



ความแข็งแรงต่อการโค้งงอและการเปลี่ยนสีของเรซินอะคริลิก
ที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสจากไผ่

FLEXURAL STRENGTH AND COLOR CHANGED OF HEAT-CURED RESIN ACRYLIC RE-
INFORCED BY NANOCELLULOSE FROM BAMBOO

พิชญา พงษ์สุขเจริญกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

ความแข็งแรงต่อการโค้งงอและการเปลี่ยนสีของเรซินอะคริลิก
ที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสจากไม้



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไปชั้นสูง
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

FLEXURAL STRENGTH AND COLOR CHANGED OF HEAT-CURED RESIN ACRYLIC RE-
INFORCEDBY NANOCELLULOSE FROM BAMBOO



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Master of Science (Advanced General Dentistry))
Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์
เรื่อง
ความแข็งแกร่งต่อการโค้งงอและการเปลี่ยนสีของเรซินอะคริลิก
ที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสจากไม้
ของ
พิชญา พงษ์สุขเจริญกุล

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไปชั้นสูง
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรสวรรค์ ธนธรวงศ์)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยพรรณา พุ่มผลึก)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณีย์ปฏิพัทธ์วุฒิมกุล ติตรอน)

ชื่อเรื่อง	ความแข็งแรงต่อการโค้งงอและการเปลี่ยนสีของเรซินอะคริลิก ที่เสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสจากไผ่
ผู้วิจัย	พิชญา พงษ์สุขเจริญกุล
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พรสวรรค์ ธนธรวงศ์

วัสดุทางทันตกรรมที่นิยมนำมาเป็นฐานของฟันเทียมแบบถอดได้ คือ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (พีเอ็มเอ็มเอ; PMMA) แต่เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีคุณสมบัติความแข็งแรงทางกลน้อยซึ่งเสี่ยงต่อการแตกหักในศตวรรษที่ 21 มนุษย์ได้ให้ความสำคัญกับการดูแลสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จึงได้มีการนำสารสกัดจากธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง ทั้งในรูปแบบเส้นใยและรูปแบบนาโนเซลลูโลสซึ่ง คุณสมบัติของนาโนเซลลูโลสนั้นมีความแข็งแรงและมีความเหนียวที่สูงมีพื้นที่ผิวที่มาก ต้นทุนต่ำ จากคุณสมบัติที่ดีของสารสกัดจากธรรมชาติและความสนใจในการใช้สิ่งทดแทนจากธรรมชาติในการนำมาเสริมแรงเรซินอะคริลิกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอ จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิกที่ใช้สร้างฐานฟันเทียมชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนแบบที่ไม่เสริมด้วยอนุภาคเซลลูโลสนาโนคริสตัลจากไผ่กับแบบที่ได้รับการเสริมด้วยอนุภาคเซลลูโลสนาโนคริสตัลจากไผ่ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยนำเยื่อไผ่ดลละเอียดมาสกัดโดยเบสและกรด อบแห้งและกรอง นำผงที่ได้ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อดูรูปร่างและขนาดของนาโนคริสตัลที่ได้ จากนั้นนำไปผสมในเรซินอะคริลิกตามสัดส่วนร้อยละ 0.25, 0.5, 1.0, และ 2.0 โดยน้ำหนัก (จำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ชิ้นงาน) และนำชิ้นงานมาทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอและวัดการเปลี่ยนสีของชิ้นงานโดยเครื่องวัดค่าดูกลิ่นคลื่นแสงผลการทดลอง พบว่าค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.5 ต่างจากทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความแข็งแรงต่อการโค้งงอมากที่สุด การเปลี่ยนสีพบว่ากลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.25 และ 0.5 มีค่าการเปลี่ยนสี ($\Delta E = 4.47, 1.61$ ตามลำดับ) อยู่ในระดับที่ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีเห้งือกได้ ($\Delta E = 3.1 \pm 1.5$)

คำสำคัญ : พอลิเมทิลเมทาคริเลต นาโนเซลลูโลส

Title	FLEXURAL STRENGTH AND COLOR CHANGED OF HEAT-CURED RESIN ACRYLIC REINFORCEDBY NANOCELLULOSE FROM BAMBOO
Author	PICHAYA PONGSUKCHAROENKUL
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Bhornsawan Thanathornwong

The dental material that is typically used as a denture base is polymethylmethacrylate (PMMA). Nevertheless, this material is not good enough clinically in terms of mechanical properties. In the 21st century, eco-material industries have become increasingly popular. Natural resources are now becoming more popular than plastic. Natural plant extractions are used as a reinforcer in the fiber and nanocellulose forms. Nanocellulose is low cost, has a good strength and stiffness, a high surface area, and biodegradable. The aim of this research to use a nanocellulose as a reinforcer in acrylic resin. The flexural strength and color changes in PMMA while using nanocellulose from bamboo as a reinforcer for heat-cured acrylic resin were the aim of this study. The nanocellulose was extracted by base and acid hydrolysis and then sieved. The powder was characterized by a scanning electron microscope (SEM). The mixed PMMA and nanocellulose were at 0.25, 0.5, 1.0 and 2.0 %w/w (five groups, each group, n= 5), tested in a three point bending test for flexural strength and a color change test by spectrophotometer. The results showed that the highest flexural strength is 0.5% w/w nanocellulose and a reinforced PMMA that was higher than other groups at a statistically significant level. The spectrophotometer test found that 0.25 and 0.5% w/w nanocellulose reinforced PMMA was (DE = 4.47, 1.61) respectively, compared to the control group. The range of the average perception of color changes in human gingiva (DE = 3.1±1.5).

Keyword : polymethylmethacrylate nanocellulose

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือแนะนำเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พรสวรรค์ ธรรมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาและให้ข้อคิดเห็นต่างๆมาโดยตลอดจนชี้แนะแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัย ทางผู้ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความร่วมมือช่วยเหลือในการวิจัยในครั้งนี้

ประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดา มารดา อาจารย์คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้สั่งสอนอบรมจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิชญา พงษ์สุขเจริญกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
คำถามการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
จุดมุ่งหมายของการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ตัวแปรที่ศึกษา	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดวิจัย.....	5
สมมติฐานงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
ปัญหาของพื้นที่ยม	6
การเสริมแรงให้กับวัสดุ.....	6
นาโนเซลลูโลส	10

การใช้นาโนเซลลูโลส.....	12
นาโนเซลลูโลสจากไฟ	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	17
วัสดุและอุปกรณ์.....	17
การปรับสภาพไฟ	18
การเตรียมนาโนเซลลูโลสจากไฟ.....	18
การเตรียมชิ้นงาน.....	19
การทดสอบชิ้นงาน.....	20
การทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ.....	20
การทดสอบการเปลี่ยนสี.....	21
การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	22
บทที่ 4 ผลการวิจัย	23
ลักษณะทางกายภาพของนาโนเซลลูโลส	23
ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ	25
การทดสอบการเปลี่ยนสี.....	33
บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล	34
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	37
บรรณานุกรม.....	38
ประวัติผู้เขียน.....	42

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงการเสริมแรงในพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยท่อระดับนาโนเมตรของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ในปริมาณโดยน้ำหนักที่แตกต่างกัน โดยทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการแตกหัก	9
ตาราง 2 แสดงชนิด แหล่งที่มา และข้อมูลของนาโนเซลลูโลสชนิดต่างๆ	12
ตาราง 3 คุณสมบัติและการนำไปใช้ของนาโนไฟบริลเลท เซลลูโลสกับนาโนคริสตัลลีน เซลลูโลส	13
ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอและค่าแรงสุดท้ายก่อนแตกหักในกลุ่มควบคุมและกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไฟร้อยละ 0.25, 0.5, 1, และ 2 โดยน้ำหนัก.....	25
ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอ	26
ตาราง 6 ตารางเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอ.....	27
ตาราง 7 ตารางเปรียบเทียบความสว่างสี ความเข้มสี มุมสี และค่าความต่างของสีของกลุ่มอะคริลิกที่เติมสารเสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส	33

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยอนุภาค 150 ไมโครเมตร (AC) กับอนุภาค 4 ไมโครเมตร (MB)	7
ภาพประกอบ 2 แสดงผลของการทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เติมสารเสริมแรงอนุภาคของอะลูมิเนียมออกไซด์และเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ตามอัตราส่วนต่างๆ	8
ภาพประกอบ 3 แสดงการสกัดเส้นใยเซลลูโลสได้ในรูปแบบต่างๆ	11
ภาพประกอบ 4 แสดงผลของการใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นและระยะเวลาในการไฮโดรไลซิสที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของอนุภาคไฟ	15
ภาพประกอบ 5 ลักษณะของนาโนเซลลูโลสจากไฟหลังจากทำการสกัดน้ำด้วยกรดและเบส	18
ภาพประกอบ 6 ก) ภาพของภาชนะแบบหล่อทองเหลืองที่มีแท่งเหล็กกล้าไร้สนิมและขี้ผึ้งสีชมพู โดยมีปูนปลาสเตอร์อยู่บริเวณส่วนล่างเพื่อเตรียมทำแบบพิมพ์ขึ้นงาน ข) หลังทำการละลายขี้ผึ้งสีชมพูเพื่อเป็นช่องสำหรับแบบพิมพ์ขึ้นงานตามขนาด 3x10x65 ลูกบาศก์มิลลิเมตร	19
ภาพประกอบ 7 ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของสารนาโนเซลลูโลสจากเยื่อไฟที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 150 เท่า.....	23
ภาพประกอบ 8 ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของสารนาโนเซลลูโลสจากเยื่อไฟที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 500 เท่า.....	24
ภาพประกอบ 9 ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของสารนาโนเซลลูโลสจากเยื่อไฟที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5,000 เท่า.....	24
ภาพประกอบ 10 กราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอในกลุ่มควบคุมและกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไฟร้อยละ 0.25 0.5 1 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	26
ภาพประกอบ 11 การทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของขึ้นงานโดย Universal testing machine (Shimadzu Ez-L, Shimadzu, Japan).....	28
ภาพประกอบ 12 ขึ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอ	29

- ภาพประกอบ 13 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 25 เท่า ก. กลุ่มควบคุม ข. กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ร้อยละ 0.25 ค. ร้อยละ 0.5 ง. ร้อยละ 1 จ. ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ดูครีสีขาวแสดงถึงนาโนเซลลูโลสจากไม้) 30
- ภาพประกอบ 14 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 500 เท่า ก. กลุ่มควบคุม ข. กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ร้อยละ 0.25 ค. ร้อยละ 0.5 ง. ร้อยละ 1 จ. ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 31
- ภาพประกอบ 15 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 1,500 เท่า ก. กลุ่มควบคุม ข. กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ร้อยละ 0.25 ค. ร้อยละ 0.5 ง. ร้อยละ 1 จ. ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 31
- ภาพประกอบ 16 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 3,000 เท่า ก. กลุ่มควบคุม ข. กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ร้อยละ 0.25 ค. ร้อยละ 0.5 32

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

วัสดุทางทันตกรรมที่นิยมนำมาเป็นฐานของฟันเทียมแบบถอดได้ ได้แก่ พลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลต (พีเอ็มเอ็มเอ, PMMA) และโลหะที่มีส่วนผสมของโคโรบอลต์และโครเมียม ซึ่งวัสดุสองชนิดนี้มีคุณสมบัติและข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน โดยมีพลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลต การเริ่มใช้ตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1937 โดยมีส่วนผสมประกอบเป็นผงและน้ำ โดยผงนั้นเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตและน้ำเป็นเมทิลเมทาคริเลต โดยวัสดุนี้เกิดพอลิเมอร์ด้วยความร้อน (1) พอลิเมทิลเมทาคริเลตได้รับความนิยมในการขึ้นรูปเนื่องจากความง่ายของการขึ้นรูป ง่ายต่อการขัดเงา ราคาถูก สามารถเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก น้ำหนักเบาและสวยงาม แต่อย่างไรก็ตามวัสดุชนิดนี้ไม่มีคุณสมบัติการต้านทานแรงกระแทก ต้านทานความล้าของวัสดุ ต้านทานการแตกหักได้ดีทางคลินิก ซึ่งตามหลักการฐานฟันเทียมควรมีค่าความแข็งแรงที่สูงเพื่อป้องกันการแตกหักได้ สำหรับวัสดุโลหะโคโรบอลต์และโครเมียมนั้นมีค่าความแข็งแรงทางกลสูง นำพาความร้อนและความเย็นได้ดีและยังสามารถรีดให้เข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม โลหะมีน้ำหนักมากซึ่งมีผลต่อการเกาะอยู่โดยเฉพาะในขากรรไกรบน ราคาที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับฐานพลาสติก การขึ้นรูปที่ยุ่งยากซับซ้อนกว่า และการเสริมฐานทำได้ยากหากฟันเทียมหลวมวัสดุ พลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลตจึงนิยมนำมาทำเป็นฐานฟันเทียมมากกว่า (2) (3)

ปัญหาหลักของพลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลตคือเรื่องค่าความแข็งแรงทางกล โดยเฉพาะในเรื่องความเปราะบางความต้านทานต่อความล้า โดยส่วนมากรอยแตกหักของฐานฟันเทียมพลาสติกจะเกิดขึ้นในบริเวณที่ฐานฟันเทียมบาง ตามรูปร่างแล้วฟันเทียมมักจะมี ความบางบริเวณเนื้อยึด ซึ่งรอยแตกมักจะเริ่มเกิดขึ้นบริเวณนี้ สาเหตุของฟันเทียมเสียหายมักเกิดขึ้นในสองลักษณะคือเหตุที่เกิดจากแรงบิดเคี้ยวและแรงกระแทกที่เกิดจากการตกกระทบโดยอุบัติเหตุ (4) จากการศึกษาของ Darbar และคณะ (5) พบว่าร้อยละ 33 ของฟันเทียมที่ส่งมาซ่อมสาเหตุเกิดจากการหลุดหรือหายไปของซี่ฟันเทียม ร้อยละ 29 เกิดจากการแตกหักบริเวณกึ่งกลางของฟันเทียม พบว่าโดยทั่วไปฟันเทียมฐานพลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลตจะแตกหักหรือเสียรูปร่างภายในไม่กี่ปี ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงทำให้เห็นได้ว่าฟันเทียมฐานพลาสติกจำเป็นจะต้องมีค่าทนทานต่อการแตกหักที่ดีเพื่อป้องกันการเสียหาย เพื่อการแก้ปัญหาของเรซินอะคริลิกได้มีการศึกษาจำนวนมากได้ทำการเพิ่มความแข็งแรงทางกลของเรซินอะคริลิก โดยการ 1) การเพิ่มสารเชื่อมโยง (Cross-linking agent) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ 2) การ

เติมสารเสริมความแข็งแรงต่างๆ (6) เช่น การเติมอนุภาค เซอร์โคเนีย (ZrO_3) อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เข้าไปในพลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยได้ผลคือเพิ่มความแข็งแรงต่อการตกกระทบและค่าความทนทานต่อการแตกหักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (7) งานวิจัยที่มีการเติมอนุภาคในลักษณะคล้ายกัน เปลี่ยนสารอนุภาคผสมเซอร์โคเนียผสมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ (ZrO_3/TiO_2) สารอนุภาคผสมเซอร์โคเนียกับอะลูมินาออกไซด์ (ZrO_3/Al_2O_3) โดยให้ผลในลักษณะเดียวกัน (8) การใช้เส้นใยแก้วสามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอ ความต้านทานการตกกระทบ ค่าความเหนียว ค่าความแข็งผิววิกเกอร์ นอกจากนี้ยังสามารถลดการเปลี่ยนรูปร่างของฐานฟันเทียมน้อยกว่าร้อยละ 1 การศึกษาล่าสุดยังพบว่ามีผลต่อความแข็งแรงต่อการโค้งงอที่เพิ่มขึ้นอีกเช่นกัน โดยเฉพาะหากเส้นใยแก้วนั้นวางตัวอยู่บริเวณด้านที่รับแรงเป็นจำนวนมากจะทำให้สามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอได้มากขึ้น ซึ่งเส้นใยแก้วนั้นเป็นสิ่งที่นิยมมาใช้เสริมแรงฐานฟันเทียมมากที่สุดเนื่องจากคุณสมบัติที่เหมาะสม เพิ่มคุณสมบัติทางกลฐานฟันเทียมได้อย่างมากและยังสามารถเข้ากันได้กับทางชีวภาพ ง่ายต่อการขึ้นรูป เส้นใยพอลิเอทิลีน (Polyethylene) และเส้นใยพอลิโพรไพลีน (Polypropylene) นั้น ก็สามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อการกระแทกให้กับพอลิเมอร์ได้เช่นเดียวกัน

เส้นใยเงินสามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอ การกระจายของอนุกรมุมิ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการต้านเชื้อราในพอลิเมอร์ได้อีกด้วย แต่ในทางกลับกันมีข้อเสียคือมีการเปลี่ยนสีที่ไม่สวยงามเนื่องจากสีของโลหะเงิน หรือการเติมสารจำพวกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) สามารถเสริมสมบัติความแข็งแรงต่อการโค้งงอและ โมดูลัสการโค้งงอ คุณสมบัติด้านอนุกรมุมิ โมดูลัสของยัง ความแข็งแรงต่อการเฉือน ความแข็งแรงต่อการดึง (9)

ในศตวรรษที่ 21 มนุษย์ได้ให้ความสำคัญกับการดูแลสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การใช้ทรัพยากรทดแทนเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดูแลธรรมชาติ การสกัดสารจากธรรมชาตินั้นที่นำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงมีทั้งในรูปแบบเส้นใยและรูปแบบนาโนเซลลูโลส

นาโนเซลลูโลสเป็นวัสดุระดับนาโนเมตรจากธรรมชาติที่สามารถสกัดได้จากผนังเซลล์ของพืช ซึ่งสามารถสกัดออกมาได้ในระดับนาโนเมตรโดยเส้นผ่านศูนย์กลาง คุณสมบัติของนาโนเซลลูโลสนั้นมีค่าความแข็งแรงที่สูง มีความเหนียวที่สูงและพื้นที่ผิวที่มาก ต้นทุนต่ำ ย่อยสลายได้ นอกจากนี้ยังมีพื้นผิวที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากซึ่งเหมาะแก่การนำไปยึดเกาะกับกลุ่มที่มีขั้วของสาร ซึ่งปัจจุบันทางนาโนเซลลูโลสได้นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์มากมายในชีวิต เช่น ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ผลิตภัณฑ์จากสิ่งทอ นาโนคอมโพสิตและอื่นๆ อีกมากมาย (10)

จากคุณสมบัติที่ดีของสารสกัดจากธรรมชาติและความสนใจในการใช้สิ่งทดแทนจากธรรมชาติในการนำมาเสริมแรงเรซินอะคริลิกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอ จึงเป็นที่มาของการศึกษาการนำมาเสริมแรงเรซินอะคริลิกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอและสังเกตการเปลี่ยนสีของเรซินอะคริลิกด้วย

คำถามการวิจัย

นาโนเซลลูโลสจากใผ่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของพอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อการโค้งงอได้หรือไม่

นาโนเซลลูโลสจากใผ่สามารถทำให้สีของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเปลี่ยนได้หรือไม่

ความสำคัญของการวิจัย

เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุจากธรรมชาติที่สามารถนำมาเสริมค่าแข็งแรงให้กับวัสดุที่เป็นพอลิเมอร์ได้ ทางผู้วิจัยจึงสนใจในการหาวัสดุทดแทนพลาสติกที่นำมาเสริมแรงเรซินอะคริลิกอยู่เดิม ซึ่งวัสดุจากธรรมชาติสามารถนำมาใช้ทดแทนได้และอีกทั้งคุณสมบัติก็สามารถนำมาเสริมแรงได้เช่นกันซึ่งปัจจุบันมีการศึกษาจำนวนน้อยเกี่ยวกับการใช้นาโนเซลลูโลสทางทันตกรรมและเพื่อเป็นทางเลือกในการใช้วัสดุทดแทนในอนาคตของทางทันตกรรม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อทำการเติมนาโนเซลลูโลสจากใผ่ตามร้อยละน้ำหนักต่างกัน

เพื่อศึกษาความแตกต่างของการเปลี่ยนสีของพอลิเมทิลเมทาคริเลต เมื่อทำการเติมนาโนเซลลูโลสจากใผ่ตามร้อยละน้ำหนักต่างกัน

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอและการเปลี่ยนสีของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อทำการเติมนาโนเซลลูโลสจากใผ่ตามร้อยละน้ำหนักต่างกัน

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการโดยนำนาโนเซลลูโลสมาเสริมแรงเรซินอะคริลิกแล้วนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอและการเปลี่ยนสี

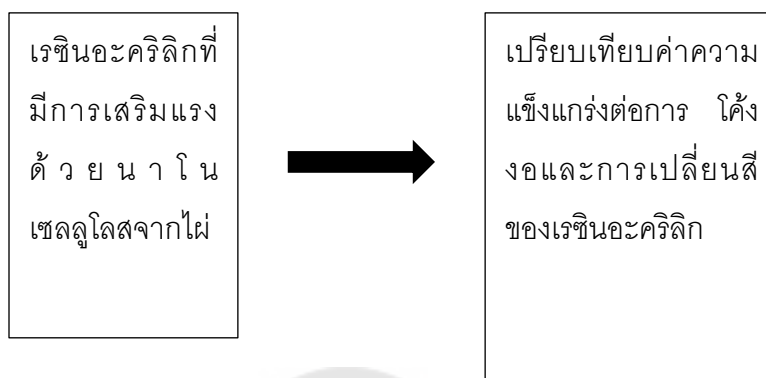
ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ ปริมาณนาโนเซลลูโลส (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่นำมาเสริมแรง เรซินอะคริลิก
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE) ของ เรซินอะคริลิก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. นาโนเซลลูโลส (Nano cellulose) หมายถึง อนุภาคระดับนาโนเมตรที่ได้มาจากการสกัดวัสดุจากธรรมชาติ
2. เรซินอะคริลิก (Resin acrylic) หมายถึง พลาสติกชนิดเปลี่ยนรูปหรือเทอร์โมพลาสติก(thermoplastic) มีสมบัติเฉพาะคือ มีความใสมาก ทำขึ้นรูปง่าย ทนต่อความชื้น
3. พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate, PMMA) หมายถึง อะคริลิกหรืออะคริลิกแก้ว พลาสติกวิศวกรรม มีลักษณะใส ไม่มีสี สามารถให้แสงส่องผ่านได้ มีความแข็งแรง นำไปย้อมสีได้ง่าย
4. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) หมายถึง ปฏิกริยาที่มีน้ำเข้าไปสลายพันธะ ทำให้สารโมเลกุลใหญ่ แตกตัวเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง
5. อัลคาไลน์ไฮโดรไลซิส (Alkaline hydrolysis) หมายถึง ปฏิกริยาที่มีน้ำเข้าไปสลายพันธะโดยใช้สารเคมีที่เป็นเบส
6. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) หมายถึง เครื่องมือใช้แยกตัวอย่างของเหลวออกจากของแข็งอนุภาคขนาดเล็กหรือใช้เพื่อแยกของเหลวหลายชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน
7. ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexural strength)
8. การเปลี่ยนสี (Colour changed)

กรอบแนวคิดวิจัย



สมมติฐานงานวิจัย

ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อทำการเติมนาโนเซลลูโลสจากไผ่ไม่มีความแตกต่างกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่ได้เติมนาโนเซลลูโลสจากไผ่

การเปลี่ยนสีของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อทำการเติมนาโนเซลลูโลสจากไผ่ไม่มีความแตกต่างกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่ได้เติมนาโนเซลลูโลสจากไผ่

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาของพื้นที่เย็บ

พื้นที่เย็บ คือ พื้นที่ทำขึ้นมาเพื่อทดแทนพื้นที่ธรรมชาติและเนื้อเยื่อข้างเคียงที่หายไป เพื่อทดแทนการทำงานที่สูญเสียไป อีกทั้งสามารถทดแทนความสวยงามได้อีกด้วย สาเหตุที่สูญเสียพื้นที่ไปเนื่องจากฟันผุ โรคปริทันต์ อุบัติเหตุ เป็นต้น

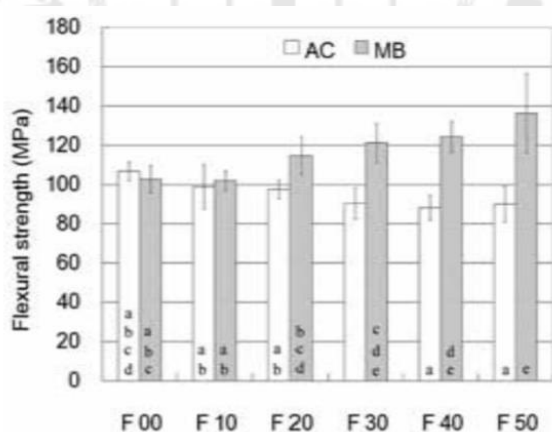
จากข้อมูลทางสถิติพบว่าอัตราส่วนพื้นที่เย็บที่ถูกส่งมาซ่อมในห้องปฏิบัติการนั้น เป็นพื้นที่เย็บขากรรไกรของบนต่อพื้นที่เย็บขากรรไกรล่างเป็น 2 ต่อ 1 โดยปัญหาสาเหตุของการแตกหักคือ พื้นที่เย็บหลวม การสบฟันที่ไม่สมดุลของพื้นที่เย็บ การตกหล่นเสียหายและการเสื่อมไปของวัสดุฐานพื้นที่เย็บ ปัญหาการแตกหักของพื้นที่เย็บเป็นปัญหาที่พบได้เป็นอันดับต้นของการสูญเสียพื้นที่เย็บ เป็นปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่ไม่สามารถงอทนได้ตลอด ซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของการซ่อมแซมพื้นที่เย็บเหล่านั้นเป็นมูลค่าจำนวนมาก (11) โดยจากการศึกษาอภินิหารศึกษาพบว่าร้อยละ 33 ของพื้นที่เย็บที่ส่งมาซ่อมสาเหตุเกิดจากการหลุดหรือหายไปของซี่พื้นที่เย็บ ร้อยละ 29 พบว่าเกิดจากการแตกหักบริเวณกึ่งกลางของพื้นที่เย็บ สำหรับพื้นที่เย็บบางส่วนพบว่าส่วนที่เป็นพลาสติกมักจะหลุดจากโครงโลหะ โดยทั่วไปพื้นที่เย็บฐานพลาสติกพอลิเมทิลเมทาคริเลตจะแตกหักหรือเสียรูปร่างภายในไม่กี่ปี สาเหตุดังกล่าวจึงทำให้เห็นได้ว่าพื้นที่เย็บฐานพลาสติกจำเป็นจะต้องมีค่าทนทานต่อการแตกหัก การเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอที่ดีเพื่อป้องกันการเสียหาย (5)

การเสริมแรงให้กับวัสดุ

เพื่อแก้ไขปัญหาการแตกหักดังกล่าว นอกจากการทำพื้นที่เย็บให้อยู่ในลักษณะที่อยู่ในอุดมคติแล้ว การเสริมแรงให้กับวัสดุก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ฐานพื้นที่เย็บคงทนมากขึ้น โดยการเสริมแรงนั้นได้มีการใช้วัสดุต่างๆมากมาย เช่น เริ่มมีการใช้เส้นลวดทองเหลืองในระดับมิลลิเมตรในการช่วยเสริมแรง ซึ่งให้ผลคือในกลุ่มที่เสริมแรงด้วยเส้นลวดทองเหลืองนั้นให้ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ดีการใช้เส้นลวดทองเหลืองมีผลต่อน้ำหนักและความสวยงามของพื้นที่เย็บเช่นกัน (6) นอกจากนั้นได้มีการพัฒนาและเลือกใช้วัสดุเสริมแรงชนิดต่างๆมากขึ้น โดยการศึกษาของ Vallittu (12) พบว่าการใช้ใยแก้วแบบเรียงตัวไปในทางเดียวกับการแบบใยแก้วชนิดสานนำมาเสริมแรงให้กับเรซินอะคริลิก โดยพบว่าค่าความแข็งแรงตามขวางและโมดูลัสการโค้งงอเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้

เสริมแรง จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าเส้นใยแก้วสามารถแทรกซึมในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี เป็นเหตุผลที่สามารถทำให้ค่าความเครียดของวัสดุเพิ่มขึ้น

การศึกษาทิศทางเดียวกันใช้เส้นใยแก้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ไมโครเมตร ยาว 200 ไมโครเมตรโดยใช้การเพิ่มอัตราส่วนร้อยละโดยมวล (0, 10, 20, 30, 40, และ 50 % โดยมวล) นำมาเสริมแรงเรซินอะคริลิกแล้วนำมาทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอ พบว่ากลุ่มที่มีการเสริมแรงมีค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และพบว่ายิ่งปริมาณโดยมวลที่เสริมแรงเข้าไปเพิ่มมากขึ้น ยิ่งมีค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน (13) อีกรงานศึกษามีการใช้เส้นใยแก้วเสริมแรงในพอลิเมทิลเมทาคริเลตเช่นกัน และทำการวางเรียงตัวขนานไปกับความยาวของชิ้นงานทำการทดสอบความล้าของชิ้นงานพบว่า กลุ่มที่ทำการเสริมแรงสามารถให้ค่าคงทนต่อความล้าได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมแรงเช่นกัน โดยการวางเส้นใยมีผลต่อความคงทนต่อความล้าที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน (14) การศึกษาของ Nakamura และคณะทำการเสริมแรงพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยอนุภาคขนาด 4 ไมโครเมตรและ 150 ไมโครเมตร พบว่าการเสริมแรงด้วยอนุภาค 4 ไมโครเมตรจะเริ่มมีความแตกต่างจากอนุภาคขนาด 150 ไมโครเมตรอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีค่าน้ำหนักการเสริมแรงที่ร้อยละ 30 ขึ้นไป (15)

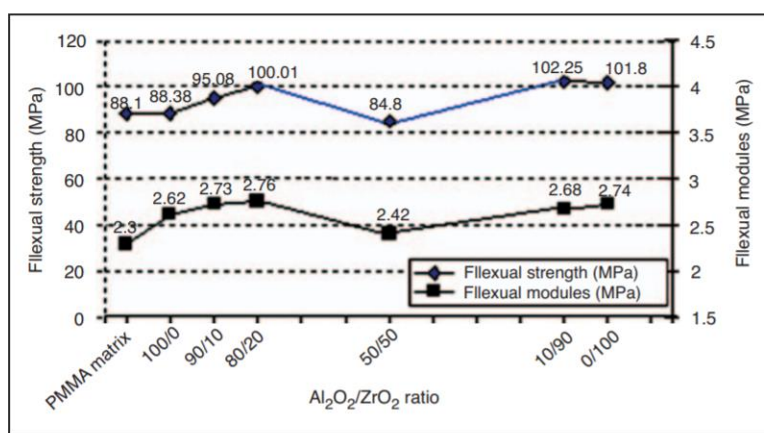


ภาพประกอบ 1 ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยอนุภาค 150 ไมโครเมตร (AC) กับอนุภาค 4 ไมโครเมตร (MB)

ที่มา : Marei MScD MK, BDS. (1999). Journal of Prosthodontics

นอกจากนี้การเสริมแรงด้วยพลาสติกจำพวกพอลิเอธิลีนให้กับเรซินอะคริลิกก็สามารถเพิ่มคุณสมบัติทางกล ความเหนียว ความแข็งแรงต่อการกระแทก ความแข็งแรงต่อการกด เมื่อเกิด

การแตกหักจะไม่ทำให้เรซินอะคริลิกแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยอีกด้วย (16) การใช้อนุภาคของ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ขนาดอนุภาคประมาณ 4 ไมโครเมตรผสมกับเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) ขนาดอนุภาคประมาณ 6.5 ไมโครเมตร ผสมเข้าไปในพอลิเมทิลเมทาคริเลต ร้อยละ 5 โดยมวลน้ำหนัก ในอัตราส่วนต่างๆพบว่า ในทุกอัตราส่วนที่มีการเติมสารเสริมแรงเข้าไป (ยกเว้น อัตราส่วน $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{ZrO}_2$ 1:1) มีค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอสูงกว่าพอลิเมทิลเมทา- คริเลตที่ไม่มีการเติมสารเสริมแรงเข้าไป (8)



ภาพประกอบ 2 แสดงผลของการทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เติมสารเสริมแรงอนุภาคของอะลูมิเนียมออกไซด์และเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ตามอัตราส่วนต่างๆ

ที่มา : Alhareb AO, Ahmad ZA. (2011). Journal of Reinforced Plastics and Composites

การใช้เส้นใยอะรามิด (Aramid fiber) ในการเสริมแรงโดยเส้นใยมีขนาด 15 ไมโครเมตร มาเสริมแรงพอลิเมทิลเมทาคริเลตแล้วนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ พบว่ากลุ่มที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยอะรามิดมีค่าความแข็งแรงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมแรงเช่นกัน (17)

นอกจากการเสริมแรงในกลุ่มที่เป็นเส้นใยและท่อขนาดเล็กแล้ว ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารเสริมแรงที่มีอนุภาคในระดับนาโนเมตรเช่นกัน โดยจากการศึกษาของ Yu และคณะ (18) ได้ทำการศึกษาวิจัยโดยการนำท่อขนาดระดับนาโนเมตรของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ มีความยาว 8 ไมโครเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 นาโนเมตร นำไปเสริมแรงในพอลิเมทิลเมทาคริเลต เทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมแรง แล้วนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการแตกหัก ผล

การศึกษาพบในลักษณะเดียวกันคือ กลุ่มที่มีการเสริมแรงให้ค่าความแข็งแรงต่อการแตกหักที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมแรงด้วยเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงการเสริมแรงในพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยท่อระดับนาโนเมตรของเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ในปริมาณโดยน้ำหนักที่แตกต่างกัน โดยทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการแตกหัก

ปริมาณสารเติมแต่ง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	แรง (นิวตัน)
0	155
0.5	188
1.0	195
1.5	200
2.0	210
2.5	193

และการศึกษาในลักษณะเดียวกันที่มีการเสริมแรงพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตรโดยได้ทำการเพิ่มการใช้สารเชื่อมโยงเข้าไปด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเสริมแรงของอนุภาคให้มีการยึดติดกับเมตริกซ์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้เพิ่มมากขึ้น โดยผลการทดลองการทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอและโมดูลัสการโค้งงอพบว่า กลุ่มที่มีการเสริมแรงมีค่าความแข็งแรงที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมแรงเช่นเดียวกันกับอนุภาคอื่นๆ และกลุ่มที่มีการใส่สารเชื่อมโยงมีค่าความแข็งแรงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเติมสารเชื่อมโยงเช่นเดียวกัน (19) ในการศึกษาของ Gad และคณะ (20) ได้ทำการศึกษาลักษณะเดียวกันที่มีการใช้ซิลิกาไดออกไซด์มาเสริมแรงให้กับพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยแบ่งตามร้อยละโดยน้ำหนักที่มีการเสริมแรง (0.25, 0.5, 0.75, และ 1% โดยน้ำหนัก) และศึกษาร่วมกับการใช้สารเชื่อมโยงเช่นเดียวกัน แล้วนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ โดยให้ผลการศึกษากลุ่มที่มีการเสริมแรงทั้งแบบไม่ได้เติมสารเชื่อมโยงและกลุ่มที่เติมสารเชื่อมโยงมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมทั้งหมด แต่กลุ่มที่เติมสารเสริมแรงโดยไม่มีสารเชื่อมโยงพบว่า ยังมีปริมาณโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ ยิ่งมีปริมาณโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอยิ่งลดลง อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม

จากการศึกษาจำนวนมากพบว่า การเสริมแรงในวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตไม่ว่าจะเป็น จำพวกเส้นใยหรืออนุภาคในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตร ส่วนมากจะให้ค่าความแข็งแรงและ คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ผู้วิจัยสนใจในการนำสารเสริมแรงมา ศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งผู้วิจัยได้สนใจในการนำสารเสริมแรงจำพวกนาโนเซลลูโลสจากใผ่มาเสริมแรงใน พอลิเมทิลเมทาคริเลต

นาโนเซลลูโลส

นาโนเซลลูโลสมีจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลและเครือขายพันธะไฮโดรเจนจำนวนมาก โดย เส้นใยเซลลูโลสนั้นมีค่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่โดดเด่น เซลลูโลสนั้นจะรวมตัวกันอยู่ ที่บริเวณโครงสร้างผลึก (Crystalline structure) ส่วนที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบนั้นอยู่ในบริเวณ ออสตรูชัน (Amorphous structure) บริเวณโครงสร้างผลึกประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กัน อย่างหนาแน่นซึ่งทำให้มีความเหนียวและแข็งแรงของเซลลูโลส ในทางกลับกันในส่วน ของโครงสร้างอสตรูชันเป็นส่วนที่ให้ความยืดหยุ่นแก่วัสดุได้

นาโนเซลลูโลสสามารถสกัดได้จากเส้นใยธรรมชาติซึ่งสามารถสกัดได้จากเซลลูโลส โดยที่ ขนาดที่สกัดได้ของนาโนเซลลูโลสโดยทั่วไปเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 นาโนเมตร นา โนเซลลูโลสเป็นเส้นใยที่สามารถย่อยได้ตามธรรมชาติ มีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำและมีความ แข็งแรงที่สูง โดยเฉพาะเรื่องของความเหนียวของเส้นใย ให้ค่าความแข็งแรงต่อการดึง สูงถึง 10 กิกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่าเส้นใยเหล็กขึ้นรูป อัตราความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงเป็นแปดเท่าของเหล็ก ไร้สนิม นาโนเซลลูโลสนั้นมีลักษณะใสและเติมไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งสามารถจับกับสารที่มีขั้วได้ อีก

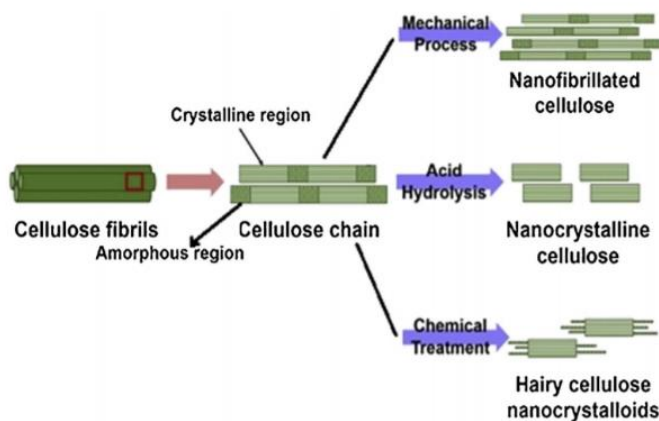
นาโนเซลลูโลสสามารถแบ่งออกเป็นสามประเภท ได้แก่ นาโนไฟบริเลทเทท เซลลูโลส (Nano fibrillated cellulose) นาโนคริสตัลลีน เซลลูโลส (Nanocrystalline cellulose) และ แบคทีเรียล นาโนเซลลูโลส (Bacterial nanocellulose) นาโนเซลลูโลสทั้งสามชนิดที่สามารถสกัด ได้ออกมาประกอบไปด้วยสารเคมีชนิดเดียวกันแต่แตกต่างกันที่รูปร่าง ขนาด รูปร่างของผลึก และ คุณสมบัติบางอย่างขึ้นกับแหล่งที่มาของเซลลูโลสและการสกัด

นาโนไฟบริเลทเทท เซลลูโลส หรือเซลลูโลสไมโครไฟบริล มีลักษณะที่ยาว ยืดหยุ่นและมี เส้นใยที่พันกัน สามารถสกัดได้โดยวิธีทางกล เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 1-100 นาโนเมตร ความยาว ประมาณ 500-2,000 นาโนเมตร ประกอบด้วยสารจากเซลลูโลสทั้งหมดโดยมีทั้งส่วนโครงสร้าง ผลึกและโครงสร้างอสตรูชัน จากภาพประกอบ 3 พบว่าการสกัดด้วยวิธีทางกลทำให้เส้นใยยึด ซึ่ง

เส้นใยประเภทนี้จะมีความยาวที่มาก มีพื้นที่ผิวที่มากกว่ากลุ่มอื่น มีหมู่ไฮดรอกซิลที่พร้อมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวจำนวนมาก

นาโนคริสตัลลีน เซลลูโลส หรือเซลลูโลสนาโนคริสตัล มีค่าความแข็งแรงที่สูง โดยสามารถแยกสกัดมาจากเส้นใยเซลลูโลสด้วยการสกัดแยกน้ำโดยกรด สารที่สกัดออกมาจะปรากฏเป็นแท่ง มีขนาดประมาณ 2-20 นาโนเมตรโดยเส้นผ่านศูนย์กลางและมีความยาว 100-500 นาโนเมตร ประกอบไปด้วยสารประกอบทางเคมีที่เป็นเซลลูโลสทั้งหมด เมื่อผ่านการแยกสลายด้วยกรด บริเวณส่วนอสัณฐาน จะถูกกำจัดออกไป ส่วนโครงสร้างผลึกยังคงอยู่ การสกัดแยกน้ำด้วยกรดจะได้นาโนคริสตัลลีนที่มีความเป็นผลึกที่สูงในรูปร่างแท่ง

แบคทีเรียกลูโคนาโนเซลลูโลส เป็นรูปแบบหนึ่งของนาโนเซลลูโลส ซึ่งวิธีการได้สารมานั้นเป็นวิธีการสร้างจากน้ำตาลโดยแบคทีเรีย *Gluconacetobacter xylinus* แบคทีเรียกลูโคนาโนเซลลูโลสเป็นสารสกัดที่บริสุทธิ์โดยไม่มีการปนเปื้อนของลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เพกตินและอื่นๆ เส้นใยประเภทนี้อยู่ในรูปแบบการบิดเกลียวของเส้นใย โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-100 นาโนเมตร ความยาวในระดับไมโครเมตร ที่มีพื้นที่ผิวที่มากต่อหนึ่งหน่วย (10)



ภาพประกอบ 3 แสดงการสกัดเส้นใยเซลลูโลสได้ในรูปแบบต่างๆ

ที่มา : Phanthong P, Reubroycharoen P, Hao X, Xu G, Abudula A, Guan G. (2018). Carbon Resources Conversion

ตาราง 2 แสดงชนิด แหล่งที่มา และข้อมูลของนาโนเซลลูโลสชนิดต่างๆ

ชนิดของนาโนเซลลูโลส	แหล่งที่มา	ข้อมูลและขนาดโดยเฉลี่ย
Nano หรือ micro fibrillated cellulose (NFC/MFC)	ไม้ ปืท มันฝรั่ง ปอ ป่าน	สามารถแยกสกัดได้ด้วยวิธีทางกลโดยใช้การตัดให้อยู่ในระดับนาโน เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-60 นาโนเมตร ความยาว ระดับไมโครเมตร
Nanocrystalline cellulose (NCC)	ไม้ นุ่น ปอ ป่าน ข้าวสาลี เปลือกไม้ต้นหม่อน สาหร่าย	สามารถแยกสกัดได้ด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้กรดละลาย ส่วนไม่เป็นรูปร่างและเหลือเพียงส่วนที่เป็นผลึกเท่านั้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-70 นาโนเมตร ความยาว 100-250 นาโนเมตร
Bacterial nanocellulose (BNC)	น้ำตาลและแอลกอฮอล์ โมเลกุลต่ำ	สังเคราะห์มาจากแบคทีเรีย เส้นผ่านศูนย์กลาง 20-100 นาโนเมตร ความยาวแตกต่างกันตามลักษณะโครงร่าง

การใช้นาโนเซลลูโลส

ด้วยคุณสมบัติที่ดี ย่อยสลายได้ จึงเป็นคุณสมบัติที่น่าสนใจของวัสดุประเภทนาโนเซลลูโลสในการนำมาใช้ในงานต่างๆ เช่น สารประกอบนาโนคอมโพสิต การปรับปรุงสภาพพื้นผิว กระดาษโปร่งใส เป็นต้น สารประกอบนาโนคอมโพสิตที่ใช้นาโนเซลลูโลสมีคุณสมบัติทางกลที่ดี สมบัติทางความร้อนที่สูง น้ำหนักเบาและโปร่งใส ปัจจุบันนาโนเซลลูโลสนำมาใช้เป็นสารเติมใน

พอลิเมอร์เนื่องจากคุณสมบัติทางกลที่ดี วัสดุสารประกอบนาโนคอมโพสิตนำมาใช้ในงานต่างๆ มากมาย ยกตัวอย่างเช่น ไบโอมีดกัณฑ์ลมนที่มีค่าความแข็งแรงที่สูง น้ำหนักเบา ยืดหยุ่น ซึ่งผลิตมาจากนาโนคอมโพสิต (20) (21)

ตาราง 3 คุณสมบัติและการนำไปใช้ของนาโนฟิบริเลทเทท เซลลูโลสกับนาโนคริสตัลลีน เซลลูโลส

	นาโนฟิบริเลทเทท เซลลูโลส	นาโนคริสตัลลีน เซลลูโลส
คุณสมบัติ	<ul style="list-style-type: none"> -เส้นผ่านศูนย์กลาง 3-50 นาโนเมตร -ความยาวระดับไมโครเมตร -โครงสร้างเป็นผลึกน้อยกว่าร้อยละ 50 -เพิ่มความแข็งแรงต่อการดึงและโมดูลัสได้เมื่อผสมในพอลิเมอร์ -เสถียรภาพความร้อนที่ 260 องศาเซลเซียส -โมดูลัสการดึง 23 กิกะปาสคาล -ค่าความแข็งแรงต่อการดึง 383.3 เมกะปาสคาล 	<ul style="list-style-type: none"> -เส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร -ความยาว 10-500 นาโนเมตร -โครงสร้างผลึกร้อยละ 60-90 -เพิ่มความแข็งแรงต่อการดึงและโมดูลัสได้เมื่อผสมในพอลิเมอร์ -เสถียรภาพความร้อนที่ 200-230 องศาเซลเซียส -โมดูลัสการดึง 150 กิกะปาสคาล -ค่าความแข็งแรงต่อการดึง 7.5-7.5 กิกะปาสคาล
การใช้งาน	<ul style="list-style-type: none"> -โครงสร้างของสารเคลือบผิวกันเชื้อโรค -ตัวปรับสภาพการไหล -ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวรับรู้ -วิศวกรรมเนื้อเยื่อและโครงเลี้ยงเซลล์ -โครงสร้างตาข่าย -กระดาษ -สารเคลือบผิวอาหาร -เยื่อหุ้มเซลล์ -สารประกอบนาโนพอลิเมอร์ -ผลิตภัณฑ์บรรจุห่อ 	<ul style="list-style-type: none"> -ผลิตภัณฑ์นำส่งยา -ตัวปรับสภาพการไหล -ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวรับรู้ -แผ่นสั่นหูโทรศัพท์ -วิศวกรรมเนื้อเยื่อและโครงเลี้ยงเซลล์ -โฟมที่เลียนแบบจากธรรมชาติ -วัสดุเกี่ยวข้องกับสายตา -ส่วนเติมในซีเมนต์ต่างๆ -กระดาษ -สารประกอบนาโนพอลิเมอร์

จากการศึกษาของ Wang และคณะ (23) พบว่าคุณสมบัติทางกลของสารโพลิเมอร์ที่มีการเติมนาโนเซลลูโลสจากถั่วเหลืองในโพลิเมอร์สามชนิดได้แก่ โพลิเมอร์จำพวกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) โพลิโพรไพลีน (Polypropylene) และพอลิเอทิลีน (Polyethylene) พบว่าค่าความแข็งแรงต่อการดึงและความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่เป็นพอลิเมอร์บริสุทธิ์

การศึกษากาารใช้นาโนไฟบริเลทเททเซลลูโลสกับนาโนคริสตัลลีน เซลลูโลสจากต้นปาล์ม นำมาเสริมแรงในยาง โดยการศึกษาคุณสมบัติทางกลของอนุภาคโดยให้ข้อสรุปที่ว่าหากมีอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นยังมีความสามารถในการเสริมแรงมากขึ้น และยังศึกษาความใสของชิ้นงานโดยให้ข้อสรุปที่ปริมาณโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ความขุ่นของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นเช่นกันและให้ข้อสังเกตที่ว่าความใสจะลดลงหากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเล็กลง (24)

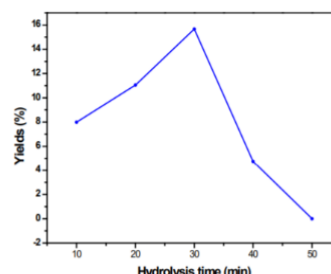
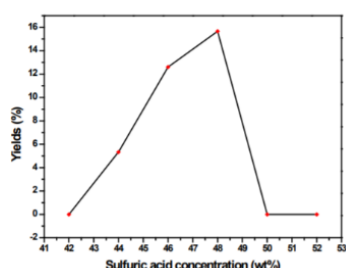
นาโนเซลลูโลสจากไม้

ไม้เป็นพืชที่พบได้จำนวนมากในธรรมชาติในบริเวณเขตร้อนชื้น ซึ่งสามารถพบได้ในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก เป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลสจำนวนมาก มีความแข็งแรงที่สูง ความเป็นผลึกที่สูงและสามารถให้นำนาโนเซลลูโลสคริสตัลได้เป็นอย่างดี (24) โดยในอนาคตวัสดุจากไม้เป็นทางเลือกในการใช้สารอินทรีย์เข้ามาเป็นตัวเสริมแรงในอนาคต ซึ่งข้อดีของการใช้วัสดุจากไม้นั้นคือสามารถพบได้จำนวนมากและเป็นวัสดุทางเลือกในการนำมาเสริมแรงเพื่อลดขยะจากพลาสติกหรือวัสดุย่อยลายยากอื่นๆ (25) ซึ่งการใช้ไม้เป็นทางเลือกในการใช้วัสดุนั้นเป็นอุตสาหกรรมที่ช่วยในเรื่องสิ่งแวดล้อมในเรื่องการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และลดปรากฏการณ์เรือนกระจกจากการผลิตอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันการดูแลสิ่งแวดล้อมของโลกเป็นหัวข้อที่ในหลายๆประเทศสนใจมากขึ้น ซึ่งวัตถุดิบบนโลกกำลังลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการหาวัสดุทางเลือกซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการเป็นวัสดุเสริมแรงที่ดีเนื่องจากต้นไม้มีความแข็งแรงไม่แตกต่างจากเหล็กและพลาสติกในปัจจุบัน (26)

ไผ่ซางหม่น (*Dendrocalamus strictus*) ไผ่ซางหม่นเป็นต้นไม้ใบเลี้ยงเดี่ยว ไม้ผลัดใบ อยู่รวมกันอย่างหนาแน่น ลำต้นสูง 7-20 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น 6-10 เซนติเมตร ลำต้นเป็นข้อปล้องโดยแต่ละปล้องของไม้มีขนาดยาว 30-45 เซนติเมตร ลำต้นแข็งและหนา ใบมีลักษณะแหลม เรียวยาว จำนวนมาก ไผ่ซางหม่นเป็นไม้ขนาดใหญ่ที่ขยายพันธุ์ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรและบริเวณอากาศร้อนชื้นของโลก ไผ่ชนิดนี้เป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น กระดาษ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องดนตรี ตะกร้า อุปกรณ์ทางเกษตร เป็นต้น อีกทั้งต้นอ่อนของไผ่หรือหน่อไม้สามารถนำมาประกอบอาหารได้อีกด้วย ไผ่ชนิดนี้มีส่วนของเส้นใยหนาแน่นร้อยละ

ละ 20 โดยไม่ซางหม่นมักเจริญในพื้นที่แห้ง ซึ่งจะให้เส้นใยที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสแตกหักที่สูงกว่าไม้พันธุ์อื่นๆ ซึ่งในส่วนประกอบของเส้นใยมีส่วนประกอบของเซลลูโลสถึงร้อยละ 60-62 (27)

การสกัดนาโนเซลลูโลส การเตรียมนาโนเซลลูโลสจากเยื่อไม้โดยการศึกษา Yu M. และคณะ (28) ได้ทำการสกัดนาโนคริสตัลเซลลูโลสจากเยื่อไม้โดยเริ่มจากนำเยื่อไม้ขนาด 10 กรัมไปแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักเพื่อกำจัดกรดไขมันและลิกนินที่คงค้าง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลาสองชั่วโมง จะพบว่าเยื่อไม้มีลักษณะบวมขึ้นซึ่งจะง่ายต่อการดัดซัลไฟวริก ในการแทรกซึมเข้าไปในกระบวนการถัดไป จากนั้นไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก (ความเข้มข้น 46%, 250 มิลลิลิตร, 55 องศาเซลเซียส) โดยคนตลอดเวลา จากนั้นทำให้เจือจางโดยน้ำกลั่นจนสารละลายมีชั้นใสแยกออกอย่างชัดเจน จากนั้นนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (10 นาที, 5000 รอบต่อ นาที) จากนั้นเทชั้นใสออกแล้วใส่น้ำกลั่น นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงอีกครั้งจนสารละลายมีความขุ่น ทำจนวนค่า pH ของสารละลายเป็นกลางและนำไปอบแห้งเยือกแข็ง เพื่อให้แห้ง ซึ่งจากการวิเคราะห์ตัวอย่างจะพบว่านาโนคริสตัลมีความยาวประมาณ 200 ถึง 500 นาโนเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 นาโนเมตร โดยจากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ร้อยละ 48



ภาพประกอบ 4 แสดงผลของการใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นและระยะเวลาในการไฮโดรไลซิสที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของอนุภาคไม้

ที่มา : Yu M, Yang R, Huang L, Cao X, Yang F, Liu D. (2012). BioResources

ให้ค่าความแข็งแรงคราก (Yield strength) ของนาโนคริสตัลที่สูงที่สุดและระยะเวลาในการไฮโดรไลซิสของกรดที่ระยะเวลา 30 นาทีจะให้ค่าความแข็งแรงครากของนาโนคริสตัลที่สูงที่สุด

โดยสี่ของสารละลายจะเหลืองและใส จากการเตรียมสารของวิจัยข้างต้นจะได้ลักษณะของนาโนเซลลูโลสที่มีแต่เพียงส่วนที่เป็นนาโนคริสตัลซึ่งมีความแข็งแรงที่สูงเมื่อเทียบกับบริเวณที่เป็นอสัณฐาน จึงเป็นจุดที่ผู้ทำการวิจัยสนใจนำมาเสริมความแข็งแรงแก่พอลิเมอร์



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุ

1. วัสดุฐานฟันเทียมเรซินอะคริลิก ชนิดบ่มด้วยความร้อน (Meliodent, Kulzer, Germany)
2. ไม้ซางหม่นสับละเอียด (*Dendrocalamus strictus*)
3. กระดาษทราย No.400, 600, 800, 1000
4. แท่งเหล็กไร้สนิมขนาด 3x10x65 mm³
5. ปูนพลาสติกสำหรับงานทันตกรรม Type II

สารเคมี

6. น้ำกลั่น
7. กรดซัลฟิวริก
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์

เครื่องมือ

9. ภาชนะแบบหล่อกองเหล็อง (Hanau flask)
10. เครื่องต้ม
11. เครื่องปั่นเหวี่ยง
12. เครื่องสั่นอัลตราโซนิก
13. เครื่องทดสอบแรงกด (Universal testing machine, Shimadzu Ez-L, Shimadzu, Japan)
14. เครื่องอบแห้งโดยใช้ลมร้อน
15. เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)
16. เครื่องวัดสี Spectrophotometer รุ่น Easyshade V (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)

การปรับสภาพไฟ

นำไฟบดละเอียดแช่ในน้ำร้อน หลังจากนั้นนำมาแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเพื่อกำจัดกรดไขมัน ลิกนินและสิ่งสกปรกอื่นๆ ในบริเวณที่ออสฐานของไฟนั้นจะบวมขึ้น จะทำให้กรดซัลฟิวริกสามารถแทรกซึมและทำปฏิกิริยาแยกสลายน้ำได้อย่างเต็มที่ จากนั้นทำให้เป็นกลางโดยตัวกรองสุญญากาศและน้ำกลั่น (10)

การเตรียมนาโนเซลลูโลสจากไฟ

นำไฟที่ได้รับการปรับสภาพแล้ว มาทำการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาแยกสลายน้ำด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น โดยน้ำหนักร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและคนอย่างต่อเนื่องประมาณ 10 นาที จากนั้นสารประกอบจะเริ่มมีการเปลี่ยนสี จากนั้นใช้น้ำกลั่นล้างเพื่อทำให้เป็นกลาง ทำจนกว่าสารละลายด้านบนมีลักษณะใส นำสารละลายเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำมาแยกสลายน้ำอีกด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้เป็นกลางด้วยน้ำกลั่น แล้วนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงอีกครั้งที่จำนวนรอบ 10,000 รอบต่อนาที เทส่วนใสด้านบนออก จะได้ผงที่ขุ่นนาโนคริสตัล ทำการอบแห้งในตู้อบความร้อน นำผงที่ได้ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูรูปร่างและขนาดของ นาโนคริสตัลที่ได้ (10, 30)



ภาพประกอบ 5 ลักษณะของนาโนเซลลูโลสจากไฟหลังจากทำการสกัดน้ำด้วยกรดและเบส

การเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงาน จำเป็นต้องขึ้นแม่พิมพ์ในภาชนะแบบหล่อทองเหลือง (Hanau flask) โดยใช้ปูนปลาสเตอร์สำหรับงานทันตกรรมชนิดที่สอง เทลงไปในส่วนล่างของภาชนะแบบหล่อ ช่องที่จะเป็นแบบพิมพ์ชิ้นงานจะใช้แท่งเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีรูตรงกลางขนาด 3x10x65 ลูกบาศก์มิลลิเมตร มีขอบนอกหนาจากขอบด้านใน 5 มิลลิเมตร เพื่อเตรียมช่องสำหรับอะคริลิก ทาสารคั่นกลาง (Separating media) ที่แท่งเหล็กกล้าไร้สนิม จากนั้นเทปูนปลาสเตอร์ชนิดที่สอง ลงในส่วนล่างของภาชนะแบบหล่อทองเหลือง กดแท่งเหล็กกล้าไร้สนิมในปูนปลาสเตอร์ โดยวางแท่งเหล็กกล้าไร้สนิม 2 ชิ้น ให้ห่างกันประมาณ 10 มิลลิเมตร บริเวณรูตรงกลางปิดด้วยขี้ผึ้งสีชมพูเพื่อป้องกันการเข้ามาแทรกของปูนปลาสเตอร์ กดเหล็กกล้าไร้สนิมลงไปในส่วนล่างของภาชนะแบบหล่อ



ก.



ข.

ภาพประกอบ 6 ก) ภาพของภาชนะแบบหล่อทองเหลืองที่มีแท่งเหล็กกล้าไร้สนิมและขี้ผึ้งสีชมพู โดยมีปูนปลาสเตอร์อยู่บริเวณส่วนล่างเพื่อเตรียมทำแบบพิมพ์ชิ้นงาน ข) หลังทำการละลายขี้ผึ้งสีชมพูเพื่อเป็นช่องสำหรับแบบพิมพ์ชิ้นงานตามขนาด 3x10x65 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

จากนั้นรอจนกว่าปูนปลาสเตอร์จะแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ นำส่วนบนของภาชนะแบบหล่อทองเหลืองที่มีการใส่ปูนปลาสเตอร์เรียบร้อยแล้วมาประกบเข้ากับส่วนล่างที่มีแท่งเหล็กกล้าไร้สนิมวางอยู่ รอจนกว่าปูนปลาสเตอร์จะแข็งตัวอย่างสมบูรณ์อีกครั้ง นำภาชนะแบบหล่อทองเหลืองไปต้มเพื่อละลายขี้ผึ้งสีชมพูออก รอให้เย็นตัวลงแล้วแกะภาชนะแบบหล่อทองเหลืองออกจากกัน จะได้แม่พิมพ์สำหรับการเตรียมชิ้นงานอะคริลิก โดยกลุ่มควบคุมเตรียมชิ้นงานฐานฟันเทียมอะคริลิก

ชนิดบ่มด้วยความร้อน (Meliodent®, Kulzer, Germany) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (พอลิเมอร์ต่อมอนอเมอร์ : 35 กรัมต่อ 14 มิลลิลิตร) ผสมจนถึงระยะโด (Dough stage) จากนั้นนำเข้าแม่พิมพ์ ทำการปิดภาชนะแบบหล่อทองเหลือง และกดอัดเป็นระยะเวลา 30 นาทีเพื่อให้มอนอเมอร์แทรกซึมเข้าไปในพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์ นำภาชนะแบบหล่อทองเหลืองไปบ่มในเครื่องต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำภาชนะแบบหล่อทองเหลือง มาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เย็นลง แกะภาชนะแบบหล่อทองเหลืองออก นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ชัดด้วยกระดาษทรายความละเอียด 400, 600, 800, 1000 ตามลำดับเพื่อกำจัดครีบและส่วนเกิน วัดชิ้นงานด้วยเครื่องวัดระยะแบบดิจิตอล (Digital Vernier caliper, Mitutoyo, Kanagawa, Japan) คัดแยกชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานออก

กลุ่มทดลองอื่นอีก 4 กลุ่มการทดลองใช้อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนเตรียมชิ้นงานในรูปร่างลักษณะเดียวกันโดยนำนาโนเซลลูโลสจากใผ่มาผสมแบ่งออกเป็นร้อยละ 0.25, 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นนำมาผสมกับมอนอเมอร์บนเครื่องกวนสาร (ปริมาตรของ มอนอเมอร์ 14 มิลลิลิตรตามคำแนะนำของบริษัท) ผสมจนเข้ากัน แล้วทำการผสมมอนอเมอร์ที่ผสมนาโนเซลลูโลส และพอลิเมอร์ (35 กรัม) จนถึงระยะโด (Dough stage) นำเข้าแม่พิมพ์ในภาชนะแบบหล่อทองเหลือง ทำลักษณะเดียวกันกับกลุ่มควบคุม เมื่อได้ชิ้นงานนำมาชัดด้วยกระดาษทรายเพื่อกำจัดครีบและส่วนเกิน โดยในแต่ละกลุ่มการทดลอง 5 กลุ่ม เตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลองจำนวนกลุ่มละ 5 ชิ้นงานจากการคำนวณกลุ่มตัวอย่างโดยโปรแกรม G*Power

การทดสอบชิ้นงาน

การทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ

ทุกชิ้นงานจะถูกนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอโดยใช้การทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอแบบ 3 จุด (3-point bending test) โดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ โดยฐานวางห่างกัน 4 เซนติเมตรและใช้อัตราการกดที่ 2 มิลลิเมตรต่อนาที โดยแรงลงบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงานจนกว่าชิ้นงานจะหักแล้วทำการบันทึกข้อมูลค่าแรงสุดท้ายก่อนที่จะเกิดการแตกหักของชิ้นงาน

โดยสูตรคำนวณหาค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอคือ

$$FS = 3Pl/2bd^2$$

โดย FS คือ ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (เมกะปาสคาล, MPa)

P คือ ค่าแรงสุดท้ายก่อนการแตกหัก (นิวตัน, N)

l คือ ความยาวของชิ้นงาน (เมตร, m)

b คือ ความกว้างของชิ้นงาน (เมตร, m)

d คือ ความหนาของชิ้นงาน (เมตร, m)

การทดสอบการเปลี่ยนสี

การทดสอบการเปลี่ยนสีของเรซินอะคริลิก โดยกลุ่มควบคุมคือกลุ่มที่ไม่ได้เติมสารเสริมแรงนาโนเซลลูโลสจากไม้ กลุ่มทดลองคือกลุ่มที่เติมสารเสริมแรงนาโนเซลลูโลสจากไม้ ร้อยละ 0.25, 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร การเตรียมชิ้นงานเช่นเดียวกับขั้นตอนของการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ นำชิ้นงานทดสอบค่าความต่างของสี (ΔE) ใช้เครื่องวัดค่าความต่างของสี เครื่องวัดสี Spectrophotometer รุ่น Easyshade V (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) โดยระบบ CIE L*A*B โดย

L* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

L = 0 สีที่ได้จะมีดเป็นสีดำ

L = 100 สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว

a* ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว

a เป็น + วัตถุมีสีออกแดง

a เป็น - วัตถุมีสีออกเขียว

b* ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

b เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง

b เป็น - วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

โดยจะได้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมผ่านสมการ $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

นำข้อมูลมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มและนำมาแปลผล โดยการวัดสีจะวัดสีชิ้นงานโดยใช้เครื่องวัดสี 3 จุดของชิ้นงาน โดยวัดส่วนปลายทั้ง 2 ข้าง และบริเวณกึ่งกลางภายใต้กล่องดำเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกรบกวน จากนั้นจดบันทึกค่า L^*a^*b แล้วนำมาคำนวณหา ΔE ตามสมการ

การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

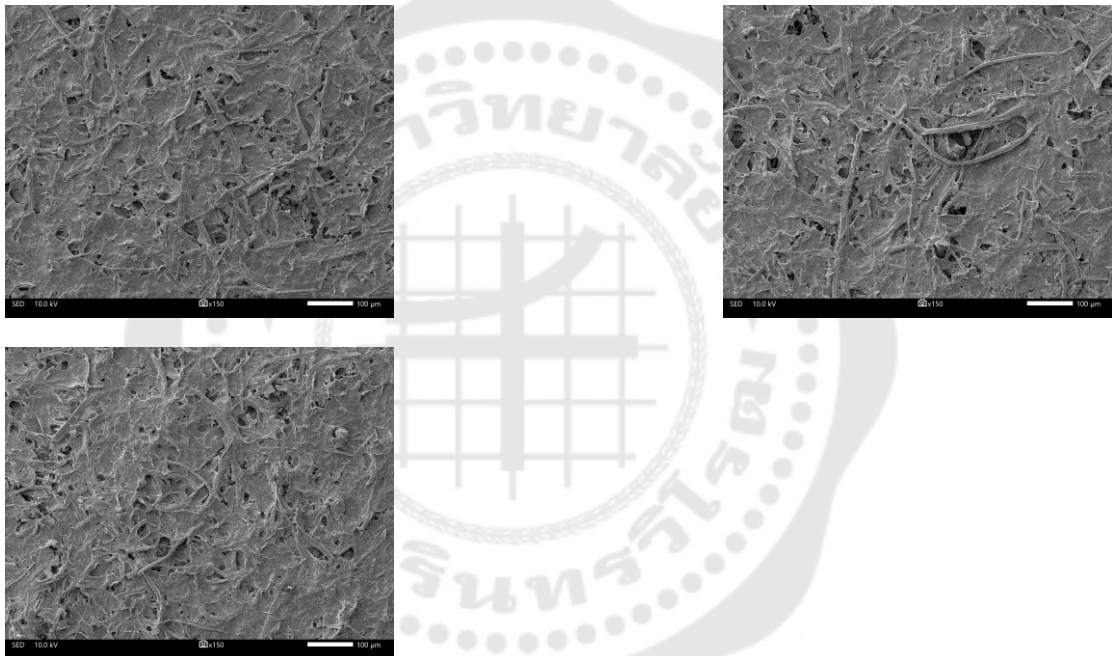
การวิเคราะห์ทางสถิติในงานวิจัยนี้ทำโดยการใช้โปรแกรม SPSS ทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยการทดสอบ Levene's วิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอและการเปลี่ยนสีของชิ้นงานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)



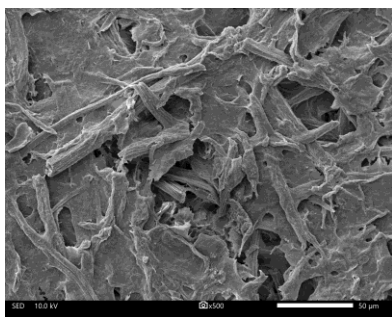
บทที่ 4 ผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของนาโนเซลลูโลส

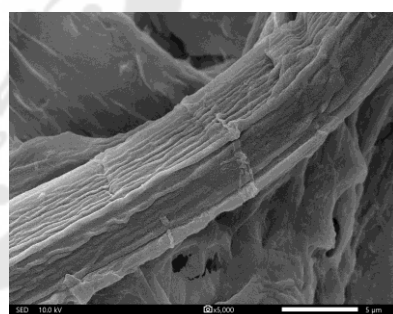
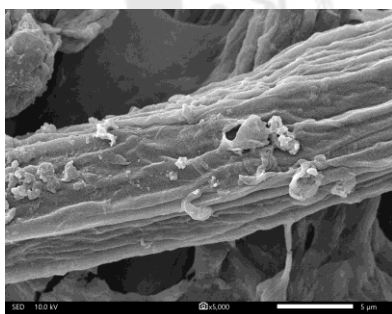
4.1 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (JEOL JSM-6610LV SEM, Tokyo, Japan) กำลังขยาย 150 เท่า (ภาพประกอบ 7) 500 เท่า (ภาพประกอบ 8) และ 5,000 เท่า (ภาพประกอบ 9)



ภาพประกอบ 7 ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของสารนาโนเซลลูโลสจากเยื่อไม้ที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 150 เท่า



ภาพประกอบ 8 ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของสารนาโนเซลลูโลสจากเยื่อไม้ที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 500 เท่า



ภาพประกอบ 9 ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของสารนาโนเซลลูโลสจากเยื่อไม้ที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 5,000 เท่า

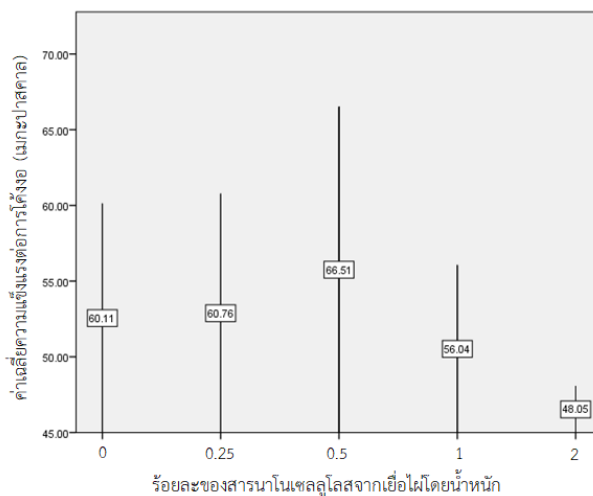
ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ

4.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ในกลุ่มควบคุม กลุ่มเติมสาร นาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.25 0.5 1 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่าเท่ากับ 60.11(2.40), 60.75(2.18), 66.50(5.08), 56.04(1.31) และ 48.05(2.61) นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ (ตาราง 4) (ภาพประกอบ 10)

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอและค่าแรงสุดท้ายก่อนแตกหักในกลุ่มควบคุมและกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.25, 0.5, 1, และ 2 โดยน้ำหนัก

ร้อยละของสารนาโนเซลลูโลส	ค่าแรงสุดท้ายก่อนการแตกหัก (N)	ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (MPa)
0	109.10(4.35)	60.11(2.40)
0.25	110.27(3.96)	60.75(2.18)
0.5	120.70(9.23)	66.50(5.08)
1	101.72(2.39)	56.04(1.31)
2	87.21(4.74)	48.05(2.61)



ภาพประกอบ 10 กราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ร้อยละ 0.25 0.5 1 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

การทดสอบการเท่ากันของความแปรปรวนโดยใช้สถิติ ของ Levene's พบว่า ค่า $p > .05$ แสดงว่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มเท่ากัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อว่า ค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้ง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1307.159	4	326.790	36.318	.000
Within Groups	269.938	30	8.998		
Total	1577.096	34			

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นว่าได้ค่า $F = 36.318$ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ และมีค่า Significant = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าต้องมีค่าความแข็งแรงต่อการโค้งอย่างน้อย 2 กลุ่มที่แตกต่างกัน

ตาราง 6 ตารางเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอ

(I) gr	(J) gr	Mean Dif- ference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-.64437	1.6033	.997	-5.9035	4.6148
	3	-6.39040*	1.6033	.011	-11.6495	-1.1313
	4	4.07005	1.6033	.197	-1.1891	9.3292
	5	12.06100*	1.6033	.000	6.8019	17.3201
2	1	.64437	1.6033	.997	-4.6148	5.9035
	3	-5.74603*	1.6033	.026	-11.0051	-.4869
	4	4.71442	1.6033	.098	-.5447	9.9735
	5	12.70537*	1.6033	.000	7.4462	17.9645
3	1	6.39040*	1.6033	.011	1.1313	11.6495
	2	5.74603*	1.6033	.026	-.4869	11.0051
	4	10.46045*	1.6033	.000	5.2013	15.7196
	5	18.45140*	1.6033	.000	13.1923	23.7105
4	1	-4.07005	1.6033	.197	-9.3292	1.1891
	2	-4.71442	1.6033	.098	-9.9735	.5447
	3	-10.46045*	1.6033	.000	-15.7196	-5.2013
	5	7.99095*	1.6033	.001	2.7318	13.2501
5	1	-12.06100*	1.6033	.000	-17.3201	-6.8019
	2	-12.70537*	1.6033	.000	-17.9645	-7.4462
	3	-18.45140*	1.6033	.000	-23.7105	-13.1923
	4	-7.99095*	1.6033	.001	-13.2501	-2.7318

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

แสดงผลการเปรียบเทียบรายคู่ ตามวิธีการของ Scheffe's และพบว่าค่าความแข็งแกร่งต่อการโค้งงอ มีค่าแตกต่างกัน โดยดูจากเครื่องหมาย * หลังค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (Mean Difference) หรือดูที่ค่า Significant ที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตาราง 6

กลุ่มควบคุม ต่างจาก กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.5, และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.25 ต่างจากกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.5, และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.5 ต่างจากทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

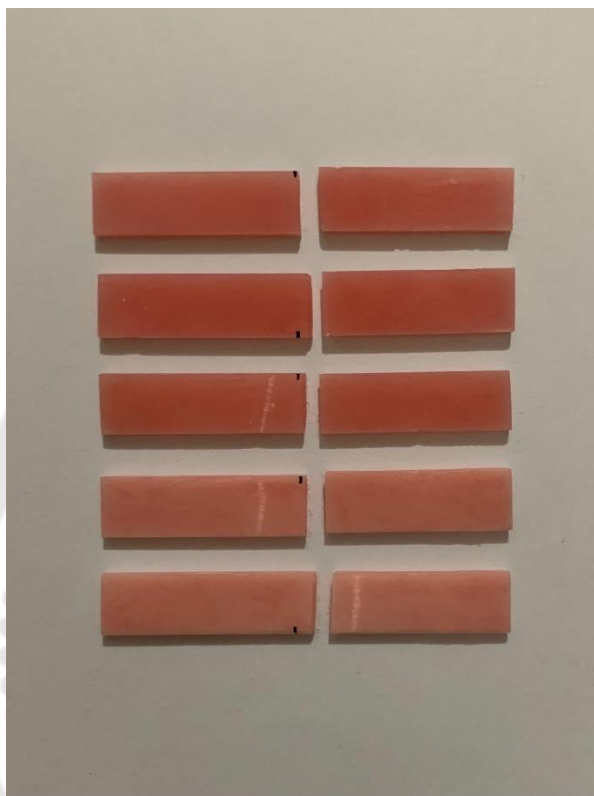
กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 1 ต่างจากกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.5, และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 2 ต่างจากทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพประกอบ 11 การทดสอบค่าความแข็งแกร่งต่อการโค้งงอของชิ้นงานโดย Universal testing machine (Shimadzu Ez-L, Shimadzu, Japan)

4.3 ผลการศึกษาลักษณะของชิ้นตัวอย่างหลังทำการทดลองและการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

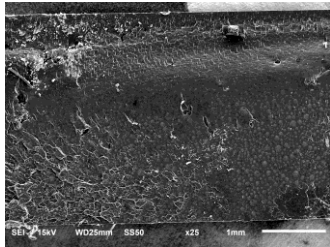


ภาพประกอบ 12 ชิ้นตัวอย่างภายหลังจากทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอ

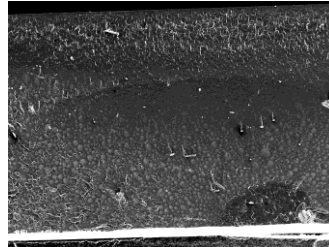
เมื่อศึกษาลักษณะของชิ้นตัวอย่างภายหลังจากทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอ ดังภาพประกอบ 12 จากนั้นนำไปส่องกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณที่จุดแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 25 เท่า ดังภาพประกอบ 13 จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่เติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ จะพบมีการกระจายของสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ ในลักษณะรวมกลุ่มกระจายตัวแทรกใน เรซินเมทริกซ์

ผลการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวภายหลังจากทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอ เมื่อศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวชิ้นงานภายหลังจากทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 500 เท่า (ภาพประกอบ 14) 1,500 เท่า

(ภาพประกอบ 15) 3,000 เท่า (ภาพประกอบ 16) พบว่าเรซินอะคริลิกที่เติมสารนาโนเซลลูโลสจาก
ไม้และที่ไม่ได้เติมมีลักษณะที่คล้ายกัน



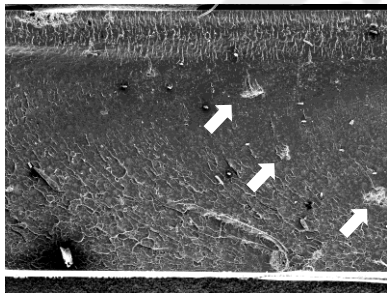
ก



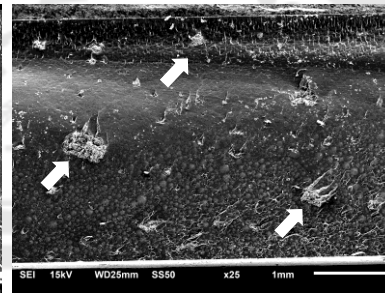
ข



ค

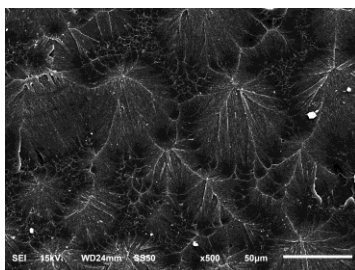


ง

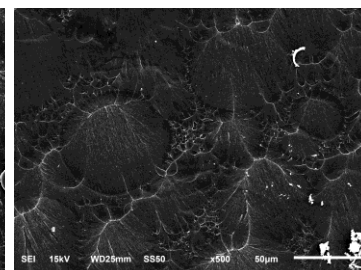


จ

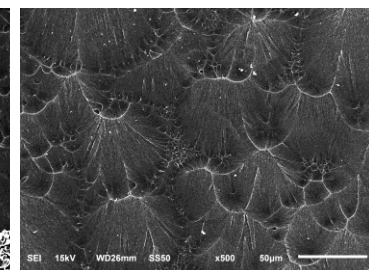
ภาพประกอบ 13 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 25
เท่า ก. กลุ่มควบคุม ข. กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ร้อยละ 0.25 ค. ร้อยละ 0.5 ง. ร้อยละ 1
จ. ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ลูกศรสีขาวแสดงถึงนาโนเซลลูโลสจากไม้)



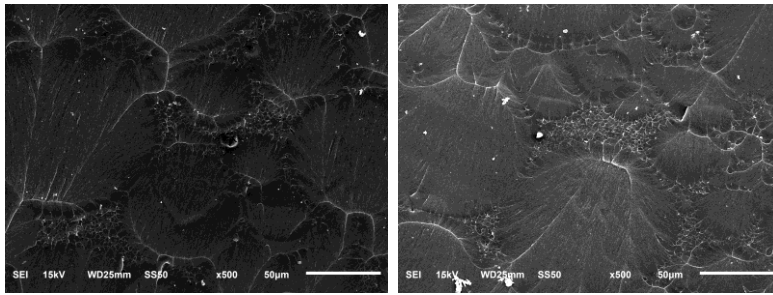
ก



ข



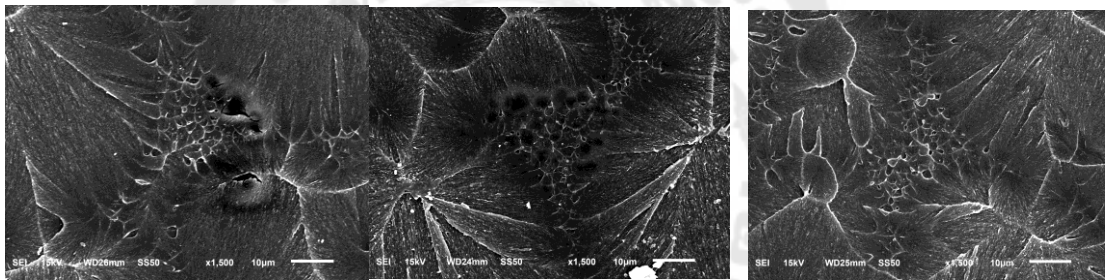
ค



ง

จ

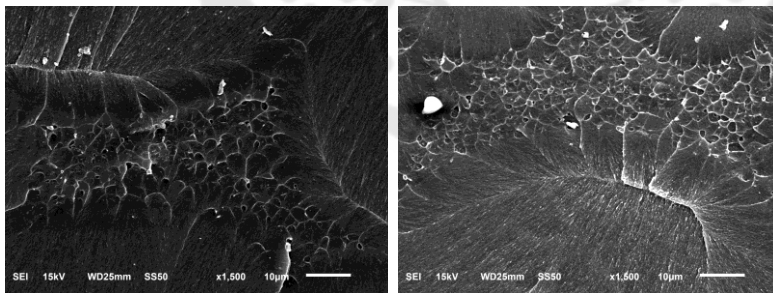
ภาพประกอบ 14 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 500 เท่า ก. กลุ่มควบคุม ข. กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากใ้ร้อยละ 0.25 ค. ร้อยละ 0.5 ง. ร้อยละ 1 จ. ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร



ก

ข

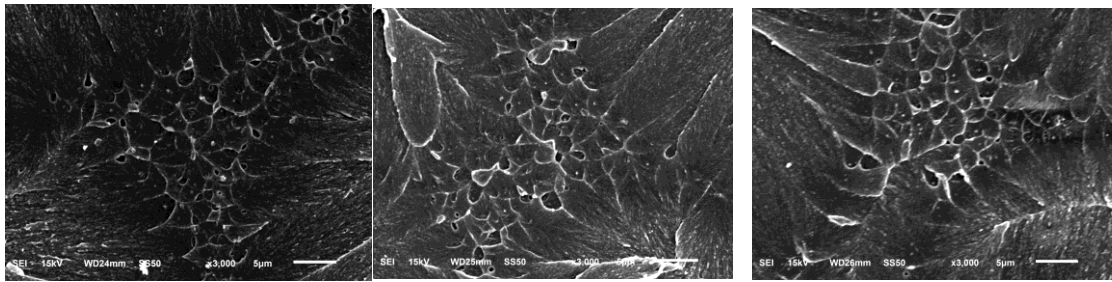
ค



ง

จ

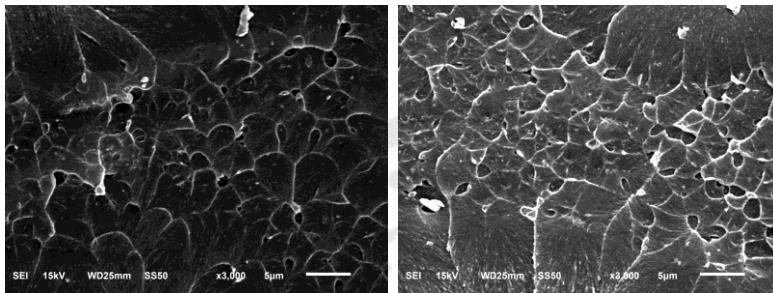
ภาพประกอบ 15 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 1,500 เท่า ก. กลุ่มควบคุม ข. กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากใ้ร้อยละ 0.25 ค. ร้อยละ 0.5 ง. ร้อยละ 1 จ. ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร



ก

ข

ค



ง

จ

ภาพประกอบ 16 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 3,000 เท่า ก. กลุ่มควบคุม ข. กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากใผ่ร้อยละ 0.25 ค. ร้อยละ 0.5 ง. ร้อยละ 1 จ. ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

การทดสอบการเปลี่ยนสี

4.4 การทดสอบการเปลี่ยนสี

ตาราง 7 ตารางเปรียบเทียบความสว่างสี ความเข้มสี มุมสี และค่าความต่างของสีของกลุ่มอะคริลิกที่เติมสารเสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส

Group	L* (SD)	a* (SD)	b* (SD)	ΔE
0%	-10.0357 (.298)	-8.3743 (.325)	-30.5200 (2.03)	0
0.25%	-11.3071 (.252)	-9.1914 (.058)	-34.7314 (.480)	4.4744
0.5%	-10.0300 (.268)	-8.5871 (.105)	-32.1143 (.737)	1.6084
1%	1.2971 (.366)	-1.3871 (.244)	-32.8443 (.062)	13.5150
2%	2.8686 (.203)	0.5557 (.440)	-33.4857 (0.174)	15.9706

ตัวย่อ : L*, ความสว่างสี; a* ความเข้มสี; b*, มุมของสี; ΔE ค่าความต่างของสี

บทที่ 5

อภิปรายและวิจารณ์ผล

การศึกษานี้เป็นการศึกษาผลของกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ตามปริมาณน้ำหนักที่มีผลต่อความแข็งแรงต่อการโค้งงอของเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ใช้ในทางทันตกรรม โดยนำเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน ผสมกับสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ ตามเศษส่วนน้ำหนักร้อยละ 0.25, 0.5, 1, และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของเศษส่วนน้ำหนักของสาร มีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอในกลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ร้อยละ 0.25 และ 0.5 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ คล้ายกับการศึกษาของ Mishra S และคณะ (31) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับโพลีโพรพิลีนที่เสริมแรงด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตระดับนาโนเมตรที่ขนาด 21 นาโนเมตรและ 39 นาโนเมตร โดยน้ำหนักต่างกัน พบว่ามีค่าโมดูลัสของยังที่เพิ่มมากขึ้นของโพลีโพรพิลีนตามลำดับ และคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Douce J และคณะ (32) นำพอลิ-ไฮดรอกซีเซลลูโลสเสริมแรงด้วยซิลิกาในระดับ 15 และ 35 นาโนเมตร พบว่ามีค่าโมดูลัสของยังและค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงที่มีความยึดหยุ่นมากกว่าเมทริกซ์สามารถเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอ งานวิจัยของ Habibi และคณะ (33) พบว่าค่าโมดูลัสของยังนาโน-เซลลูโลสมีค่าสูงกว่าเหล็กทั่วไป นอกจากนี้ Olewi JK และคณะ (23) ทดสอบแรงดึง (tensile test) ของเรซินอะคริลิก ที่เติมเส้นใยธรรมชาติจากเส้นใยไม้ตามความยาวและปริมาณน้ำหนัก ตามเศษส่วนน้ำหนักร้อยละ 3 6 และ 9 พร้อมกับความยาวของเส้นใย 2 6 12 มิลลิเมตร ผลการทดสอบแรงดึง พบว่าการเพิ่มขึ้นของเศษส่วนน้ำหนักของเส้นใย มีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ชิ้นงานที่ให้ค่าแรงมากที่สุด คือ เศษส่วนน้ำหนักที่ร้อยละ 9 และความยาวเส้นใย 12 มิลลิเมตร ของเส้นใยไม้ โดยได้ค่าแรงดึงที่ 71 เมกะปาสคาล และ 72.4 เมกะปาสคาล ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ส่วนผสมที่มีเส้นใยจำนวนมากและความยาวเส้นใยมาก จะทำให้ได้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงมากขึ้นเนื่องจากความเหนียวของเส้นใยมากกว่าเรซินอะคริลิก

แต่เมื่อเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไม้ร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อการโค้งงอจะลดลงตามลำดับ เนื่องจากจำนวนเส้นใยที่มากขึ้น มีส่วนที่เชื่อมต่อ

ระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ที่มากขึ้น จึงเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์มากขึ้น ซึ่งความแข็งแรงการยึดติดค่อนข้างต่ำ เมื่อแรงกระทำที่ขึ้นงาน จึงทำให้เกิดความเสียหายบริเวณนี้ได้มากขึ้น จากงานวิจัยของ Salas และคณะพบว่าเนื่องจากความไฮโดรโฟบิกของเซลลูโลสกับความไม่มีขั้วของพอลิเมอร์ทำให้เกิดการยึดติดกันที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการศึกษาในอนาคตอาจจำเป็นต้องมีการเพิ่มสารยึดติดเข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเสริมแรงมากยิ่งขึ้น (34)

อย่างไรก็ตามการที่แรงลงตามเส้นใยจำนวนมากขึ้น ด้วยผลของเส้นใยที่สามารถทนต่อแรงดึงได้ดีกว่าตัวเมทริกซ์ ทำให้ค่านั้นเพิ่มขึ้นในการเติมนาโนเซลลูโลสที่ร้อยละ 0.25 และ 0.5 จากการทดลองนี้ พบว่า ขึ้นงานที่ให้ค่าแรงมากที่สุด คือ เศษส่วนน้ำหนักที่ร้อยละ 0.5 โดยได้ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงออยู่ที่ 66.50 เมกะปาสคาล นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของกลุ่มที่มีการเติมนาโนเซลลูโลสจากไฟร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรมีค่ามากกว่ากลุ่มไม่เติมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกันค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของกลุ่มที่มีการเติมนาโนเซลลูโลสจากไฟร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรมีค่าน้อยกว่ากลุ่มไม่เติมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้พบว่าลักษณะเส้นใยที่ได้สกัดที่มาใช้ในงานวิจัยมีลักษณะเป็นนาโนไฟบริเลท-เททเซลลูโลสซึ่งมีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นสูง ทนต่อความแข็งแรงต่อการโค้งงอได้ดี เมื่อนำมาเสริมแรงในน้ำหนักที่เหมาะสมทำให้วัสดุมีค่าความแข็งแรงที่เพิ่มมากขึ้น ในการทดลองนี้พบว่าเส้นใยที่สกัดด้วยวิธีสลายน้ำด้วยกรดและเบสมีขนาดของเส้นใยอยู่ที่ประมาณ 5,000 นาโนเมตร มีขนาดใหญ่เกินกว่าความต้องการของผู้วิจัย ซึ่งการศึกษาในอนาคตหากต้องการขนาดของนาโนเซลลูโลสที่เล็กกว่าอาจจะต้องทำการสกัดที่นานกว่านี้หรือกระบวนการสกัดอื่นๆ โดยหากทำตามการศึกษาของ Qian และคณะ (35) ทำการสกัดนาโนเซลลูโลสจากไฟโดยใช้วิธีการคล้ายคลึงกัน แต่ใช้ความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาสกัดที่มากกว่า จากการศึกษาพบว่าหากใช้กรดที่ต่ำเกินไปจะไม่สามารถสกัดได้อย่างนาโนเซลลูโลสได้สมบูรณ์ในการศึกษาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ร้อยละ 55 ใช้เวลา 4 ชั่วโมงและความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ร้อยละ 65 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ในการสกัดแยกน้ำจะได้นาโนเซลลูโลสจากไฟที่มีลักษณะเป็นแท่งความยาวประมาณ 455 นาโนเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 นาโนเมตร เนื่องจากการที่สารเสริมแรงมีขนาดใหญ่ อาจส่งผลต่อค่าความแข็งแรงเนื่องจากสารเสริมแรงมีขนาดใหญ่ ทำให้การกระจายตัวไปทั่วเมทริกซ์ไม่ทั่วถึงและตัวเสริมแรงอาจไม่ได้ถูกคลุมด้วยเมทริกซ์อย่างสมบูรณ์ อาจทำให้เกิดจุดอ่อน

ของชิ้นงานได้ การศึกษาก่อนหน้ามีเปรียบเทียบค่ายังโมดูลัสของสารเสริมแรงในระดับไมโครเมตร และนาโนเมตร พบว่าการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกลเมื่อเสริมแรงด้วยสารเสริมแรงระดับไมโครเมตรจะมีผลการเสริมแรงน้อยกว่าในระดับนาโนเมตร (36)

การศึกษาจำนวนมากมาจากการนำสารอินทรีย์มาเสริมแรงให้กับพอลิเมทิลเมทาคริเลต เช่นการศึกษาของ Vikram (37) ที่นำซิงค์ออกไซด์ในระดับนาโนเมตรมาเสริมแรงให้กับพอลิเมทิลเมทาคริเลต แล้วนำมาทดสอบความแข็งแรงต่อการโค้งงอพบว่า กลุ่มที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุดคือ กลุ่มที่เติมซิงค์ออกไซด์มากที่สุดและกลุ่มที่ให้ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ไม่ได้เติมซิงค์ออกไซด์ สารอินทรีย์นอกจากนี้แล้วยังมีการนำอนุภาคจากเปลือกทับทิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 53.38 นาโนเมตรและอนุภาคจากเมล็ด Ajwa ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 93.78 นาโนเมตร มาเสริมแรงในพอลิเมทิลเมทาคริเลต พบว่าค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม โดยเฉพาะจากเปลือกทับทิม (38) การศึกษาการเสริมแรงจากผลิตภัณฑ์จากธรรมชาตินั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกมาก

จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีอะคริลิกเมื่อมีการเติมนาโนเซลลูโลสเข้าไป ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Nam KY (39) ที่มีการเติมสารอัดแทรกเงินในระดับนาโนเมตร โดยยังเติมสารอัดแทรกเข้าไป ยิ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของเหงือก และงานวิจัยก่อนหน้านี้ค่าเฉลี่ยของคนทั่วไป จะสามารถเห็นสีของเหงือกเปลี่ยนไปเมื่อค่าความต่างของสีมีค่า $\Delta E = 3.1 \pm 1.5$ (40) จากการทดลองพบว่าค่าความต่างของสีของกลุ่มที่เติมสารร้อยละ 0.25, 0.5 อยู่ในค่าที่ยอมรับได้จากการเปลี่ยนสีของเหงือก ($\Delta E = 4.4744, 1.6084$) ตามลำดับและค่าความต่างของสีเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเมื่อเติมนาโนเซลลูโลสเข้าไป ร้อยละ 1, 2 ($\Delta E = 13.5150, 15.9706$) ตามลำดับ ดังนั้นการเติมนาโนเซลลูโลสที่มากเกินไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีพอลิเมอร์ที่มากเกินไป ซึ่งอาจจะมีผลต่อความสวยงามได้เมื่อนำมาใช้ อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องวัดสี Spectrophotometer รุ่น Easyshade V ระยะเวลาวัดแสงอยู่ที่ 400-700 นาโนเมตร อาจจะไม่แม่นยำเพียงพอในการวัดสีของชิ้นงานทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้อย่างเช่นในชิ้นงานค่าการเปลี่ยนสีของกลุ่มที่เติมสารร้อยละ 0.25 มีค่ามากกว่ากลุ่มเติมสารร้อยละ 0.5 เนื่องจากมีสารเสริมแรงน้อยกว่าแต่มีการเปลี่ยนสีที่มากกว่ากลุ่มที่เติมสารเสริมแรงที่เยอะกว่า

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเพิ่มความแข็งแรงของฐานพื้นเทียมที่ทำจากเรซินอะคริลิกที่เสริมความแข็งแรงด้วย เซลลูโลสนาโนคริสตอลจากใยไผ่นั้น พบว่า กลุ่มเติมสารนาโนเซลลูโลสจากไผ่ร้อยละ 0.5 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร เป็นกลุ่มที่มีความแข็งแรงต่อการโค้งงอมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากผลการศึกษาดังกล่าว ช่วยให้สามารถหาปริมาณของสารเสริมความแข็งแรงที่เหมาะสม สามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงต่อการโค้งงอได้ เป็นข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของเรซินอะคริลิกด้วย

นอกจากนี้ยังพบว่ามีค่าต่างของสีแตกต่างกลุ่มควบคุม แต่ไม่เกินค่ามาตรฐานการเปลี่ยนแปลงของสีเหลือง ผลการศึกษาที่ได้จึงสามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยในการเพิ่มความแข็งแรงต่อการโค้งงอในฐานพื้นเทียมได้

การใช้เซลลูโลสนาโนคริสตอลจากใยไผ่เป็นวัสดุอัดแทรกอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของฐานพื้นเทียมที่ทำจากเรซินอะคริลิก นอกเหนือจากการเสริมความแข็งแรงด้วยวิธีการอื่น ๆ เพื่อให้ทันตแพทย์และผู้เกี่ยวข้องพิจารณาเลือกใช้ในการที่จะนำมาใช้ทำฐานพื้นเทียม เรซินอะคริลิกเพื่อลดอัตราการสูญเสียของฐานพื้นเทียม ทำให้สามารถใช้งานได้ยาวนานมากขึ้น เป็นการเพิ่มความพึงพอใจของผู้ป่วย ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมฐานพื้นเทียมหรือทำฟันเทียมชิ้นใหม่

บรรณานุกรม

1. Jagger D, Jagger R, Allen S, Harrison A. An investigation into the transverse and impact strength of high strength denture base acrylic resins. *Journal of oral rehabilitation*. 2002;29(3):263-7.
2. Powers JM, Sakaguchi RL, Craig RG. *Craig's restorative dental materials*/edited by Ronald L. Sakaguchi, John M. Powers: Philadelphia, PA: Elsevier/Mosby; 2012.
3. Furuya-Yoshinaka M, Yoshinaka M, Isogai F, Maeda Y. Influence of an experimental palatal plate on thermal perception. *Journal of Prosthodontic Research*. 2009;53(4):193-6.
4. Zappini G, Kammann A, Wachter W. Comparison of fracture tests of denture base materials. *The journal of prosthetic dentistry*. 2003;90(6):578-85.
5. Darbar U, Huggett R, Harrison A. Denture fracture--a survey. *British dental journal*. 1994;176(9):342-5.
6. Carroll C, Von Fraunhofer J. Wire reinforcement of acrylic resin prostheses. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1984;52(5):639-41.
7. Asar NV, Albayrak H, Korkmaz T, Turkyilmaz I. Influence of various metal oxides on mechanical and physical properties of heat-cured polymethyl methacrylate denture base resins. *The journal of advanced prosthodontics*. 2013;5(3):241-7.
8. Alhareb AO, Ahmad ZA. Effect of Al₂O₃/ZrO₂ reinforcement on the mechanical properties of PMMA denture base. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2011;30(1):86-93.
9. Gad MM, Fouda SM, Al-Harbi FA, Napankangas R, Raustia A. PMMA denture base material enhancement: a review of fiber, filler, and nanofiller addition. *International Journal of Nanomedicine*. 2017;12:3801.
10. Phanthong P, Reubroycharoen P, Hao X, Xu G, Abudula A, Guan G. Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*. 2018;1(1):32-43.
11. Beyli M, Von Fraunhofer J. An analysis of causes of fracture of acrylic resin dentures. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1981;46(3):238-41.

12. Vallittu PK. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1999;81(3):318-26.
13. Marei MScD MK, BDS. Reinforcement of denture base resin with glass fillers. *Journal of Prosthodontics*. 1999;8(1):18-26.
14. Narva KK, Lassila LV, Vallittu PK. Flexural fatigue of denture base polymer with fiber-reinforced composite reinforcement. *Composites Part A: applied science and manufacturing*. 2005;36(9):1275-81.
15. Nakamura M, Takahashi H, Hayakawa I. Reinforcement of denture base resin with short-rod glass fiber. *Dental materials journal*. 2007;26(5):733-8.
16. Ladizesky N, Cheng Y, Chow T, Ward I. Acrylic resin reinforced with chopped high performance polyethylene fiber-properties and denture construction. *Dental Materials*. 1993;9(2):128-35.
17. Foo H, Lindquist TJ, Aquilino SA, Schneider RL, Williamson DL, Boyer DB. Effect of polyaramid fiber reinforcement on the strength of 3 denture base polymethyl methacrylate resins. *Journal of Prosthodontics*. 2001;10(3):148-53.
18. Yu W, Wang X, Tang Q, Guo M, Zhao J. Reinforcement of denture base PMMA with ZrO₂ nanotubes. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2014;32:192-7.
19. Hong R, Fu H, Zhang Y, Liu L, Wang J, Li H, et al. Surface-modified silica nanoparticles for reinforcement of PMMA. *Journal of Applied Polymer Science*. 2007;105(4):2176-84.
20. Topouzi M, Kontonasaki E, Bikiaris D, Papadopoulou L, Paraskevopoulos KM, Koidis P. Reinforcement of a PMMA resin for interim fixed prostheses with silica nanoparticles. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2017;69:213-22.
21. Siqueira G, Bras J, Dufresne A. Cellulosic bionanocomposites: a review of preparation, properties and applications. *Polymers*. 2010;2(4):728-65.

22. Liu J, Chinga-Carrasco G, Cheng F, Xu W, Willför S, Syverud K, et al. Hemicellulose-reinforced nanocellulose hydrogels for wound healing application. *Cellulose*. 2016;23(5):3129-43.
23. Wang B, Sain M. Isolation of nanofibers from soybean source and their reinforcing capability on synthetic polymers. *Composites Science and Technology*. 2007;67(11-12):2521-7.
24. Boufi S, Kaddami H, Dufresne A. Mechanical performance and transparency of nanocellulose reinforced polymer nanocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2014;299(5):560-8.
25. Ning L, Yang B. Characteristics of bamboo fiber and its application. *Progress in Textile Science & Technology*. 2007;3:15-7.
26. Liu D, Song J, Anderson DP, Chang PR, Hua Y. Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. *Cellulose*. 2012;19(5):1449-80.
27. Wagner S, Collet C, Madsen P, Nakashizuka T, Nyland RD, Sagheb-Talebi K. Beech regeneration research: from ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management*. 2010;259(11):2172-82.
28. Dransfield S, Widjaja E. *Plant resources of South-East Asia*: Pudoc; 1995.
29. Yu M, Yang R, Huang L, Cao X, Yang F, Liu D. Preparation and characterization of bamboo nanocrystalline cellulose. *BioResources*. 2012;7(2):1802-12.
30. Shankaran DR. *Cellulose Nanocrystals for Health Care Applications*. *Applications of Nanomaterials*: Elsevier; 2018. p. 415-59.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พิชญา พงษ์สุขเจริญกุล
วัน เดือน ปี เกิด	11 ตุลาคม 2533
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	43 ซอยเจริญนคร 21 ถนนเจริญนคร แขวงบางลำภูล่าง คลองสาน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10600

