

การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสจากเส้นใยมะพร้าวด้วยกระบวนการเคมีเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรง *

Preparation of cellulose fibrils from coir fibers by chemical treatment for using as reinforced materials

ทศพร ศรีวรกุล (Todsaporn Srivorakul) **

กุลทัศน์ สุวัฒน์พิพัฒน์ (Kullatat Suwatpipat) **

จันทร์ฉาย ทองปิ่น (Chanchai Thongpin) ***

นวพันธุ์ ภูักดี (Navapan Poopakdee) ****

วรุต ธรรมวิชัย (Warut Thammawichai) ****

ชีวิตา สุวรรณขลิต (Cheewita Suwanchawalit) *****

บทคัดย่อ

การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดไมครอน จากเส้นใยมะพร้าวสามารถทำได้โดยใช้ 30 % (v/v) H_2O_2 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและ 5% (w/v) NaOH ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากเทคนิค SEM และ FT-IR แสดงให้เห็นว่าลิกนินและเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดออกจากเส้นใยซึ่งลักษณะเส้นใยที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเท่ากับ 18 ไมโครเมตร และมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 1154 ไมโครเมตร จากผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่าความเป็นผลึกของเส้นใยที่สกัดได้มีความเป็นผลึกมากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการด้วยสารเคมี นอกจากนี้จากผลการทดสอบด้วย FT-IR ยืนยันว่าพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลสถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysilyl)propylmethacrylate (MPS) นอกจากนี้วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และเส้นใยเซลลูโลสที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MPS มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า HDPE และ HDPE ที่ผสมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย

** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม

*** ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม

**** ภาควิชาเคมี กองวิชาวิทยาศาสตร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช แขวงคลองถนน เขตสายไหม กรุงเทพฯ

***** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม
corresponding author: ผศ.ดร.ชีวิตา สุวรรณขลิต อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร e-mail : suwanchawalit_c@su.ac.th

Abstract

Microfibril cellulose was successfully prepared by chemically treating brown coconut fiber. The coconut fiber was treated with 30 % (v/v) H_2O_2 solution, and then treated with 5% (w/v) NaOH solution. The effect of these treatments on the microstructure and surface functional group of fibers was studied using SEM, XRD and FT-IR techniques, respectively. The SEM results showed that the chemical treatment could remove the hemicelluloses and lignin on the surface of coconut fiber and separated into microfibril cellulose. The microfibril cellulose diameter was 18 μm , and then length of microfibril was 1154 μm . The XRD results showed that the crystallinity of cellulose increased when treated with chemicals. The FT-IR results confirmed the reduction of impurities content on the surface by chemical treatment. The microfibril cellulose was modified the surface by using 3-(Trimethoxysilyl)propylmethacrylate (MPS) before mixed with high density polyethylene (HDPE) and confirmed by FT-IR technique. In addition, the mechanical properties of the silane treated cellulose-HDPE composite were studied. As expected, the mechanical properties of the cellulose-HDPE composites prepared using MPS displayed good mechanical performances.

บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ทางด้านพลาสติกหรือพอลิเมอร์เข้ามามีบทบาทในการใช้งานด้านต่างๆทั้งด้านบรรจุภัณฑ์ วัสดุโครงสร้าง วัสดุทดแทนไม้ และวัสดุอากาศยาน เป็นต้น ซึ่งแนวทางวิจัยส่วนใหญ่เน้นการพัฒนาวัสดุให้มีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงของวัสดุสูง โดยนิยมเตรียมเป็นวัสดุคอมโพสิต (Composite Materials) ซึ่งจำเป็นต้องเติมสารเสริมแรงต่างๆเพื่อเพิ่มสมบัติของชิ้นงานให้ได้ตามต้องการ ในด้านเพิ่มความแข็งแรงอาจเติมสารเสริมแรงพวกเส้นใยลงไป เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยพอลิเมอร์ เส้นใยหิน เส้นใยธรรมชาติจากพืช เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้เห็นความสำคัญต่อการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้เส้นใยธรรมชาติซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น เส้นใยมะพร้าว นำมาใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่นิยมในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีความเหนียวสูงและทนต่อแรงกระแทกได้ดี ดังนั้นงานนี้จึงสนใจศึกษาวิธีการเตรียมเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมี จากนั้นทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเซลลูโลสที่ได้ด้วย 3-(Trimethoxysilyl) propylmethacrylate เพื่อปรับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของเส้นใยเซลลูโลสให้มีความเข้ากันได้กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเพื่อช่วยให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสจากไยมะพร้าว

ชั่งเส้นใยมะพร้าว 2 กรัม จากนั้นเติม 30 % (v/v) H_2O_2 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเติม 5 % (w/v) NaOH 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กวนตลอดเวลา หลังจากนั้นล้างเส้นใยด้วยน้ำกลั่น แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. การเตรียมเส้นใยเซลลูโลสจากไยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยหมู่ฟังก์ชันเส้นใยเซลลูโลสด้วย (Trimethoxysily) propylmethacrylate

เติม 1 wt.% 3-(Trimethoxysily) propylmethacrylate ลงในสารละลายอะซิโตน ปรับ pH ให้เท่ากับ 3.5 ผสมไฟเบอร์ลงในสารละลายดังกล่าว กวนตัวอย่างตลอดเวลาที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างที่ 5 ชั่วโมง และล้างเส้นใยที่ได้ด้วยอะซิโตน อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3. การสังเคราะห์วัสดุคอมโพสิตโดยใช้ HDPE เป็นเฟสหลัก

ในการสังเคราะห์วัสดุคอมโพสิต ใช้เครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer) ที่ผลิตโดยบริษัทเจริญทัศน์ ควบคุมอุณหภูมิในการหลอมอยู่ที่ 180 °C ผสมเม็ดพอลิเมอร์และเส้นใยเซลลูโลสจากไยมะพร้าวพร้อมกัน โดยผสมเส้นใยเซลลูโลสจากไยมะพร้าวในอัตราส่วน 10 wt.% ต่อน้ำหนัก HDPE

4. การตรวจสอบคุณลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสจากไยมะพร้าวและคอมโพสิต cellulose/HDPE

ศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope (SEM); Camscan, MX2000) ศึกษาโครงสร้างผลึกและขนาดของผลึกของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD; Rigaku, MiniflexII) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR; Perkin Elmer, Spectrum 100)

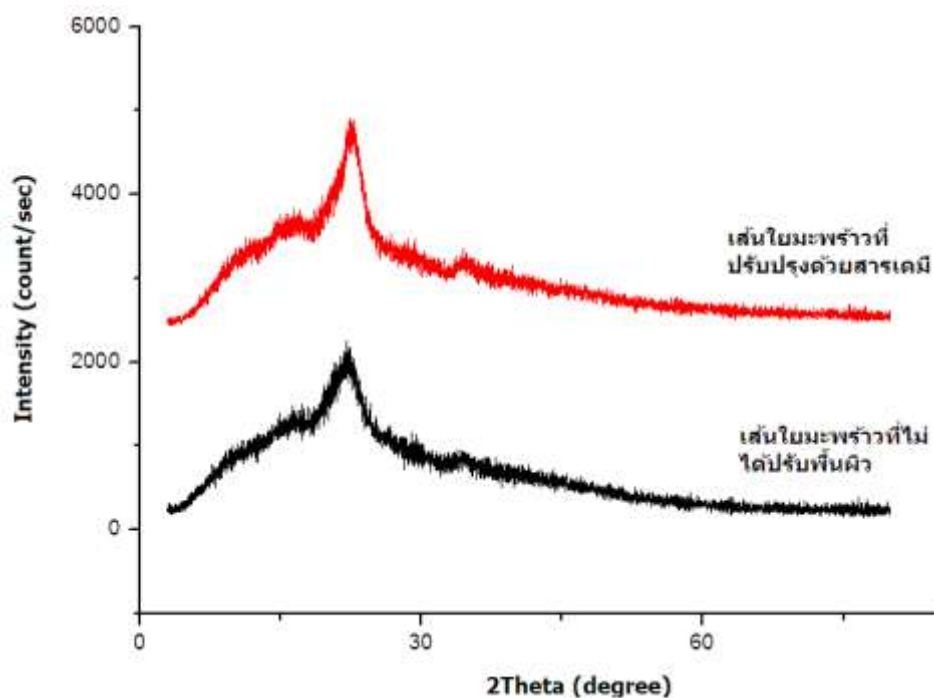
5. ทดสอบสมบัติเชิงกล

ใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ที่ประกอบขึ้นเองโดยภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการวัดค่ามอดูลัสยั้ง เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษาโครงสร้างผลึกและขนาดของผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffractometry (XRD)

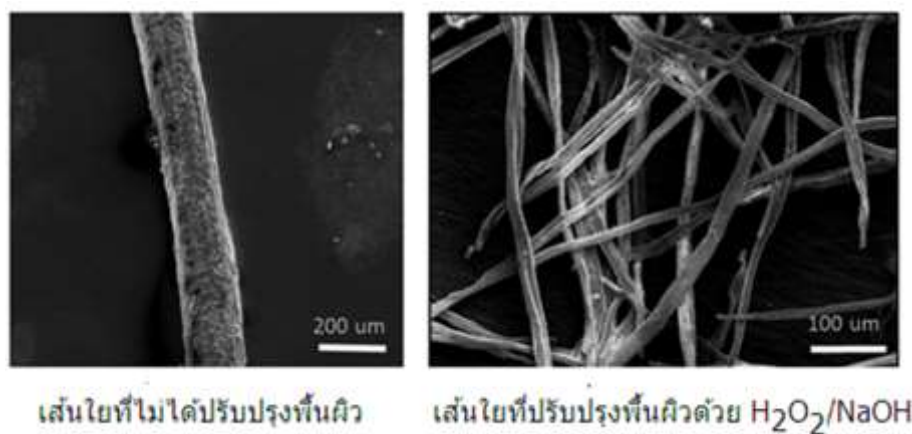
จากการศึกษา XRD พบว่าปรากฏพีคที่ตำแหน่ง $2\theta = 22.7^\circ$ แสดงถึงความเป็นผลึกของเซลลูโลส เมื่อพีคที่ตำแหน่งนี้มีความเข้มสูงแสดงว่าเส้นใยที่ได้เป็นเส้นใยเซลลูโลส จากผลการทดลองพบว่าเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงผิว มีพีคที่ตำแหน่งนี้สูงกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว แสดงว่าเส้นใยที่แยกออกมาได้เป็นเส้นใยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์สูงขึ้น



รูปที่ 1 XRD ของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย $H_2O_2/NaOH$

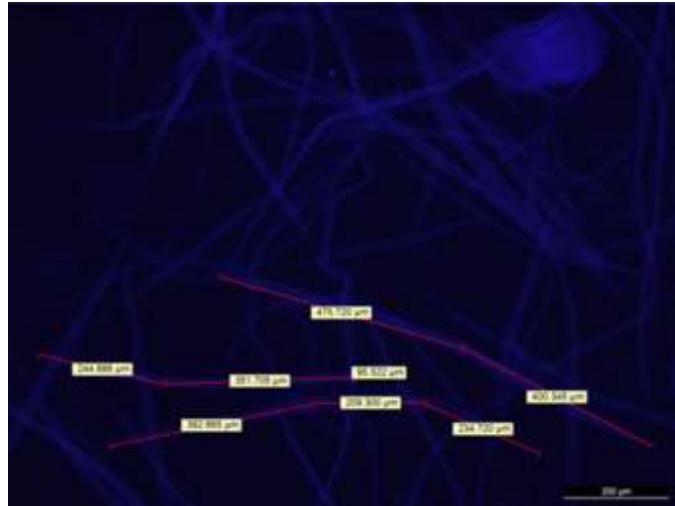
2. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

จากโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา เห็นได้ชัดเจนว่าเส้นใยมะพร้าวที่เป็นมัดกันอยู่ได้แยกออกจากกันเป็นเส้นใยเซลลูโลสเส้นเล็กๆ หลายๆ เส้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 18.26 ไมโครเมตร แต่ไม่สามารถวัดความยาวของเส้นใยได้ จึงศึกษาด้วยความยาวของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

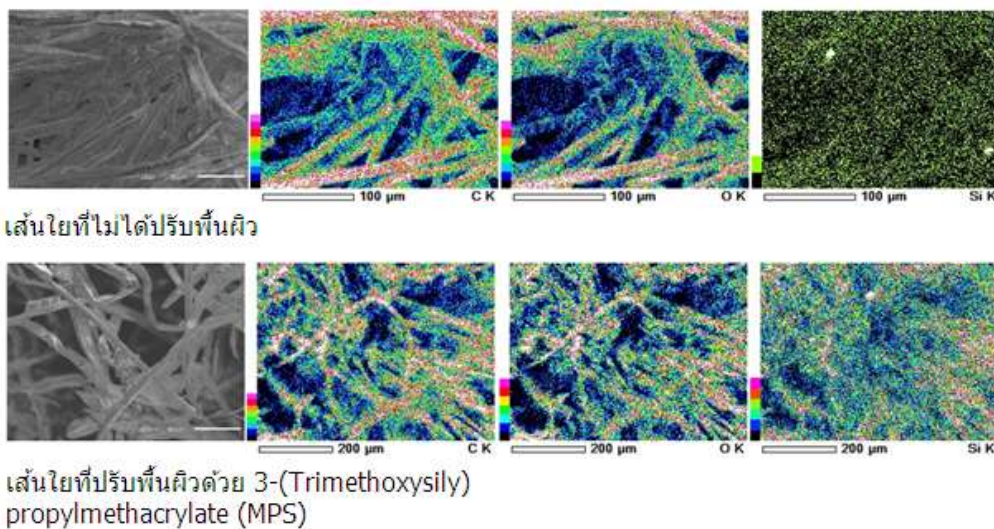


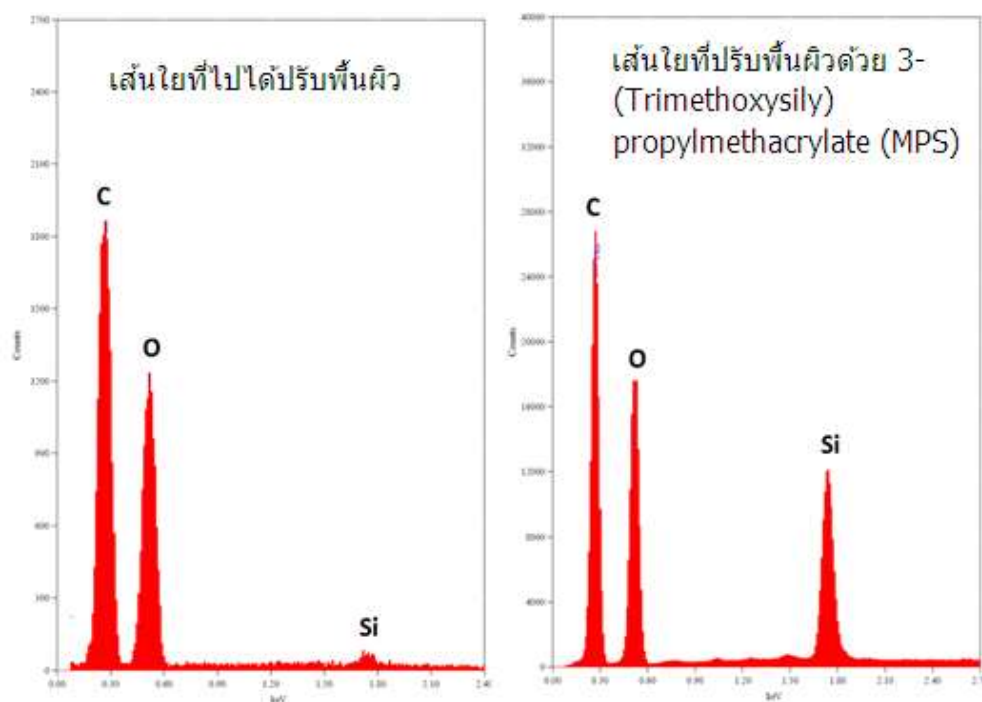
รูปที่ 2 โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว (ที่กำลังขยาย 50 เท่า) และเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย $H_2O_2/NaOH$ (ที่กำลังขยาย 100 เท่า)

เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ วัดความยาวของเส้นใยเซลลูโลสทั้งหมด 20 เส้นและนำมาหาความยาวเฉลี่ย พบว่าความยาวเฉลี่ยของเส้นใยเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 1154 ไมโครเมตร และมีค่า Aspect Ratio (Aspect Ratio = ความยาวของเส้นใย / เส้นผ่านศูนย์กลาง) เท่ากับ 63 สามารถนำไปใช้เสริมแรงได้

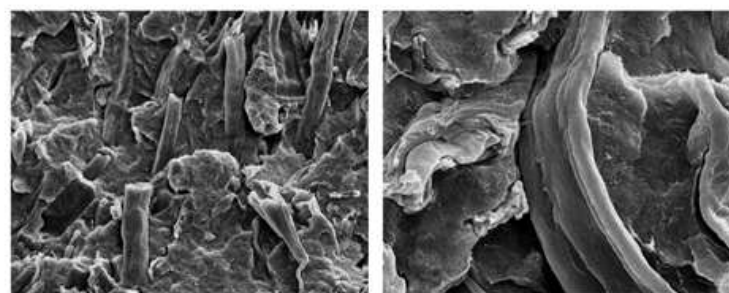


สำหรับการดัดแปลงพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลสด้วย 3-(Trimethoxysilyl)propylmethacrylate (MPS) พบว่าพื้นผิว มีสารดัดแปลงเกาะอยู่สอดคล้องกับรูปที่ 4 และรูปที่ 7 จากผล SEM mapping และ EDS spectrum พบว่ามี Si บนพื้นผิวเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึง MPS เกาะติดบนผิวของเส้นใย

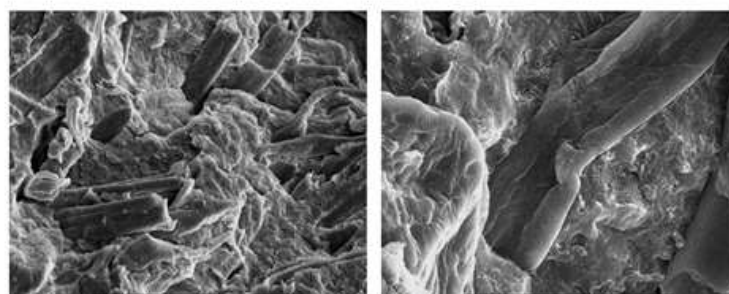




รูปที่ 4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM mapping และ EDS spectrum) ของเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวและผ่านปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysilyl) propylmethacrylate (MPS)



วัสดุผสม HDPE+เส้นใยที่ไม่ได้ปรับพื้นผิว



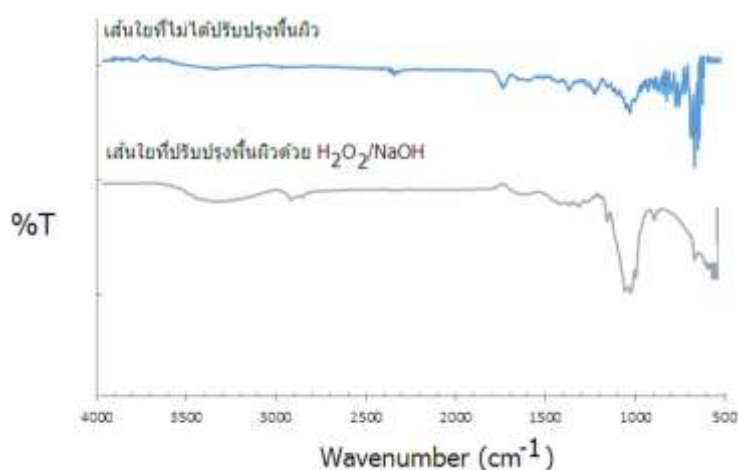
วัสดุผสม HDPE+เส้นใยที่ปรับพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysilyl) propylmethacrylate (MPS)

รูปที่ 5 โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสม HDPE กับเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและวัสดุผสม HDPE กับเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysily) propylmethacrylate (MPS) ที่กำลังขยาย 250 และ 1000 เท่า

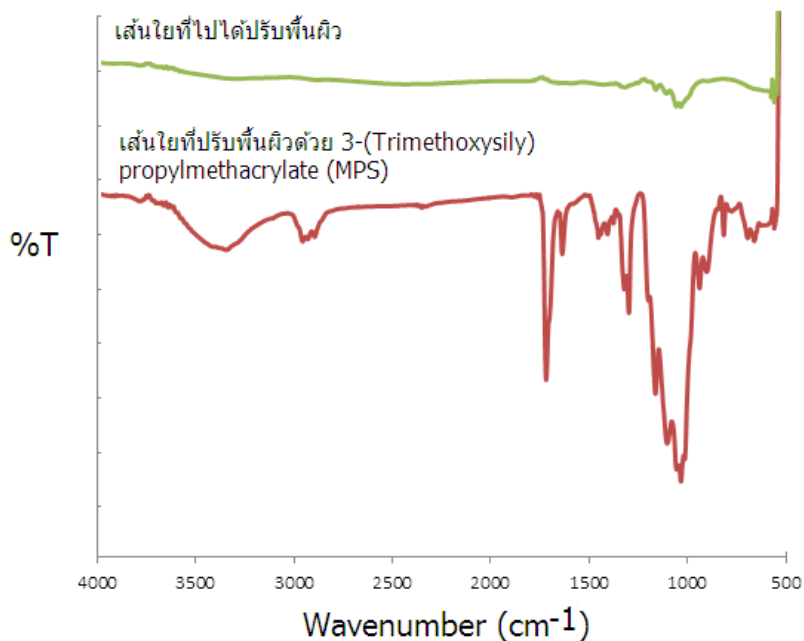
จากโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสม พบเส้นใยเซลลูโลสมีการกระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ แต่ยังไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่าง 2 เฟส สังเกตจากช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยเซลลูโลสกับ HDPE ที่ผสมกับเส้นใยเซลลูโลสที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysily) propylmethacrylate (MPS) พบว่าพื้นผิวของเส้นใยเกิดพันธะกับพอลิเมอร์ดีขึ้น

3. ศึกษาหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเทคนิค Attenuated total reflectance Fourier Transform Infrared Spectrometry (ATR/FT-IR)

จากการศึกษาเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysily) propylmethacrylate (MPS) ด้วยเทคนิค ATR-FTIR สำหรับเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ปรากฏพิกัดที่ 3340 cm^{-1} แสดงการสั่นของพันธะ O-H stretch ซึ่งแสดงถึงว่าเส้นใยมีลิกนินและเซลลูโลส และปรากฏพิกัดที่ 1728 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกัดที่ไม่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงพื้นผิว ซึ่งเป็นพิกัดของ C=O stretch สำหรับเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว นั้นพบพิกัดที่ 3340 cm^{-1} และพิกัดที่ 2893 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกัดของพันธะ C-H stretch และมีพิกัดที่เด่นชัดคือพิกัดที่ 1034 cm^{-1} ซึ่งไม่พบในเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเป็นพิกัดที่แสดงการสั่นของพันธะ C-O stretch ดังนั้นผลจากสเปกตรัม IR ในรูปที่ 6 สามารถยืนยันว่าลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและไขมันถูกกำจัดออกไปเมื่อปรับปรุงเส้นใยมะพร้าวด้วย $\text{H}_2\text{O}_2/\text{NaOH}$ ส่วนรูปที่ 7 แสดงเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวและผ่านปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysily) propylmethacrylate (MPS) พบว่ามีพันธะ Si-O ของ MPS เกาะบนพื้นผิวเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysily) propylmethacrylate (MPS) [Kakou, C.A., et al., 2014]



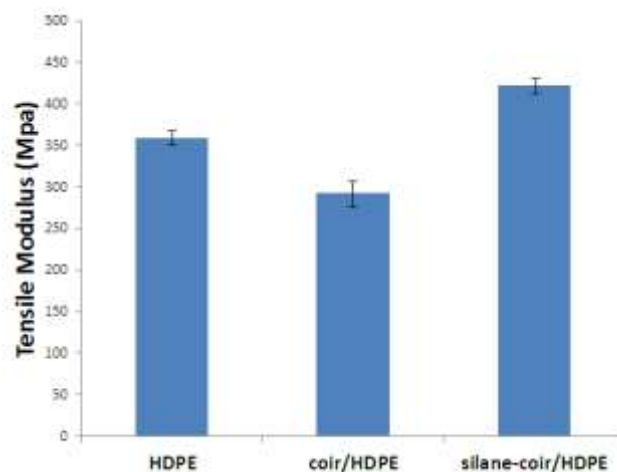
รูปที่ 6 สเปกตรัม FTIR ของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย $\text{H}_2\text{O}_2/\text{NaOH}$



รูปที่ 7 สเปกตรัม FTIR ของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysilyl) propylmethacrylate (MPS)

8. ศึกษาสมบัติเชิงกล

จากการวัดค่ามอดูลัสยัง พบว่าวัสดุผสม HDPE กับเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysilyl) propylmethacrylate (MPS) มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า HDPE และ HDPE ที่ผสมกับเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว โดย วัสดุผสม HDPE กับเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว มีค่า ค่ามอดูลัสยังเฉลี่ยเท่ากับ 292 MPa และมีค่าแรงสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 118 N วัสดุผสม HDPE กับเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysilyl) propylmethacrylate (MPS) มีค่ามอดูลัสยังเฉลี่ยเท่ากับ 423 MPa และแรงสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 130 N ดังนั้นความเข้ากันได้ของเส้นใยกับพอลิเมอร์ช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตได้ดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผล SEM ในรูปที่ 5 ที่ยืนยันว่าเส้นใยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysilyl) propylmethacrylate (MPS) เกิดพันธะกับ HDPE ได้มากขึ้น



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของ HDPE และวัสดุผสม HDPE กับเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและวัสดุผสม HDPE กับเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-(Trimethoxysilyl) propylmethacrylate (MPS)

สรุปผลการวิจัย

เส้นใยเซลลูโลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดไมครอน สามารถเตรียมได้ง่ายโดยปรับปรุงพื้นผิวด้วย 30 % (v/v) H_2O_2 ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและ 5% (w/v) NaOH ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสามารถกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้ซึ่งยืนยันผลด้วยเทคนิค FT-IR ซึ่งลักษณะเส้นใยที่ได้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเท่ากับ 18 ไมโครเมตร และมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 1154 ไมโครเมตร จากผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่าความเป็นผลึกของเส้นใยที่สกัดได้มีความเป็นผลึกมากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ ผ่านกระบวนการด้วยสารเคมี นอกจากนี้ได้ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลสด้วยการทำปฏิกิริยาระหว่าง 3-(Trimethoxysilyl)propylmethacrylate (MPS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรวมตัวระหว่างเส้นใยกับเนื้อสารพอลิเมอร์ดีขึ้น ซึ่งวัสดุผสมระหว่าง HDPE และเส้นใยเซลลูโลสที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MPS มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า HDPE และ HDPE ที่ผสมกับเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเริ่มต้นศึกษาสารเสริมแรง ซึ่งอาจต้องดัดแปลงพื้นผิวเพื่อให้เข้ากับพอลิเมอร์ได้ดีขึ้นเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลให้สูงขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนวิจัยจากกองทุนส่งเสริมการพัฒนางานศึกษา-วิจัย โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้ให้การสนับสนุนทั้งด้านทุนวิจัย สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส แซ่ด่าน สำหรับความอนุเคราะห์ใช้เครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer) และเครื่องทดสอบแรงดึง ที่ประกอบขึ้นเองโดยภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- A lves, C.; Ferrão, PMC.; Silva, AJ.; Reis, LG.; Freitas, M.; Rodrigues, LB.; Alves, DE. 2010 “Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites.” **J Cleaner Prod.** 18: 313–327.
- Kabir, MM.; Wang, H.; Lau, KT.; Cardona, F. 2012 “Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview” **Composite B.** 43: 2883–2892.
- Bledzki, A.K.; Gassan, 1999 “Composites reinforced with cellulose based fiber.” **J. Prog. Polym. Sci.** 24; 221–274.
- Geethamma, V.G.; Thomas Mathew, K.; Lakshminarayanan, R.; Thomas, 1998 “Composite of Short Coir Fibers and Natural Rubber: Effect of Chemical Modification , Loading and Orientation of Fiber” **Polymer.** 39; 1483-1491.
- Satyanarayana, K.G.; Sukumaran, K.; Kulkarni, A.G.; Pillai, S.G.K.; Rohatgi, P.K. 1986 “Fabrication and Properties of Natural Fiber-reinforced Polyester Composites” **Composites.** 17; 329-333.
- Sarki, J.; Hassan, S.B.; Aigbodion, V.S.; Oghenewweta, J.E. 2011 “Potential of Using Coconut Shell Particle Fillers in Eco-Composite Materials,” **J. Alloys Compd.** 509; 2381-2385.
- Rosa, M.F.; Chiou, B.S.; Medeiros, E.S.; Wood, D.F.; Williams, T.G.; Mattoso, L.H.C.; Orts, W.J.; Imam, S.H. 2009 “Effect of fiber treatments on tensile and thermal properties of starch/ethylene. vinyl alcohol copolymers/coir biocomposites” **Bioresource Technol.** 100; 5196-5202.
- Kakou, C.A.; Arrakhiz, F.Z.; Trokourey, A.; Bouhfid, R.; Qaiss, A.; Rodrigue, D. 2014 “Influence of a coupling agent content on the properties of high density polyethylene composites rein-forced with oil palm fibers” **Mater. Design.** 63; 641-649.
- Li, R.; Fei, J.; Cai, Y.; Li, Y.; Feng, J.; Yao, J. 2009 “Cellulose whiskers extracted from mulberry: A novel biomass production.” **Carbohydr Polym.** 76; 94–99
- Mulinari, D.R.; Baptista, C.A.R.P.; Souza, J. V. C.; Voorwald, H.J.C. 2011 “Mechanical Properties of Coconut Fibers Reinforced Polyester Composites” **Procedia Eng.** 10; 2074–2079.
- Abraham, E.; Deepa, B.; Pothan, L.A. ; Cintil, J.; Thomas, S.; John, M.J.; Anandjiwala, R.; Narine, S.S. 2013 “Environmental Friendly Method for the Extraction of Coir Fibre and Isolation of Nanofibre” **Carbohydr Polym.** 92; 1477-1483.
- Brigida, A.I.S.; Calado, V.M.A.; Goncalves, L.R.B.; Coelho, M.A.Z. 2010 “Effect of Chemical] Treatments on Properties of Green Coconut Fiber” **Carbohydr Polym.** 79; 832-838.

Abdelmouleh, M.; Boufi, S.; Belgacem, M.N.; Dufresne, A. 2007 “Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: effect of silane coupling agents and fibres loading” **Composites Sci. Tech.** 67; 1627-1639.