกอบด้วยไซโมเลกุลของออกซิเจนเตตเฟนนิลโพรเพน (Oxygenated phenyl propane) มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1,000-4,500 สังเคราะห์จากอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ คูมาริล (Coumaryl) โคนิเฟอร์ิล (Coniferyl) และไซนาปิล (Sinapyl) ลิกนินไม่สลายทั้งในกรดและด่างแก่ รวมถึงไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ [16] ลิกนินพบมากในพืชค่อนข้างแก่ ผลไม้สุกจะมีลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ โดยเฉพาะผลไม้ที่บริโภคได้ทั้งเมล็ด เช่น สตอเบอร์รี่ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ สามารถดูดซับน้ำได้ดี (Bile acid) ได้ดี และอาจมีผลชะลอการดูดซึมอาหารบางชนิดในลำไส้เล็ก [17]

## 2.5 การผลิตเซลลูโลส

การผลิตเซลลูโลสมักจะคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของเซลลูโลส ได้แก่ความเหนียวและความขาวเป็นหลัก แต่การผลิตเยื่อเซลลูโลสเพื่อทำอนุพันธ์ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นประการสำคัญคือ ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส ซึ่งพิจารณาจากปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเป็นสำคัญ

### 2.5.1 การกำจัดเฮมิเซลลูโลสออกจากเซลลูโลส

กรรมวิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดเฮมิเซลลูโลสออกจากเซลลูโลสมีวิธีหลักๆ 2 ขั้นตอนดังนี้

2.5.1.1 พรไฮโดรไลซิส (Prehydrolysis) โดยเริ่มจากนำวัตถุดิบต้มกับน้ำ หรืออาจเติมสารละลายกรดเจือจาง (กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลฟูริก) กรดดังกล่าวจะไปไฮโดรไลซ์ไซโมเลกุลเฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและละลายไปกับน้ำ จิตต์ ศรีวรรณวิทย์ และคณะ ได้ทำการทดสอบปริมาณของกรดที่เติมจะน้อยลงถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น เช่น ที่ 105 องศาเซลเซียส ใช้กรดความเข้มข้นร้อยละ 1.20 แต่ที่ 130 องศาเซลเซียส ใช้กรดเพียงความเข้มข้นร้อยละ 0.10 โดยกรดที่เติมลงไปจะไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสให้กลายเป็นสารประเภทน้ำตาล และ uronic acid [18]

2.5.1.2 วิธีโซดา (Soda process) หรือ วิธีคราฟท์ (Kraft) กระบวนการนี้จะนำเยื่อมาต้มกับสารละลายด่าง (Alkali boiling) ได้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใน Kraft process จะมีการเติมสารอื่นๆ เช่น โซเดียมซัลเฟต โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมซัลไฟต์ ผสมลงไปด้วย การต้มเซลลูโลสในขั้นนี้จะสิ้นเปลืองสารเคมีน้อยลง เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและคาร์โบไฮเดรตตัวอื่นๆถูกกำจัดออกไปมากแล้วในขั้น prehydrolysis ซึ่งจะได้เซลลูโลสที่ยังมีแอลฟา-เซลลูโลสในปริมาณที่สูง

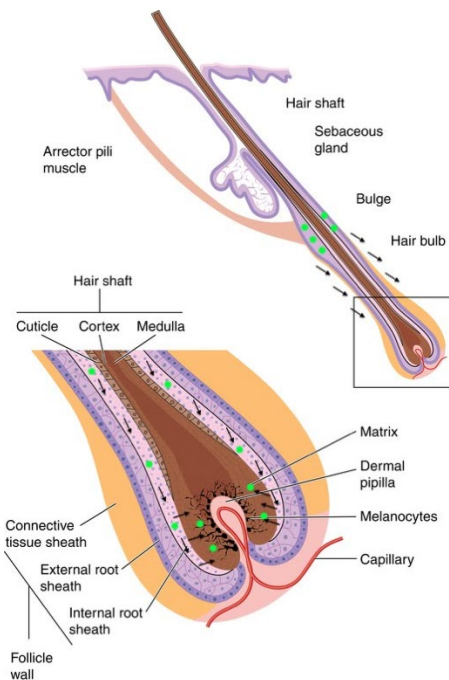
## 2.6 เส้นผมและขน (Hair)

เส้นผมและขนประกอบด้วยเส้นใยเคอราตินที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งพัฒนามาจากผิวหนัง เส้นผมและขนจัดเป็นลักษณะเฉพาะของผิวหนังสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีหน้าที่ทำให้ร่างกายอบอุ่น พรางตาเพื่อป้องกันการจู่โจมจากศัตรู และรับรู้การสัมผัส ร่างกายของคนมีเส้นผมและขนประมาณ 5,000,000 เส้น กระจายอยู่ทั่วร่างกาย ยกเว้นบริเวณฝ่ามือ ฝ่าเท้า และอวัยวะเพศ จากจำนวนดังกล่าวคิดเป็นเส้นผมประมาณ 150,000 เส้น เส้นผมและขนมีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและชนิดของเส้นผมและขน รวมทั้งอายุ เพศ สารอาหารที่ได้รับ และฮอร์โมนของแต่ละคน โดยมีความยาวตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรไปจนถึงน้อยกว่า 1.5 เมตร และมีความหนา 0.05–0.5 มิลลิเมตร [19]

### 2.6.1 โครงสร้างของเส้นผม

เส้นผมของมนุษย์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ตัวเส้นผม และรากผม ดังภาพที่ 2.2

2.6.1.1 ตัวเส้นผม เป็นส่วนของเส้นผมที่อยู่นอกหนังศีรษะ ประกอบด้วยเซลล์ที่ตายแล้ว ไม่มีเส้นเลือด และเส้นประสาทมาเลี้ยง โครงสร้างภายในของตัวเส้นผมประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกัน 3 ชั้น เรียงจากชั้นในมาชั้นนอกดังนี้



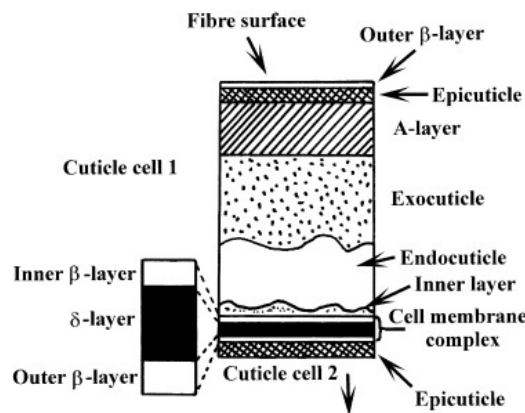
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเส้นผม

ที่มา: <https://sites.google.com/site/senphm53/xngkh-prakxb-khxng-senphm>

2.6.1.1.1 ชั้นเมดัลลา (Medulla) เป็นชั้นในสุดและเป็นแกนกลางของเส้นผม ประกอบด้วยเคอราตินชนิดอ่อน เซลล์มีการเสื่อมอย่างรวดเร็ว การเรียงตัวของเซลล์จึงมีช่องอากาศแทรกทำให้เห็นเป็นสีดำ รูปร่างและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Medulla ค่อนข้างต่างกันส่วนใหญ่ Medulla จะมีลักษณะแบบไม่ต่อเนื่องตลอด

2.6.1.1.2 ชั้นคอร์เทกซ์ (Cortex) เป็นชั้นกลางและเป็นส่วนประกอบหลักของเส้นผมประกอบด้วยเซลล์ที่ตายแล้วอัดกันแน่น เซลล์จะมีลักษณะคล้ายกระสวยยาวต่อเนื่องกัน เซลล์ยาวประมาณ 100 ไมโครเมตร และหนาประมาณ 1-6 ไมโครเมตร ระหว่างเซลล์จะพบเม็ดสีเมลานิน (Melanin pigment) แทรกอยู่ มีองค์ประกอบที่สำคัญอีกชนิด คือ เคอราตินชนิดแข็ง ซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ประกอบด้วยสารอื่น ๆ และแร่ธาตุบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส โลหะต่าง ๆ ที่ถูกขับออกจากร่างกาย เช่น สารหนู ตะกั่ว และเหล็ก เป็นต้น

2.6.1.1.3 ชั้นคิวทิเคิล (Cuticle) เป็นชั้นนอกสุดของเส้นผมประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะแบนเป็นแผ่นสีเหลี่ยมจัตุรัสเรียงตัวซ้อนเหลื่อมกันจากโคนสู่ปลาย โดยซ้อนเหลื่อมกันประมาณ 5/6 ของความยาวเซลล์ทำให้เกิดเป็นรูปร่าง เรียกว่า ลายเปลือกหรือเกล็ดผม (Scale) ทำหน้าที่ปกป้องโครงสร้างภายในชั้นอื่นๆของเส้นผม ชั้นคิวทิเคิลประกอบด้วย Scale หนาประมาณ 5-10 ชั้น โดยเซลล์แต่ละชั้นหนาประมาณ 0.3-0.5 ไมโครเมตร ยาวประมาณ 50 ไมโครเมตร [21] เมื่อตัดชั้น Cuticle cell ตามขวางจะพบว่าประกอบด้วยชั้นต่างๆหลายชั้น ดังภาพที่ 2.3 ได้แก่ชั้น Epicuticle เป็นชั้นนอกสุดของ Cuticle scale ประกอบด้วยกรดอะมิโนซิสตีน (Crystine) ในปริมาณมาก ด้านนอกของชั้นนี้มีกรดไขมัน (outer  $\beta$ -layer) เคลือบอยู่ ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว 18-methyleicosanoic acid (18-MEA) โดย 18-MEA จับกับชั้น Epicuticle ด้วยพันธะโควาเลนต์ การมีฟิล์มไขมันเคลือบทำให้เส้นผมมีลักษณะไม่ชอบน้ำและมีความลื่น ถัดเข้ามาเป็นชั้น A-level ชั้น Exocuticle และชั้น endocuticle ซึ่งจะเรียงซ้อนกันจากด้านนอกมาด้านใน โดยแต่ละชั้นจะมีความหนาแน่นต่อการถูกทำลายไม่เท่ากัน เนื่องจากภายในประกอบด้วยกรดอะมิโนซิสตีนไม่เท่ากัน คือ ประมาณ 30, 15 และ 3% ตามลำดับ [22]



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของ cuticle cell ในเส้นผม

ที่มา: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-illustrating-the-laminated-subcomponents-of-the-first-cuticle-cell-in-a\\_fig3\\_11459888](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-illustrating-the-laminated-subcomponents-of-the-first-cuticle-cell-in-a_fig3_11459888)

2.6.1.2 รากผม (Hair root) เป็นส่วนของเส้นผมที่ฝังอยู่ในหนังศีรษะ ทำหน้าที่สร้างเส้นผมหรือตัวเนื้อผมให้ยาวออกไป โครงสร้างภายในรากผมประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัว 5 ชั้น คือ เมดัลลา (Medulla) คอร์เทกซ์ (Cortex) คิวติเคิล (Cuticle) ปลอกรากชั้นใน (Inner root sheath) และปลอกรากชั้นนอก (Outer root sheath)

## 2.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นผม (Chemical composition of hair)

2.6.2.1 เคอราติน (Keratin) อยู่ในเส้นผมเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นผมประมาณ 85% ทำหน้าที่ให้ความยืดหยุ่นและความแข็งแรงแก่เส้นผม เคอราตินเป็นโปรตีน ที่มีโครงสร้างแบบทุติยภูมิประกอบด้วยกรดอะมิโนมากกว่า 20 ชนิด เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) ระหว่างคาร์บอนอะตอมของกรดอะมิโนตัวแรกกับไนโตรเจนอะตอมของกรดอะมิโนตัวถัดไปทำให้เกิดเป็นสายโพลีเปปไทด์ (Polypeptide chain) ที่มีการบิดเป็นเกลียวแอลฟา ( $\alpha$ -helix) เคอราตินที่พบภายในเส้นผมเป็นเคอราตินชนิดแข็ง (Hard keratin) ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดอะมิโนซิสทีน [23]

2.6.2.2 น้ำ (Water) เป็นองค์ประกอบเส้นผมประมาณ 7% ทำให้เส้นผมมีความชุ่มชื้นตามธรรมชาติ โดยเส้นผมที่อุณหภูมิห้องจะมีน้ำประมาณ 12%

2.6.2.3 ไขมัน (Lipid) เป็นองค์ประกอบของเส้นผมประมาณ 3% ทำหน้าที่เคลือบและปกป้องการระเหยของน้ำออกจากเส้นผม ประกอบด้วยคอเลสเตอรอล (Cholesterol) กรดไขมัน (Fatty acid) เซรามายด์ (Ceramide) เซเรโบไซด์ (Cerebroside) และไขมันมีขั้ว (Polar lipid)

2.6.2.4 สารอาหารต่างๆ (Nutrients) เป็นองค์ประกอบของเส้นผมประมาณ 0.3-0.9% ประกอบด้วยกรดอะมิโน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ

2.6.2.5 แร่ธาตุ (Elements) เป็นองค์ประกอบของเส้นผม ได้แก่ คาร์บอนประมาณ 45% ออกซิเจนประมาณ 28% ไนโตรเจนประมาณ 15% ไฮโดรเจนประมาณ 7% กำมะถันประมาณ 5% และพบแร่ธาตุปริมาณน้อยที่มีความจำเป็น เช่น เหล็กประมาณ 20-220 ppm สังกะสีประมาณ 190 ppm ทองแดงประมาณ 10-20 ppm และไอโอดีนประมาณ 0.6 ppm [24]

## 2.6.3 วงจรการเจริญของเส้นผม (Hair growth cycle)

2.6.3.1 ระยะแอนนาเจน (Anagen) เป็นระยะที่เส้นผมมีการเจริญเติบโต โดยเซลล์เมทริกซ์ที่อยู่ในหน่อผมได้รับการกระตุ้นการเจริญจากเดอร์มอลแอปพิลลาจึงเคลื่อนที่มารอบๆเดอร์มอลแอปพิลลาและแบ่งตัวอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเป็นเส้นผมยืดยาวออกไป

2.6.3.2 ระยะคาตาเจน (Catagen) เป็นระยะที่ต่อจากแอนนาเจน ดซลล์รากผมหยุดการแบ่งเซลล์ เซลล์ชั้นบนของรากผมเริ่มตาย มีการสร้างและสะสมเคอราติน เพื่อให้เส้นผมมีความยืดหยุ่นและแข็งแรง จึงทำให้รากผมสั้น มีขนาดเล็กกลง และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากลักษณะกระเปาะเป็นทรงกระบอก (Club shape)

2.6.3.3 ระยะเทโลเจน (Telogen) เป็นระยะที่รากผมหยุดการเจริญอย่างสิ้นเชิง เส้นผมอยู่ในระยะนี้ ประมาณ 2-4 เดือน ประมาณ 19% ของเส้นผมบนศีรษะจะอยู่ในระยะนี้ หลังจากนั้นเส้นผมจะหลุดร่วงไปตามธรรมชาติ โดยมีเส้นผมหลุดร่วงประมาณ 50-100 เส้นต่อวัน

## 2.7 เซรั่ม (Serum)

### 2.7.1 ลักษณะของเซรั่ม

เซรั่มจะประกอบด้วยวิตามิน น้ำมัน และ วิตามินรวมตัวกันอยู่ในรูปอิมัลชัน โดยมีสารทำอิมัลชันเป็นตัวช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัว สารทำอิมัลชันอาจใช้เดี่ยวๆหรือใช้มากกว่า 1 ชนิดขึ้นไปเพื่อช่วยเพิ่มความคงตัว อาจมีการเติมสารควบคุมความชุ่มชื้น, สารกันเสีย, สารต้านออกซิเดชัน, สารแต่งสีและสารแต่งกลิ่น

2.7.1.1 วิตามิน น้ำมัน จะประกอบด้วยไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆจากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ จะใช้ในความเข้มข้นต่างกันเพื่อปรับความหนืดให้เหมาะสม อาจมีสารทำอิมัลชันชนิดที่ละลายน้ำในน้ำมันผสมอยู่ตัวรวมทั้งสารกันเสียและสารต้านออกซิเดชันที่ละลายในน้ำมัน

2.7.1.2 วิตามิน จะประกอบด้วยน้ำ, สารควบคุมความชุ่มชื้น (Humectant), สารทำอิมัลชัน รวมทั้งสารกันเสียและสารต้านออกซิเดชันที่ละลายในน้ำ

2.7.1.3 สารทำอิมัลชัน เป็นประเภทหนึ่งของสารลดแรงตึงผิวซึ่งจะมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ และส่วนที่ชอบน้ำมัน ดังนั้นสารทำอิมัลชันจะอยู่ที่รอยต่อระหว่างวิตามินและวิตามินน้ำมัน ทำให้แรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมันลดลงเกิดเป็นอิมัลชันได้เมื่อเขย่าให้เข้ากัน สารทำอิมัลชันจะมีทั้งชนิดประจุบวก, ประจุลบ, ชนิดไม่มีประจุ, หรือมีทั้งประจุบวกและประจุลบ

2.7.1.4 สารควบคุมความชุ่มชื้น เป็นสารที่ทำหน้าที่ดูดความชื้นในบรรยากาศเข้าไปในเซรั่ม ปรับสมดุลของเซรั่ม ป้องกันการสูญเสียน้ำของเซรั่ม เมื่อตั้งทิ้งไว้ผิวหน้าจะไม่แห้ง และเมื่อใช้เซรั่มทาเส้นผม สารนี้จะปรับสมดุลระหว่างความชื้นในบรรยากาศและควมชื้นจากเส้นผม ทำให้เส้นผมมีความชุ่มชื้น นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เส้นผมเรียบเนียนไม่ขรุขระ และยังช่วยให้เซรั่มกระจายตัวได้ดีและให้ความรู้สึกนุ่มเวลาที่ทา ไม่ควรใช้ความเข้มข้นที่สูงเกินไปเพราะจะดูดความชื้นจากเส้นผม ทำให้เส้นผมแห้งได้

2.7.1.5 สารกันเสีย เป็นสารที่ไปขัดขวางการเจริญเติบโต การแบ่งตัว การเผาผลาญอาหารของเชื้อ โดยอาจจะไปเกิดออกซิไดซ์, รัดิวัลซ์ หรือไฮโดรไลซ์

2.7.1.6 สารแต่งสี สีที่ใช้ในทางเภสัชกรรมมี 2 ชนิด ได้แก่สีที่ละลายในน้ำและสีที่ไม่ละลายในน้ำ ช่วยให้ดึงดูดความสนใจหรือดึงดูดตาของผู้ใช้ รวมทั้งเป็นการแต่งสีเพื่อกลบสีของเซรั่มที่มีอยู่ก่อน ความเข้มข้นของสีที่ใช้ไม่ควรสูงจนเกินไป เนื่องจากอาจก่อให้เกิดความระคายเคืองได้

2.7.1.7 สารแต่งกลิ่น เป็นสารที่มีความสำคัญที่ทำให้เข้มข้นน้ำใช้ ทำให้ดูมีราคา การเลือกใช้สารแต่งกลิ่นควรเลือกควรเลือกที่มีคุณภาพดี มีความคงตัว กลิ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผสมลงไปเนซรั่มทั้งปัจจุบันและเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานๆที่อุณหภูมิปกติ และจะต้องไม่ก่อการระคายเคืองแก่ผู้ใช้

### 2.7.2 การวัดการระคายเคืองด้วย TEWA meter

Transepidermal water loss (TEWL) คือน้ำที่ระเหยแพร่ผ่านผิวหนัง โดยจะใช้เครื่อง TEWA meter วัดปริมาณน้ำ น้ำจะระเหยเพื่อการทำงานของผิวหนัง ถ้าผิวหนังผิดปกติ ปริมาณน้ำที่ระเหยจะเพิ่มขึ้น TEWL เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ประเมินผลของครีมที่ต้านการระคายเคือง, ดูการทำงานของผิวหนังในคลินิกโรคผิวหนังและใช้ในการทดสอบการระคายเคืองหรืออาการแพ้ เครื่อง TEWA meter ทำงานโดยวัดความต่างความดันของน้ำระหว่างผิวหนังและอากาศ การวัดขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ บริเวณที่วัด, มีเหงื่อ, อุณหภูมิที่ผิวหนัง, ปัจจัยระหว่างบุคคลและปัจจัยแต่ละบุคคล, การระบายอากาศ, อุณหภูมิห้อง, ความชื้นและประสิทธิภาพเครื่องมือ ถึงแม้ว่า TEWL จะขึ้นกับปัจจัยมากมาย แต่หลายงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า TEWA meter ให้ผลเหมือนกันทั้งในหลอดทดลอง (in vitro) และในสิ่งมีชีวิต (in vivo) [25]

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

H.Wang และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเปรียบเทียบนาโนเซลลูโลสจากไฟเบอร์และพาเรงคิมาจากไฟโม่โซ โดยนำตัวอย่างไฟเบอร์ผ่านกรรมวิธีบดละเอียดเพื่อเตรียมทำเป็นเยื่อกระดาษซึ่งจะประกอบด้วยไฟเบอร์เป็นส่วนมากและไฟที่เป็นเศษขนาดเล็ก ซึ่งเหลือจากกรรมวิธีบดทางอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาประมาณร้อยละ 80 โดยวิธีแปรรูปเป็นนาโนเซลลูโลส เริ่มจากนำไฟทั้ง 2 ตัวอย่างมาผ่านกรรมวิธีเพื่อเป็น Holocellulose ไม่มีสารเจือปนตกค้างทำได้โดยนำไฟทั้ง 2 ตัวอย่างมากำจัดไซใน Benzyl และ Ethanol ในอัตราส่วน 2 : 1 ใน Soxhlet apparatus เป็นเวลา 6 ชั่วโมงจากนั้นนำไปกำจัด Lignin โดยใส่ Sodium Chlorite ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำประมาณ 5 ครั้งจะได้ Holocellulose ซึ่งอาจจะมีการปนเปื้อน Pectin เจือปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย กำจัดได้โดยใส่ Potassium hydroxidate ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขั้นตอนต่อมานำไฟที่ผ่านกรรมวิธีบดละเอียดเพื่อเตรียมทำเป็นเยื่อกระดาษมาผ่านกระบวนการ Ultrasonication เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งตัวอย่างไฟที่เป็นเศษขนาดเล็กซึ่งเหลือจากกรรมวิธีบดทางอุตสาหกรรมไม่ต้องผ่านกระบวนการนี้ จากนั้นนำตัวอย่างไฟทั้ง 2 แบบไปปั่นที่ความเร็วสูงและนำไปทำเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้การ High-pressure homogenization จะได้นาโนเซลลูโลสจากไฟเบอร์และนาโนเซลลูโลสจากพาเรงคิมา จากการทดลองพบว่านาโนเซลลูโลสจากไฟเบอร์ของไฟจะประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 74.36 และนาโนเซลลูโลสจากพาเรงคิมาของไฟประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 68.76 และนาโนเซลลูโลสจากไฟเบอร์ต้องการ High-pressure homogenization มากกว่า 15 ครั้งและ ต้องผ่านทั้งกระบวนการ Ultrasonication ในขณะที่นาโนเซลลูโลสจาก



พาแรงคิมาต้องผ่าน High-pressure homogenization ประมาณ 5 ครั้ง และไม่ต้องผ่าน Ultrasonication ซึ่งประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายน้อยกว่า แต่คุณสมบัติเชิงกลและการวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยาพบว่ามีคุณสมบัติเหมือนกัน

C.Nirmala และคณะ [27] ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระและประโยชน์ในด้านอาหารและยาของใผ่ โดยพบว่าหน่อใผ่อุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งได้แก่ วิตามินเอ, วิตามินบี 1, วิตามินบี 3, วิตามินบี , วิตามินซี, วิตามินอี และกรดอะมิโน ซึ่งประกอบไปด้วยสารหลักๆ 2 ชนิดคืออาร์จินีนที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ไกลโคโปรตีน และไทโรซีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารสื่อประสาทและช่วยขับเกลือส่วนเกินของร่างกายส่วนลำต้นใผ่ อุดมไปด้วยแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ ทองแดง, สังกะสี, แมงกานีส, เหล็ก, โพแทสเซียม และอีเลเนียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยฟีนอล ซึ่งทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ โดยเฉลี่ยมีประมาณ 191.37 มิลลิกรัมถึง 630.0 มิลลิกรัมต่อใผ่ 100 กรัมและ วิตามินซี มีหน้าที่ในการสร้างคอลลาเจน, การดูดซึมธาตุเหล็กลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันป้องกันเลือดออกตามไรฟันและเหงือก และต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉลี่ยมีประมาณ 1.00 มิลลิกรัมถึง 4.80 มิลลิกรัมต่อใผ่ 100 กรัม และ วิตามิน E ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันการแตกของเม็ดเลือดแดง ป้องกันการเกิดลิ่มเลือดและการอุดตันของเส้นเลือด, ลดการเกิดกระบวนการอักเสบในร่างกายที่อาจนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆและช่วยกำจัดอนุมูลอิสระ โดยเฉลี่ยมีประมาณ 0.42 มิลลิกรัม ถึง 0.91 มิลลิกรัมต่อใผ่ 100 กรัม

J. Young และคณะ [28] ได้ศึกษาเกี่ยวกับน้ำมันของเปปเปอร์มินท์ซึ่งเปปเปอร์มินท์เป็นพืชพื้นเมืองของยุโรป และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นยาขับลมและกระตุ้นกระเพาะอาหาร รวมถึงการใช้เป็นเครื่องสำอางค์ในพวกน้ำหอม การวิจัยนี้เป็นการวิจัยโดยศึกษาผลของน้ำมันเปปเปอร์มินท์ต่อการเจริญเติบโตของเส้นผมในหนูทดลองใน C57BL ต่อหนู 6 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามการใช้งานเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้ น้ำเกลือ (SA), น้ำมันโจโจ้บา (JO), 3% minoxidil (MXD), 3% น้ำมันสะระแห้น (PEO) ซึ่งผลของการเจริญเติบโตของเส้นผมของการใช้งานเฉพาะที่ 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ทางเนื้อเยื่อจากการทำงานของเอนไซม์ Alkaline phosphase (ALP) และการแสดงออกของยีนของปัจจัยการเจริญเติบโตคล้ายอินซูลิน - 1 (IGF-1) โดยกลุ่มของ PEO แสดงผลของการเจริญเติบโตของเส้นผมที่โดดเด่นที่สุด ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความหนาเส้นผมและความลึกของรูขุมขน ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า PEO ชักนำให้เกิดแอนติเจนอย่างรวดเร็วและสามารถใช้เป็นตัวแทนในทางปฏิบัติสำหรับการเจริญเติบโตของเส้นผมโดยไม่เปลี่ยนน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพของอาหาร

Y.Yu และคณะ [29] ได้ศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของเส้นผมภายใต้เงื่อนไขต่างๆ จากเส้นใยระดับกลางถึงระดับโครงสร้าง ประเมินผลกระทบของอัตราความเครียด ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยเส้นผมจะมีความต้านทานแรงดึงสูงถึง 150-270 MPa โดยจะขึ้นอยู่กับอัตราความเครียดและความชื้นเป็นหลัก ความไวต่อความเครียดประมาณ 0.06-0.1 เทียบได้กับวัสดุอื่นๆที่เป็น Kera-tinous และโพลิเมอร์สังเคราะห์ทั่วไป คุณลักษณะที่โดดเด่นอย่างหนึ่งในการคลี่คลายของ Alpha-helix และการแปลงโครงสร้างที่เป็นไปได้ของ K-sheet ของเคราตินภายใต้

ความตึงเครียดซึ่งส่งผลกระทบต่อความเหนียวของเส้นผม ซึ่งได้รับการประเมินและวิเคราะห์ในสมการ โดยอธิบาย การตอบสนองแรงดึงของเส้นใย Alpha-keratin และการยึดหยุ่นในความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง

M.Richena และคณะ [30] ได้ศึกษาโครงสร้างเส้นผมและเม็ดสีธรรมชาติโดยเก็บตัวอย่างจากผมหงอกผสม ผมดำและสีน้ำตาลเข้มโดยผมหงอกไม่มีประวัติการทำเคมี ก่อนการทดลองจะทำการล้างไขมันอิสระบนเส้นผมด้วย เอทิลอีเธอร์ในเครื่องสกัด Soxhlet เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากการระเหยอย่างสมบูรณ์ของตัวทำละลายที่ ประกอบด้วยไขมันอิสระภายในตัวดูความชื้นสารเหล่านี้จะถูกแขวนลอยอีกครั้งในบัฟเฟอร์ 12 mM tris-HCl บัฟเฟอร์ (pH = 7.2) และ sonicated จากนั้นทดสอบกับรังสี 2 ประเภท 1) แสงแดดโดยตรง และ 2) หลอดไอ พรอท ตัวอย่างเส้นผมถูกแสงอาทิตย์เต็มสเปกตรัมเป็นเวลา 5 ชั่วโมงตามด้วยช่วงเวลาในความมืดมากกว่า 19 ชม. และตัวอย่างผมจะทดสอบกับหลอดไอพรอทเต็มสเปกตรัมเป็นเวลา 10 ชั่วโมงตามด้วย 14 ชั่วโมงในที่มืด จากนั้น ทดสอบด้วย Small Angle X-Ray Scattering (SAXS) จากนั้นตรวจดูผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่อง ผ่าน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการฉายรังสีเป็นอันตรายต่อผิวนอกของเส้นผมทั้งที่มีสีและไม่มี ในขณะที่ส่วนนอก สุดไม่ได้แสดงถึงการเสื่อมสภาพของโครงสร้างภายในผิวนอกของเส้นผมซึ่งถูกกระทบมากที่สุดคือ Endocuticle และ CMC ซึ่งสามารถสังเกตเห็นรอยแตกและการเสื่อมสภาพได้ SAXS แสดงให้เห็นถึงการกระจายซึ่งมีรัศมี ประมาณ 4.5 นาโนเมตรในตัวอย่างทดลอง ซึ่งเพิ่มความหนาขึ้นหลังจากการฉายรังสี และภาพจากกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านแสดงผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่ารัศมีมีความเกี่ยวข้องกับไขมันที่อยู่ใน CMC ซึ่งมีพันธะ โคเวเลนต์กับเคราตินโดยมีการเชื่อมโยงผ่าน thioester

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัตถุดิบ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 เศษไผ่ที่เหลือจากการทำผลิตภัณฑ์จักสาน พันธุ์ช่างหม่น

3.1.1.2 น้ำมันมันท์

3.1.1.3 น้ำมันมะพร้าว

##### 3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 น้ำกลั่น (Deionized water)

3.1.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 4% โดยมวลต่อปริมาตร

3.1.2.3 สารลดแรงตึงผิว Tween 20 และ Span 80

3.1.2.4 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ความเข้มข้น 10% โดยมวลต่อปริมาตร

##### 3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.3.1 ปีกเกอร์

3.1.3.2 กระจบอกลง

3.1.3.3 แท่งแก้วคนสาร

3.1.3.4 ซ้อนตักสาร

3.1.3.5 ขวดวัดปริมาตร

3.1.3.6 กระดาษทดสอบพีเอช (Universal pH indicator strips)

3.1.3.7 กรวยกรองบุชเนอร์

3.1.3.8 ขวดกรองสาร

3.1.3.9 กระดาษกรองเบอร์ 4

3.1.3.10 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.3.11 ตู้อบ (Oven)

3.1.3.12 เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hot plate)

3.1.3.13 เครื่องผสมและลดขนาดอนุภาคด้วยแรงดันสูง (Microfluidizer LM120)

3.1.3.14 เครื่องปั่นความเร็วสูง (High speed blender)

3.1.3.15 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ (Spectrometer)

3.1.3.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field emission scanning-electron microscope, FE-SEM)

3.1.3.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

## 3.2 วิธีการทดลอง

### 3.2.1 การต้มเยื่อไผ่

นำเศษไผ่ที่เหลือจากการจักสานที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว ตัดเป็นชิ้นที่มีขนาดเล็กลง ล้างทำความสะอาด กำจัดสิ่งสกปรก ทำการอบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาปั่นในเครื่องปั่นความเร็วสูงจนได้เส้นใยขนาดเล็ก จากนั้นนำไปสกัดแยกเซลลูโลส และกำจัดสารประกอบอื่น เช่น ลิกนิน ด้วยกระบวนการดีลิกนินิฟิเคชัน (Delignification) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 4% โดยมวลต่อปริมาตร ที่อัตราส่วนเศษไผ่ที่เหลือจากการทำผลิตภัณฑ์จักสานต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัมต่อ 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นชะล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลางหรือมีพีเอช (pH) เท่ากับ 7 เมื่อตรวจวัดด้วยกระดาษทดสอบพีเอช (Universal pH indicator strips) และศึกษาความสามารถในการกำจัดลิกนินจากการทำซ้ำ 1 และ 2 รอบ ตามลำดับ

### 3.2.2 การฟอกเยื่อไผ่

เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10% โดยมวลต่อปริมาตร ใส่เยื่อที่ผ่านการกำจัดลิกนิน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นชะล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลางหรือมีพีเอช (pH) เท่ากับ 7 เมื่อตรวจวัดด้วยกระดาษทดสอบพีเอช (Universal pH indicator strips) และศึกษาความสามารถในการฟอกสีและกำจัดสารอื่นๆจากการทำซ้ำ 1 และ 2 รอบ ตามลำดับ จะได้เส้นใยเซลลูโลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับไมโครเมตรหรือไมโครเซลลูโลสไฟเบอร์

### 3.2.3 การเตรียมนาโนเซลลูโลส

นำไมโครเซลลูโลสไฟเบอร์ที่ได้ไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง Freeze dryer เป็นเวลา 50 ชั่วโมง จะได้เส้นใยแห้งขนาดเล็ก จากนั้นนำไปกระจายตัวในน้ำได้สารแขวนลอยเซลลูโลสไมโครไฟเบอร์ที่ความเข้มข้น 0.5% w/v ด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง และนำไปลดขนาดด้วยเครื่องผสมและลดขนาดอนุภาคด้วยแรงดันสูง (Microfluidizer LM120) เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ความดันที่ 20000 psi

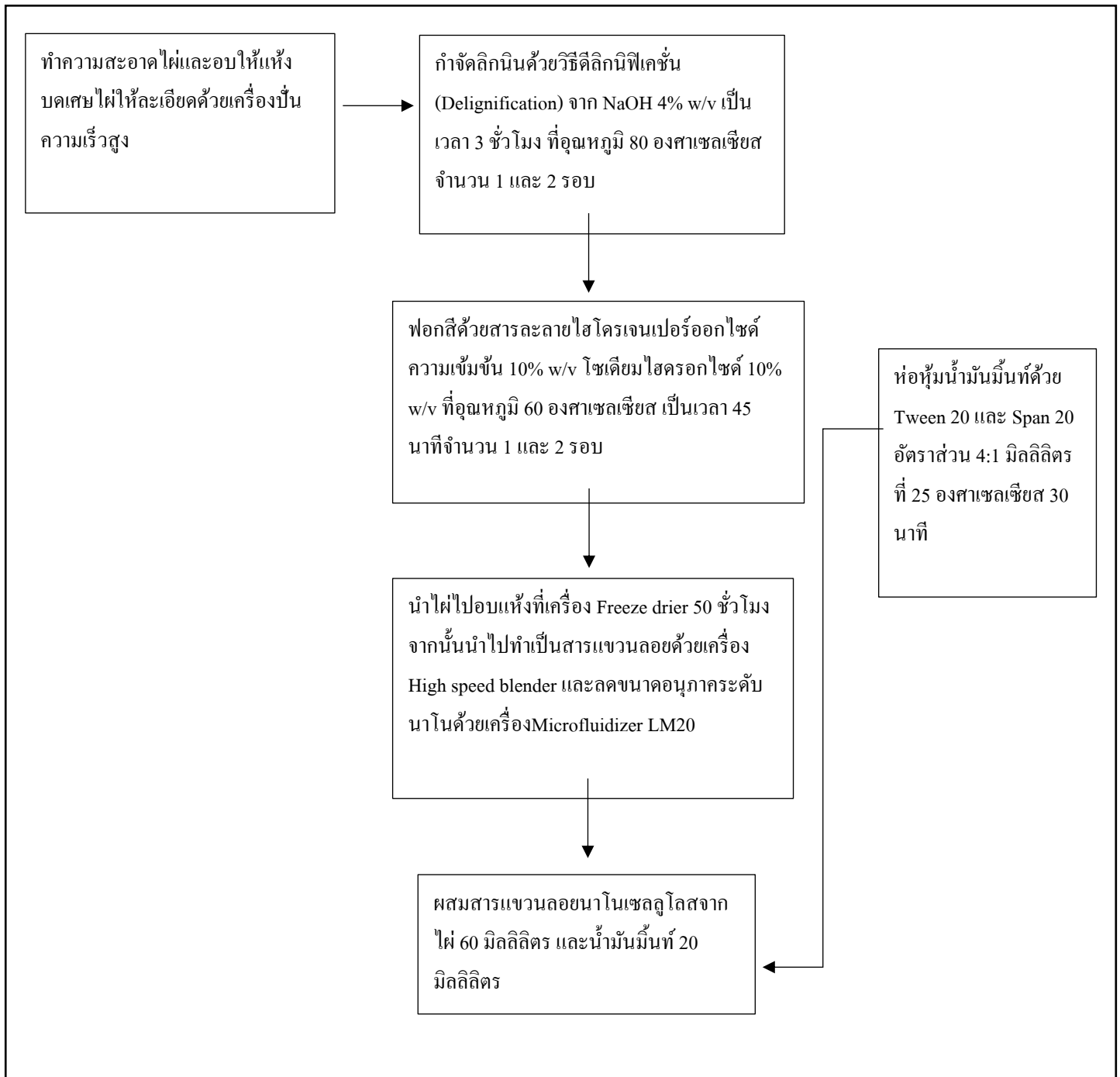
### 3.2.4 การห่อหุ้มน้ำมันด้วยสารลดแรงตึงผิว

นำ Tween 20 10.29 มิลลิลิตร ผสมกับ Span 80 9.71 มิลลิลิตร กวนด้วย Magnetic bar ความเร็วปานกลางเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำมัน 25.6 มิลลิลิตร ผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

### 3.2.5 ผลิตภัณฑ์แบบผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม

นำสารแขวนลอยนาโนเซลลูโลสไฟ 60 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 0.5% w/v ผสมน้ำมันที่ถูกรักษาด้วยสารละลายผสมแรงตึงผิว 20 มิลลิลิตร ผสมในบีกเกอร์ กวนด้วย Magnetic bar ความเร็วปานกลางจนเป็นเนื้อเดียวกัน และบรรจุในขวดบรรจุภัณฑ์

### 3.3 แผนผังการทดลอง



ภาพ 3.1 แผนผังแสดงวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.4 การวิเคราะห์สมบัติของไมโครเซลลูโลส นาโนเซลลูโลสและเซรามบารุงผม

#### 3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติของไมโครเซลลูโลสไฟเบอร์

##### 3.4.1.1 การคำนวณร้อยละผลผลิต (%yield) ของการสกัดเซลลูโลสไมโครไฟเบอร์

การคำนวณร้อยละผลผลิตสามารถคำนวณผลิตภัณฑ์หลังจากนำเศษไฟ์ที่เหลือจากการจักสานไปทำปฏิกิริยากำจัดลิกนินและพอก โดยสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.1

$$\% \text{ yield} = \frac{a}{b} \times 100 \% \quad \text{.....(3.1)}$$

โดย a คือ น้ำหนักของเซลลูโลสไฟเบอร์หลังผ่านการพอก (กรัม)  
b คือ น้ำหนักของเศษไฟ์พันธุ์ขางหม่นที่นำมาพอก (กรัม)

##### 3.4.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

ใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectrometry, FT-IR) โดยนำไมโครเซลลูโลสที่แห้งมาบดผสมกับโปแตสเซียมโบรไมด์ (KBr) และกดอัดเพื่อให้ได้เป็นแผ่นโปร่งแสง และนำไปวิเคราะห์ในช่วงเลขคลื่นระหว่าง  $400 \text{ cm}^{-1}$  ถึง  $4000 \text{ cm}^{-1}$  ที่มีความละเอียด  $16 \text{ cm}^{-1}$

##### 3.4.1.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาหรือโครงสร้างระดับจุลภาคของไมโครเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยตัวอย่างจะถูกทดสอบที่กำลังขยาย 250X 1000X และ 5000X เท่าตามลำดับ และทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิล์มอิมิสชัน (FE SEM) โดยตัวอย่างจะถูกทดสอบที่กำลังขยาย 9000X 19000X 29000X ตามลำดับ

##### 3.4.1.4 ความเสถียรภาพทางความร้อน

ใช้เทคนิค TGA ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 600 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการให้ความร้อนคงที่เท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เพื่อดูขั้นตอนการสลายตัวของเส้นใยได้อย่างชัดเจน และดูค่าที่สูงที่สุดของอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเส้นใยไฟ์

### 3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติของเซราม์และเส้นผม

#### 3.4.2.1 ความชุ่มชื้นของเส้นผม หลังจากการใช้เซราม์บำรุงผม ( Moisture Content )

นำเส้นผมตัวอย่างหนักด้วยเซราม์บำรุงผมเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นล้างออกด้วยน้ำเปล่า ชั่งน้ำหนักผมในขณะที่ยังเปียก ( wet weight ) เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักเส้นผมเมื่อนำไปอบเป็นเวลา 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ( dry weight ) เพื่อหาความชุ่มชื้นของเส้นผม โดยสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.2

$$MC = \frac{w-d}{w} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.2)$$

โดย w คือ น้ำหนักเปียกของเส้นผม (กรัม)  
d คือ น้ำหนักแห้งของเส้นผมหลังการอบ (กรัม)

#### 3.4.2.2 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเส้นผม

นำเส้นผมตัวอย่างหนักด้วยน้ำเปล่า เซราม์บำรุงผมทั่วไป และเซราม์บำรุงผมจากนาโนเซลลูโลสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นล้างออกด้วยน้ำเปล่า ทำทุกวันเป็นเวลา 7 วัน เพื่อเปรียบเทียบความทิ้งตัวและความชี้ฟูของเส้นผม

### 3.5 ตารางการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยในปี 2563 ถึง 2564 โดยจะดำเนินงานวิจัยตามช่วงเวลาดังที่ แสดงในตารางที่ 3.5



ตารางที่ 3.5 แผนการดำเนินงานวิจัย ในช่วงเวลาต่างๆ

	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย
1.สืบค้นข้อมูลและเตรียมการทดลอง										
2.เตรียมไมโครเซลล์จากไฟฟ้าพัลส์ข้างหม่น และวิเคราะห์สมบัติของไมโครเซลล์ไฟเบอร์										
3.เตรียมนาโนเซลล์และวิเคราะห์สมบัติของ นาโนเซลล์										
4.เตรียมห่อหุ้มน้ำมันที่ด้วยสารลดแรงตึงผิว										
5.ผสมเซรามิกจากนาโนเซลล์และน้ำมันที่										
6.วิเคราะห์สมบัติของเซรามิก										
7.วิเคราะห์ผลการทดลอง										
8.สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน										

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์สมบัติของเซลลูโลส

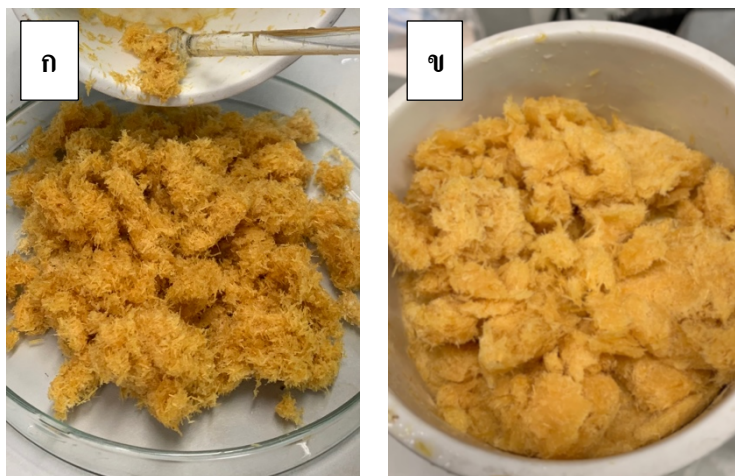
##### 4.1.1 การดิลิกนิฟิเคชัน (Dilignification)

จากการเตรียมเส้นใยไฟเบอร์ผ่านการตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ และทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง จะได้เส้นใยไฟเบอร์ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.25 – 1 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลอ่อน ไม่มีการเกาะรวมตัวกันดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง

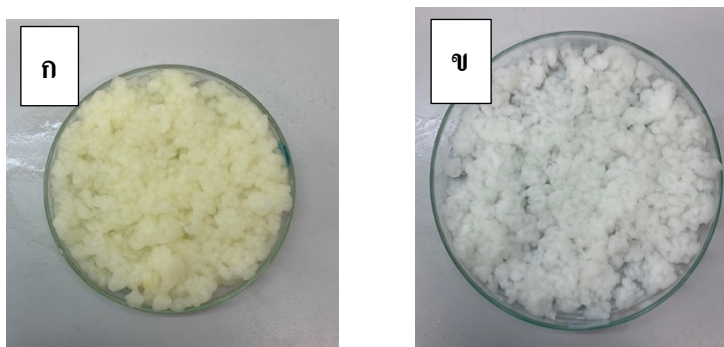
จากการเตรียมเซลลูโลสจากเส้นใยจักสานที่ผ่านการปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง โดยได้สกัดแยกองค์ประกอบอื่นออกจากเซลลูโลสด้วยวิธีดิลิกนิฟิเคชัน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยมวลต่อปริมาตร ใช้สัดส่วนของไฟเบอร์ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 ต่อ 20 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จำนวน 2 รอบ พบว่าเส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 1 และ 2 รอบ มีสีน้ำตาลอมเหลืองเข้ม และ สีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน ตามลำดับ จากการต้ม 1 และ 2 รอบ มีความเข้มสีแตกต่างกันคาดว่าเกิดจาก การคงเหลือของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส หากเหลืออยู่ในปริมาณมากจะแสดงสีเข้ม ซึ่งสามารถวิเคราะห์ด้วยเทคนิคผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและ ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) โดยภาวะการนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปคือเส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชันจำนวน 2 รอบ แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เส้นใยไฟที่ผ่านการ Delignification จำนวน ก. 1 รอบ และ ข. 2 รอบ

#### 4.1.2 การฟอกสีเส้นใยไฟ

จากการฟอกเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อรักษาสภาพ pH ให้เป็นเบสเพื่อเพิ่มการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวลต่อปริมาตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร สัดส่วนของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ 1 ต่อ 1 และสัดส่วนโดยปริมาตรของสารละลายผสมกับไฟคือ 20 ต่อ 1 โดยทำการฟอกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จำนวน 2 รอบ พบว่าเส้นใยไฟที่ผ่านการฟอกครั้งที่ 1 และ 2 รอบมีสีเหลืองอ่อน และ ขาว โดยเส้นใยไฟที่ผ่านการฟอกแล้วมีสีขาวยจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเส้นใยไฟที่ผ่านการบวกรีดก้างแล้วไม่มีส่วนประกอบของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส หรือเหลืออยู่ในปริมาณที่น้อย แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ก.เส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอกสี 1 รอบ และ ข.เส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอกสี 2 รอบ

#### 4.1.3 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต (Percent yield)

จากการวิเคราะห์ %yeild ของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการดิลิกนิฟิเคชัน (Delignification) และฟอกสีที่จำนวนรอบต่างๆกัน พบว่าเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอกสี 2 รอบ วัดค่าร้อยละผลผลิต หรือ ปริมาณคงเหลือได้ร้อยละ 41.80 ในขณะที่เส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอกสี 1 รอบ วัดค่าร้อยละผลผลิตได้ร้อยละ 54.10 และเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 1 รอบ และฟอกสี 1 รอบ สามารถวัดค่าร้อยละผลผลิตได้สูงสุดคือร้อยละ 64.10 ซึ่งค่าความแตกต่างของร้อยละผลผลิตเหล่านี้เกิดจากการสลายตัวเพิ่มขึ้นของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสตามจำนวนรอบของกระบวนการดิลิกนิฟิเคชันและการฟอกสีซึ่งผลที่ได้เป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้อีกทางหนึ่งนอกเหนือไปจากการวิเคราะห์ด้วยหมู่ฟังก์ชันหรือการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนตลอดจนองค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ที่จะกล่าวต่อไป

ตารางที่ 4.1 ค่าร้อยละผลผลิตของไฟที่ผ่านกระบวนการดิลิกนิฟิเคชันและการฟอกสี

จำนวนรอบที่ผ่านกระบวนการทางเคมี	ร้อยละผลผลิต
ดิลิกนิฟิเคชัน (Delignification) : 1 รอบ การฟอกสี : 1 รอบ	64.10
ดิลิกนิฟิเคชัน (Delignification) : 2 รอบ การฟอกสี : 1 รอบ	54.10
ดิลิกนิฟิเคชัน (Delignification) : 2 รอบ การฟอกสี : 2 รอบ	41.80

#### 4.2 การวิเคราะห์สมบัติไมโครเซลลูโลส

##### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความดุดกสีคลีน

จากการตรวจวัดค่าความสามารถในการดุดกสีคลีน แสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) เพื่อเปรียบเทียบค่า WL-CIE (CIE Whiteness) ซึ่งแสดงถึงความขาว และค่า YL-E313 (E313 Yellowness) แสดงถึงความเหลืองของไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชันและการฟอกที่จำนวนรอบต่างๆกันมีค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงถึงค่า WL-CIE และ YL-E313 ของไฟที่ผ่านรอบกระบวนการทางเคมีต่างกัน

จำนวนรอบที่ผ่านกระบวนการทางเคมี	WL-CIE	YL-E313
ดิลิกนิฟิเคชัน (Dilignification) :1 รอบ การฟอกสี : 1 รอบ	9.82	25.08
ดิลิกนิฟิเคชัน (Dilignification) : 2 รอบ การฟอกสี : 1 รอบ	50.95	10.25
ดิลิกนิฟิเคชัน (Dilignification) : 2 รอบ การฟอกสี : 2 รอบ	72.13	4.16

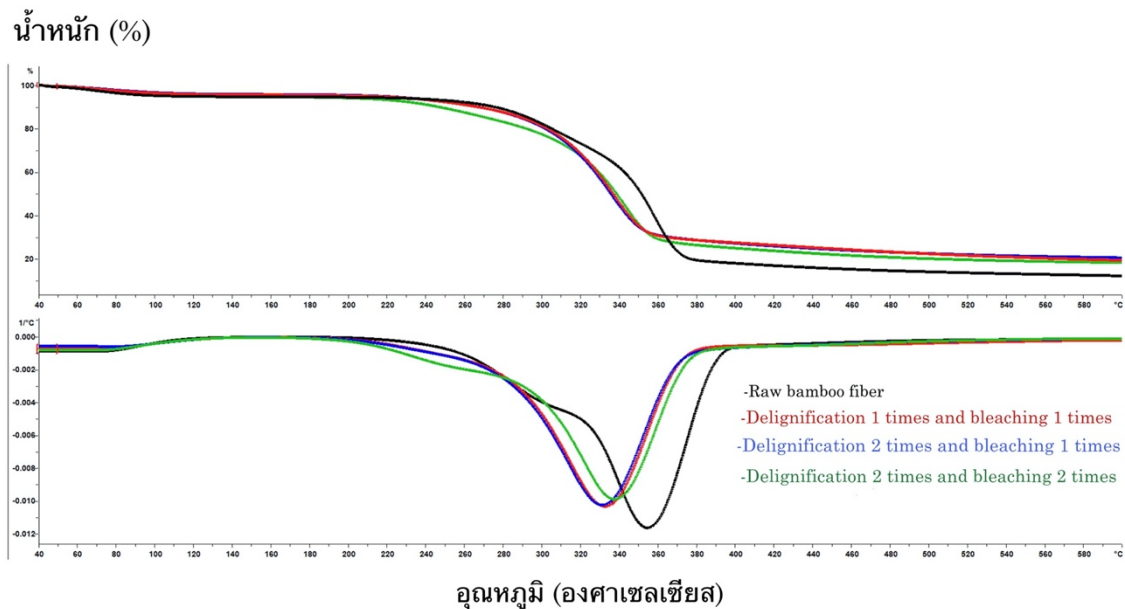
จากตารางพบว่าเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และ การฟอก 2 รอบ มีค่า WL-CIE สูงที่สุด เนื่องจากคาดว่าได้มีการกำจัดลิกนิน เหมิเซลลูโลสและโครงสร้างจำพวกโครโมฟอร์ (Chromophore compounds) ซึ่งเป็นโครงสร้างบางส่วนที่ทำให้เกิดสีออกไปได้มากกว่าภาวะอื่นๆในขณะเดียวกันค่า YL-E313 ซึ่งแสดงถึงความเหลืองของเส้นใยก็มีค่าลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญอีกด้วย

#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability)

รูปที่ 4.4 แสดงถึงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักหรือพฤติกรรมความร้อนของเส้นใยไฟที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี และ เส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชันและฟอกสี โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis ในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 600 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการให้ความร้อนคงที่เท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ซึ่งการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนจะวิเคราะห์ด้วย Derivative Thermogravimetric analysis (DTG) เพื่อดูขั้นตอนการสลายตัวของเส้นใยไฟอย่างชัดเจน และดูค่าที่สูงที่สุดของอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเส้นใยไฟ

จากการทดลองดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่าระหว่างเส้นใยไฟที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางเคมีกับเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน และการฟอกสี ทำให้ทราบว่ากระบวนการทางเคมีเหล่านี้ สามารถลดปริมาณสัดส่วนขององค์ประกอบอื่นๆ โดยเฉพาะลิกนินและเฮมิเซลลูโลส โดยไฟที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีมีการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสในช่วงอุณหภูมิ 279.54 - 313.97 องศาเซลเซียส น้ำหนักหายไปร้อยละ 20.61 และมีการสลายตัวของเซลลูโลสในช่วงอุณหภูมิ 346-391.57 องศาเซลเซียส น้ำหนักหายไปร้อยละ 57.54 โดยมีเถ้าที่เหลือจากการสลายตัวทางความร้อนร้อยละ 15.54 เทียบกับไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 1 รอบ และ ฟอกสี 1 รอบ มีการสลายตัวของเซลลูโลสในช่วงอุณหภูมิ 305.72 - 354.90 องศาเซลเซียส น้ำหนักหายไปร้อยละ ร้อยละ 69.29 และมีเถ้าที่เหลือจากการสลายตัวร้อยละ 65.21 โดยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และ ฟอกสี 1 รอบมีการสลายตัวของเซลลูโลสในช่วงอุณหภูมิ 304.85 -

353.66 องศาเซลเซียส น้ำหนักหายไปร้อยละ 69.92 และมีเถ้าที่เหลือจากการสลายตัวร้อยละ 24.77 เทียบกับไม้ที่ผ่านการดลิกนินฟิเคชัน 2 รอบ และ ฟอกสี 2 รอบมีการสลายตัวของเซลลูโลสในช่วงอุณหภูมิ 307.39 - 358.71 องศาเซลเซียส น้ำหนักหายไปร้อยละ 72.17 และมีเถ้าที่เหลือจากการสลายตัวร้อยละ 21.92 เมื่อเทียบแล้วเหลือปริมาณน้อยที่สุด เนื่องจากสามารถกำจัดองค์ประกอบอื่น ๆ นอกเหนือจากเซลลูโลสได้มากที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.4 สาเหตุที่ไม่เห็นช่วงการสลายตัวของลิกนินได้อย่างชัดเจน เป็นเพราะการสลายตัวของลิกนินมีช่วงการสลายตัวที่ค่อนข้างกว้างครอบคลุมตั้งแต่ 150 – 900 องศาเซลเซียส

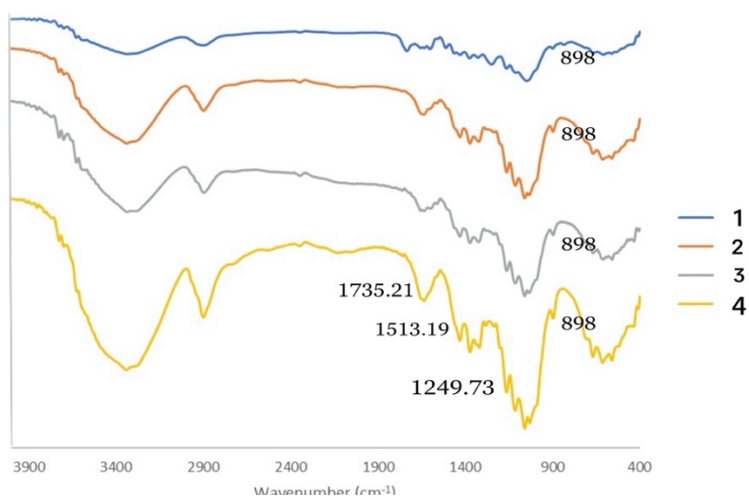


รูปที่ 4.4 กราฟ TGA และ DTG ของเส้นใยไม้ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ต่างกัน

#### 4.2.3 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

รูปที่ 4.5 แสดงเลขคลื่นซึ่งบอกถึงผลหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) โดยสเปกตรัมของเซลลูโลสที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางเคมีใดๆ มีเลขคลื่นที่เด่นชัดที่ตำแหน่ง  $1735.21 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{C}=\text{O}$  ของหมู่เอโรมาติก (Aromatic) ในโครงสร้างของลิกนิน และ เฮมิเซลลูโลส นอกจากนั้นยังมีเลขคลื่นที่เด่นขึ้นมาประมาณ  $1513.19 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{C}=\text{C}$  ของเอโรมาติก (Aromatic) ใน ลิกนิน (Lignin) และ เฮมิเซลลูโลส เช่นเดียวกัน และยังมีเลขคลื่นที่ตำแหน่งประมาณ  $1249.73 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{C}-\text{C}$  ในเฮมิเซลลูโลส และมีเลขคลื่นที่เด่นขึ้นมาที่ประมาณ  $898 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงผลถึงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{C}-\text{H}$  ในเซลลูโลส [32, 33]

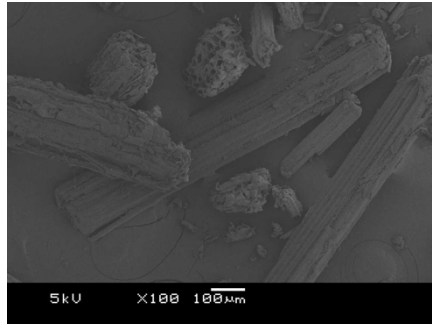
จากการเปรียบเทียบผลสเปกตรัมของเส้นใยไผ่ที่ผ่านการการดิกลินิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอกสี 2 รอบ พบว่ามีสเปกตรัมคล้ายกับไผ่ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางเคมีแต่จุดที่แตกต่างคือไม่พบเอกลักษณ์การมีอยู่ของลิควิน และ เฮมิเซลลูโลส ที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ตำแหน่ง  $1735.21\text{ cm}^{-1}$  และ  $1513.19\text{ cm}^{-1}$  และ  $1249.73\text{ cm}^{-1}$  แต่พบเอกลักษณ์การมีของหมู่ฟังก์ชัน C-H ในเซลลูโลสที่ประมาณ  $898\text{ cm}^{-1}$  เช่นเดียวกับเส้นใยไผ่ที่ผ่านการการดิกลินิฟิเคชัน 1 รอบ และ ฟอกสี 2 รอบ และเส้นใยไผ่ที่ผ่านการการดิกลินิฟิเคชัน 1 รอบ และ ฟอกสี 1 รอบ ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งผลดังกล่าวสามารถยืนยันถึงประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนิน และ เฮมิเซลลูโลส ออกจากโครงสร้างของเส้นใยไผ่ด้วยกระบวนการดิกลินิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอกสี 2 รอบตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น



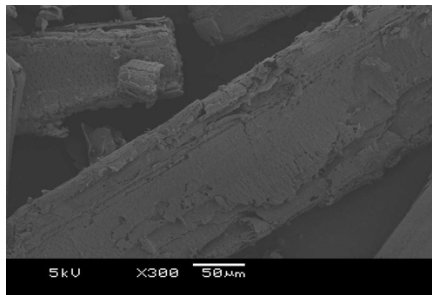
**รูปที่ 4.5** สเปกตรัมแสดงหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR เส้นใยไผ่ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่ต่างกัน  
 เส้นกราฟที่ 1 แสดงถึงเส้นใยไผ่ที่ผ่านการการดิกลินิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอกสี 2 รอบ  
 เส้นกราฟที่ 2 แสดงถึงเส้นใยไผ่ที่ผ่านการการดิกลินิฟิเคชัน 1 รอบ และฟอกสี 2 รอบ  
 เส้นกราฟที่ 3 แสดงถึงเส้นใยไผ่ที่ผ่านการการดิกลินิฟิเคชัน 1 รอบ และฟอกสี 1 รอบ  
 เส้นกราฟที่ 4 แสดงถึงเส้นใยไผ่ที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี

#### 4.2.4 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

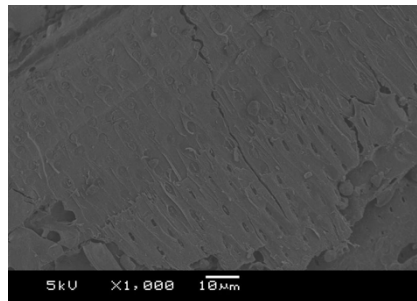
จากรูปที่ 4.6 , 4.7 และ 4.8 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไผ่ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี ที่กำลังขยาย 100 เท่า 300 เท่า และ 1000 เท่าตามลำดับ โดยเส้นใยมีลักษณะอยู่เป็นกลุ่มๆกระจายกันออกไปและยังไม่มีการแตกตัวของเส้นใย ยังจับตัวอยู่รวมกันเป็นเส้นขนาดใหญ่ และพบว่าไม้เม็ดแป้งรวมถึงสิ่งสกปรกเกาะอยู่ตามเส้นใย



รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไฟเบอร์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่กำลังขยาย 100เท่า



รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไฟเบอร์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่กำลังขยาย 300เท่า

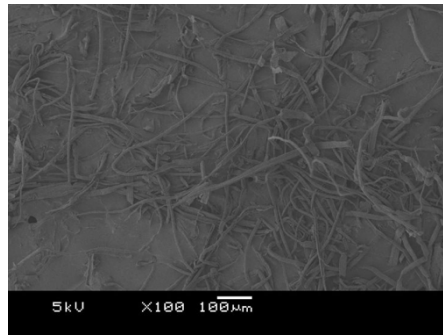


รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไฟเบอร์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่กำลังขยาย 1000เท่า

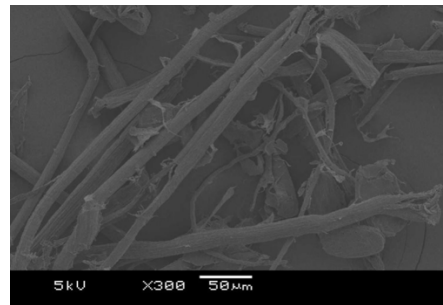
จากรูปที่ 4.9 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการดิลิกนินฟีเคชั่น 1 รอบ และฟอก 1 รอบ ที่กำลังขยาย 100 เท่าพบว่าเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงและมีความกระจัดกระจายมากขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 300 เท่า ดังรูปที่ 5.0 พบว่ามีการแตกตัวของเส้นใยเล็กน้อยและเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 1000 เท่าดังรูปที่ 4.11 พื้นผิวมีลักษณะเป็นร่องตามแนวยาวแต่ไม่ชัดเจนมากซึ่งบ่งบอกได้ถึงยังคงมีการรวมตัวของเส้นใย



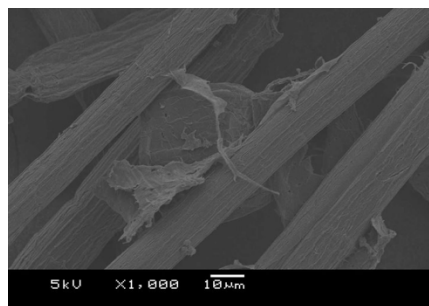
อีกทั้งยังมีเส้นใยเซลลูโลสบางส่วนหลุดออกจากเส้นใยหลัก



รูปที่ 4.9 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนินิฟเคชั่น 1 รอบ และฟอก 1 รอบ ที่กำลังขยาย 100 เท่า

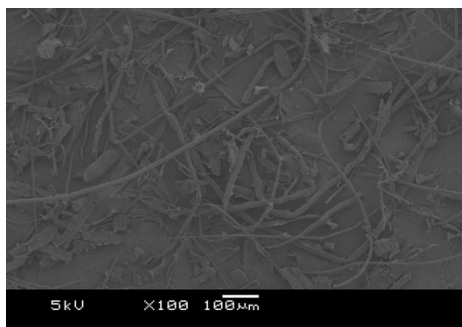


รูปที่ 4.10 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนินิฟเคชั่น 1 รอบ และฟอก 1 รอบ ที่กำลังขยาย 300 เท่า

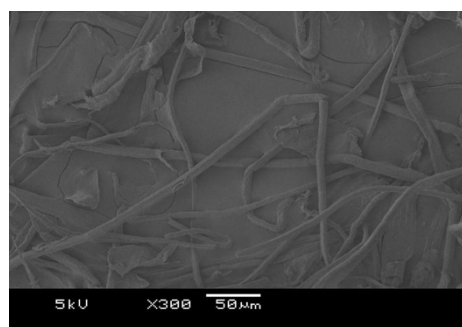


รูปที่ 4.11 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนินิฟเคชั่น 1 รอบ และฟอก 1 รอบ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

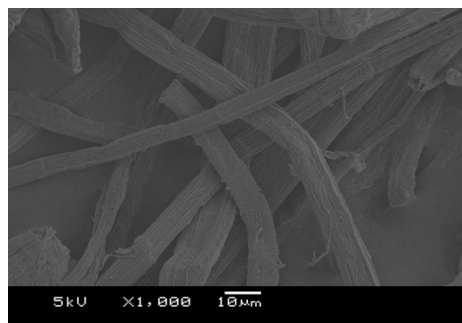
จากรูปที่ 4.12 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 1 รอบ ที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกลง และมีการกระจายตัวมากขึ้น และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 300 เท่าดังรูปที่ 4.13 พบว่า มีการแตกตัวของเส้นใยเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น และจากรูปที่ 4.14 สังเกตได้ว่าลักษณะพื้นผิวที่ความเป็นร่องที่ชัดเจนยิ่งขึ้นเนื่องจากเส้นใยแตกตัวมากขึ้น



รูปที่ 4.12 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 1 รอบ ที่กำลังขยาย 100 เท่า

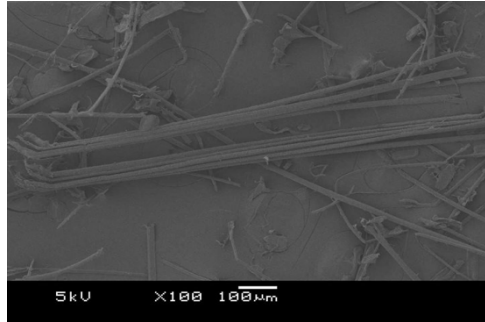


รูปที่ 4.13 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 1 รอบ ที่กำลังขยาย 300 เท่า

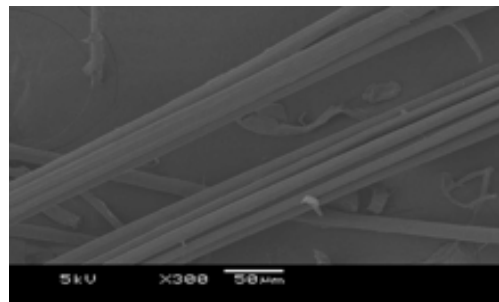


รูปที่ 4.14 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 1 รอบ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

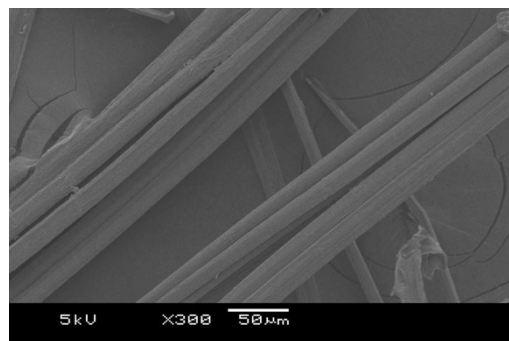
จากรูปที่ 4.15 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 2 รอบ ที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าเส้นใยมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลง เมื่อเพิ่มกำลังขยายที่ 300 เท่า ดังรูป 4.16 พบว่าเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงอีกทั้งยังมีการกระจายตัวมากขึ้น และที่กำลังขยาย 1000 เท่า ดังรูปที่ 4.17 เส้นใยมีลักษณะพื้นผิวเป็นร่องมากยิ่งขึ้นเนื่องจากการแตกตัวของเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.15 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 2 รอบ ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.16 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 2 รอบ ที่กำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.17 เป็นผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเส้นใยไฟที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 2 รอบ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

### 4.3 การวิเคราะห์สมบัติของเซรัม

#### 4.3.1. วิเคราะห์หาความชุ่มชื้นในเส้นผม

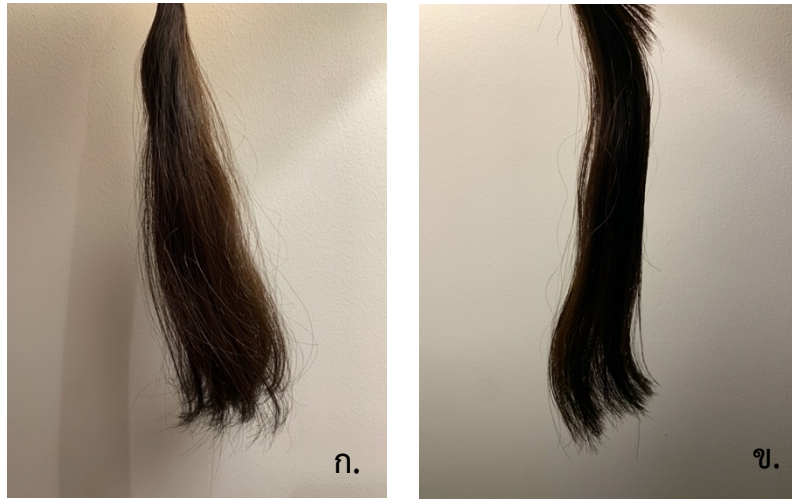
นำผมที่ไม่ผ่านการใช้เซรัม ผ่านการใช้เซรัมทางการค้าทั่วไป และผ่านเซรัมนาโนเซลลูโลสจากใผ มาทดสอบหาค่าความชุ่มชื้น จากการวิเคราะห์พบว่าค่า moisture content ของผมที่ไม่ผ่านการใช้เซรัม ผ่านการใช้เซรัมทางการค้าทั่วไป และผ่านเซรัมนาโนเซลลูโลสจากใผ ในวันแรก มีค่า 5.81 10.10 และ 10.32% ตามลำดับ และพบว่าค่า moisture content ของ ผมที่ไม่ผ่านการใช้เซรัม ผ่านการใช้เซรัมทางการค้าทั่วไป และผ่านเซรัมนาโนเซลลูโลสจากใผ ในวันที่สองมีค่า 7.05. 10.73 และ 10.15% ตามลำดับ และพบว่าค่า moisture content ของ ผมที่ไม่ผ่านการใช้เซรัม ผ่านการใช้เซรัมทั่วไป และผ่านเซรัมนาโนเซลลูโลสจากใผ ในวันที่สามมีค่า 8.50 10.50 และ 10.43% ตามลำดับ พบว่าเมื่อผ่านการใช้เซรัมนาโนเซลลูโลสจากใผและเซรัมทางการค้าในแต่ละวันจะทำให้มีค่า moisture content ที่เพิ่มมากขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน

#### 4.3.2 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผม

นำผมที่ไม่ผ่านการใช้เซรัม (รูปที่ 4.18) ผ่านการใช้เซรัมทางการค้าทั่วไป (รูปที่ 4.19) และผ่านเซรัมนาโนเซลลูโลสจากใผ (รูปที่ 4.20) มาสังเกตลักษณะทางกายภาพทั้งก่อนและหลังการใช้ จากการวิเคราะห์พบว่าผมที่ผ่านการหมักเซรัมทั่วไป และเซรัมนาโนเซลลูโลสมีการทิ้งตัวที่ดีกว่าผมที่ไม่ได้ทำการหมักด้วยเซรัม และหลังการหมักผม ผมจะมีการทิ้งตัวดีกว่าผมก่อนหมัก ในขณะที่ผมที่ไม่ได้มีการใช้เซรัมยังคงมีลักษณะแห้งและค่อนข้างฟูเมื่อเทียบกับผมที่ใช้เซรัม อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองเรายังไม่สามารถระบุหรือแยกความแตกต่างของผลการใช้เซรัมทางการค้าและเซรัมที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดด้านต่างๆ อาทิ ดูลักษณะเกล็ดผมจาก SEM



รูปที่ 4.18 แสดงรูปผมก่อน(ก) และ หลัง(ข) จากการล้างด้วยน้ำเปล่า



รูปที่ 4.19 แสดงรูปผมก่อน(ก) และ หลัง(ข) จากการใช้เซรั่มทั่วไป



รูปที่ 4.20 แสดงรูปผมก่อน(ก) และ หลัง(ข) จากการใช้เซรั่มนาโนเซลลูโลส

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการสังเคราะห์นาโนเซลลูโลสจากไม้เหลือใช้ เพื่อนำมาเป็นส่วนประกอบในเซรามิ บำรุงผมร่วมกับน้ำมันพืช เริ่มจากการเตรียมเซลลูโลส โดยเริ่มแรกชะล้างสิ่งสกปรกของเศษไม้ รวมถึงป่นให้มี ขนาดเล็กด้วยเครื่องป่นความเร็วสูง จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการดิลิกนิฟิเคชัน เพื่อกำจัดลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และส่วนประกอบอื่นๆนอกเหนือจากเซลลูโลส ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยมวล ต่อปริมาตร ใช้สัดส่วนของไม้ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 ต่อ 20 ต่อมานำมาฟอกไม้ที่ผ่านการดิลิกนิ ฟิเคชันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวลต่อปริมาตรและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร สัดส่วนของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์คือ 1 ต่อ 1 และสัดส่วนของสารละลายผสมกับไม้คือ 20 ต่อ 1

พบว่าจำนวนรอบที่ดีที่สุดของกระบวนการทางเคมีที่ทำให้ไม่มีสีขาว โดยมีค่า WL-CIE เท่ากับ 72.13 และ YL-E313 เท่ากับ 4.16 ซึ่งมาจากการตรวจวัดค่าความดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คือ ผ่าน การดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 2 รอบ แต่ไม้ที่ผ่านการการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 1 รอบมีสีน้ำตาลอม เหลืองอ่อน มีค่า WL-CIE เท่ากับ 50.95 และค่า YL-E313 เท่ากับ 10.25 และไม้ที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 1 รอบ และ ฟอก 1 รอบ มีสี น้ำตาลอมเหลือง ซึ่งมีสีเข้มที่สุด มีค่า WL-CIE เท่ากับ 9.82 และค่า YL-E313 เท่ากับ 25.08 สาเหตุที่เส้นใยไผ่ยังคงมีสีน้ำตาลอมเหลือง เป็นเพราะยังเหลือลิกนิน และ เฮมิเซลลูโลส และส่วนประกอบอื่นๆ นอกเหนือจากเซลลูโลส เพราะลิกนินนอกจากจะมีความว่องไวต่อการเกิดออกซิเดชัน ยังมีโครงสร้างบางส่วนของ โมเลกุลที่เป็นโครโมฟอร์ ซึ่งดูดกลืนและสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สามารถมองเห็นเป็นสีน้ำตาลปนเหลือง

เพื่อความแม่นยำในการตรวจสอบว่ายังมีส่วนประกอบอื่นๆนอกเหนือจากเซลลูโลสอยู่หรือไม่ จึงทำการ วิเคราะห์เปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ระหว่างไม้ที่ ยังไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี และไม้ที่ผ่านการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอก 2 รอบ พบว่าไม้ที่ยังไม่ผ่าน กระบวนการทางเคมี มีเลขคลื่นเด่นขึ้นมาที่ประมาณ  $1735.21\text{ cm}^{-1}$  สามารถบ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน C=O ของอโรมาติกในลิกนินและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนั้นมีเลขคลื่นเด่นขึ้นมาที่ประมาณ  $1513.19\text{ cm}^{-1}$  สามารถ บ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน C=C ของอโรมาติกในลิกนินและ เฮมิเซลลูโลส และยังมีเลขคลื่นเด่นขึ้นมาที่ ประมาณ  $1249.73\text{ cm}^{-1}$  สามารถบ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน C-C ในเฮมิเซลลูโลส โดยผลสเปกตรัมของไม้ ที่ผ่านการการดิลิกนิฟิเคชัน 2 รอบ และ ฟอก 2 รอบ แสดงผลคล้ายกับไม้ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางเคมีแต่จุดที่ แตกต่างคือไม่พบเอกลักษณ์การมีอยู่ของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส

จากนั้นทำการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อน(Thermal stability) ด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis ในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 600 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการให้ความร้อนคงที่เท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อ นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนซึ่งวิเคราะห์ด้วย Derivative Thermogravimetric analysis (DTG) โดยเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยไฟที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางเคมี กับเส้นใยไฟที่ผ่านการ ดิกลินิฟิเคชัน และการฟอกสี พบว่าไฟที่ผ่านกระบวนการดิกลินิฟิเคชัน 2 รอบ และฟอกสี 2 รอบ มีการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสที่น้อยที่สุด เนื่องจากสามารถกำจัดองค์ประกอบอื่นๆนอกเหนือจากเซลลูโลสได้มากที่สุดทำให้องค์ประกอบอื่นๆเหลือน้อยโดย อุณหภูมิของการสลายตัวของลิกนิน มีช่วงการสลายตัวที่ค่อนข้างกว้าง ครอบคลุมตั้งแต่ 150 – 900 องศาเซลเซียส จึงไม่สามารถเห็นได้อย่างแน่ชัด จากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่ากระบวนการดิกลินิฟิเคชันและการฟอก สามารถลดปริมาณของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้

เมื่อวิเคราะห์ความชุ่มชื้นของเส้นผมหลังจากผ่านการใช้เซรั่มพบว่าค่าความชุ่มชื้นเส้นผมที่ผ่านเซรั่มทั่วไป ซึ่งมีสารเคมีเพิ่มเติมและผ่านการปรับปรุงสูตร พบว่ามีค่าความชุ่มชื้นใกล้เคียงกับเซรั่มบำรุงผมจากนาโนเซลลูโลส ไฟโดยลักษณะทางกายภาพของเส้นผมที่ผ่านเซรั่มทั้ง 2 แบบ มีความทึบตัวมากขึ้น ชีฟู้น้อยลงเมื่อเทียบกับผมที่ไม่ ผ่านการใช้เซรั่มบำรุงผม จึงสรุปได้ว่าเซรั่มบำรุงผมจากนาโนเซลลูโลสไฟ สามารถช่วยให้เกิดความชุ่มชื้นน้อยลง ทึบตัวมากขึ้น และมีความชุ่มชื้นเพิ่มมากขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในขั้นตอนการเตรียมเซลลูโลส ควรเปรียบเทียบจำนวนรอบของกระบวนการดิกลินิฟิเคชันและฟอกเชื้อ ไฟหลายรอบ เพื่อจะได้นำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติของไฟได้มากขึ้น

5.2.2 ควรเปรียบเทียบหลายๆตัวอย่างสภาพผม เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซรั่มบำรุงผมอีกทั้ง ควรเปรียบเทียบกับเซรั่มทางการค้าหลายๆชนิด ซึ่งอาจมีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป เพื่อทดสอบว่า เซรั่มจากนาโนเซลลูโลสมีประสิทธิภาพบำรุงผมใกล้เคียงหรือไม่

## รายการอ้างอิง

- [1] Mandal, A., & Chakrabarty, D. (2014). Studies on the mechanical, thermal, morphological and barrier properties of nanocomposites based on poly (vinyl alcohol) and nanocellulose from sugarcane bagasse. *J. Ind. Eng. Chem.* 20: 462-473.
- [2] Hankun Wang, Xuexia Zhang, Zehui Jiang, Wanju Li, Yan Yu. (2015). A comparison study on the preparation of nanocellulose fibrils from fibers and parenchymal cells in bamboo (*Phyllostachyspubescens*), *Industrial Crops and Products*, 71, 80-88
- [3] Chongtham Nirmala, Madho Singh Bisht, Harjit KaurBajwa, Oinam Santosh. (2018). A rich source of natural antioxidants and its applications in the food and pharmaceutical industry, 77, 91-99.
- [4] Kanokwan, M. (2015). The Silane Treatment on The Surface Of Cellulose Fiber From Ricestraw As A Reinforced Material In Epoxy Resin. Chemical Studies, Chemistry, Silpakorn University. Master of Science Program.
- [5] Kittiya, P., Kanoktip,B.,& Wanichaya, M. (2018). Extraction and characterization of nanocellulose from sugarcane bagasse by ball-milling-assisted acid hydrolysis. AIP conference Proceedings. 02005-1 – 02005-7.
- [6] R. Sumo. (2017). nData on FTIR, TGA – DTG, DSC of invasive pennisetum purpureum grass. *Data in brief*, 30, 105336.
- [7] G. Emmanuel, S. Nour, R. Abdel, H. Ali and M. AL. (2015). Isolation and characterization of cellulose and  $\alpha$ -cellulose from date palm biomass waste. *Heliyon*, 5, 2937
- [8] Eylem D. Tomak. (2017). An FT-IR study of the changes in chemical composition of bamboo degraded by brown-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 131-138.
- [9] Leonard, Y. M, & Martin, P. A. (2002). Chemical modification of hemp, sisal, jute and kapok fibres by alkalisation. *Appl Polym Sci* 12: 22–34.
- [10] Bledzki, A. K., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Prog Polym Sci* 24 (2): 221–74.
- [11] John, M. J., & Anandjiwala, R. D. (2008). Recent developments in chemical modification and characterization of natural fibre-reinforced composites. *Polym Compos* 29(2): 187–207.
- [12] Saheb, D. N., & Jog, J. P. (1999). Natural fibre polymer composites: a review. *Adv Polym Tech* 18(4): 351–63.



- [13] Wang, B., Panigrahi, S., Tabil, L., & Crerar, W. (2007). Pre-treatment of flax fibres for use in rotationally molded biocomposites. *J Reinf Plast Compos* 26(5): 447–63
- [14] Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., Joseph, S., & Jacob, M. (2000). Oil palm fibers reinforced phenol formaldehyde composites: influence of fibers surface modifications on the mechanical performance. *Appl Compos Mater* 7(5–6): 295–329.
- [15] Yeng-Fong Shih. (2007). Mechanical and thermal properties of wastewater bamboo husk fiber reinforced epoxy composites. *Mate. Sci. and Eng. A445–446*: 289–295.
- [17] Sami, B., Hamid, K., & Alain, D. (2013). Mechanical performance and transparency of nanocellulose reinforced polymer nanocomposites. *Macromol. Mater. Eng.*: 1-9.
- [18] Henriette, M.C.A., LuizHenrique, C.M,Roberto, J.A.B.,GinoCeotio,F., Maxmiliano, L. M., Delilah, W., & Tara, H. M. (2010). Nanocellulose reinforced chitosan composite films as affected by nanofiller loading and plasticizer content. *J. FoodSci. Technol.* 75: N1-N7.
- [19] Hudson, A. S., Wilson Pires, F. N., Noélio, O. D., & Daniel, P. (2013). Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from corncob for application as reinforcing agent in nanocomposites. *Ind. Crops and Products.* 44: 427– 436.
- [20] MohamadHaafiz, M.K.,Hassan, A.,AbdulKhalil,H.P.S.,Nurul,M.R., Fazita,M.R., Saiful Islam, Md., Inuwa, I. M., Marlina, M. M., & Hazwan Hussin, M. (2016). Exploring the effect of cellulose nanowhiskers isolated from oil palmbiomass on polylactic acid properties. *Int. J. Biol. Macromol.* 85: 370-378.
- [21] Johar, N., Ahmad, I., & Dufresne, A. (2012). Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk. *Ind. Crops. and Products.* 37: 93-99.
- [22] Juan, I. M., Vera, A. A., Viviana, P. C., & Analia, V. (2008). Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. *Cellulose.* 15: 149-159.
- [23] Kakroodi, A. R., Cheng, S., Sain, M., & Asiri, A. (2014). Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Nanocomposites Based on Polyvinyl Alcohol and Cellulose Nanofiber from Aloe vera Rind. *J. Nanomater.:* 1-7.
- [24] Lee, S. Y., Mohan, D.J., Kang, I.A., Doh, G.H., Lee, S., & Han, S.O. (2009). Nanocellulose Reinforced PVA Composite Films: Effects of Acid Treatment and Filler Loading. *Fibers Polym.* 10: 77-82.

- [25] Lani, N. S., Ngadi, N., Johari, A., & Jusoh, M. (2014). Isolation, Characterization, and Application of Nanocellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber as Nanocomposites. *J. Nanomater.*: 1-9.
- [26] Mandal, A., & Chakrabarty, D. (2014). Studies on the mechanical, thermal, morphological and barrier properties of nanocomposites based on poly (vinyl alcohol) and nanocellulose from sugarcane bagasse. *J. Ind. Eng. Chem.* 20: 462-473.
- [26] Hankun Wang, Xuexia Zhang, Zehui Jiang, Wanju Li, Yan Yu. (2015). A comparison study on the preparation of nanocellulose fibrils from fibers and parenchymal cells in bamboo (*Phyllostachyspubescens*), *Industrial Crops and Products*, 71, 80-88
- [27] Chongtham Nirmla, Madho Singh Bisht, Harjit KaurBajwa, Oinam Santosh. (2018). A rich source of natural antioxidants and its applications in the food and pharmaceutical industry, 77, 91-99.
- [28] Ji Young Oh, Min Ah Park, Young Chul Kim. (2014). Peppermint Oil Promotes Hair Growth without Toxic Signs, *Trends in Food Science & Technology*, 297-304.
- [29] Yang Yu, Wen Yang Bin, Wang Marc, André Meyers. (2017). Structure and mechanical behavior of human hair, *Toxicological Research*, 73, 152-163.
- [30] Micle Richena, C.A. Rezende. (2020). Structure of photo-damaged white and naturally pigmented human hair, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*.

