

สมบัติของเส้นใยใบสับประรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี Properties of pineapple-leaf fibers after chemical treatments

สิริวรรณ ลีศิริสรณ์^{1*}
Siriwan Leesirisan^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของเส้นใยจากใบสับประรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้วิธีสกัดด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 95°C และเวลาในการสกัดในช่วง 2 ถึง 4 ชั่วโมง ต่อจากนั้น นำเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR TGA XRD และ SEM FTIR สเปกตรัมชี้ว่าองค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลสได้ถูกขจัดออก DTG เทอร์โมแกรมบ่งชี้ว่าอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีนี้ มีค่าใกล้เคียงกับเส้นใยเซลลูโลสทางการค้า ส่วนข้อมูลจาก XRD ทำให้ทราบว่าเส้นใยมีความเป็นผลึกสูงขึ้น 56% เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ นอกจากนี้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่ได้มีการกระจายตัวแยกออกจากมัดเส้นใย

Abstract

This research studied properties of pineapple-leaf cellulose fibers after chemical treatments using various ratios of a mixture of sodium hydroxide and ethanol extracting solvent at 95°C and a treatment time duration between 2-4 hr. The treated fibers were then investigated using FTIR, TGA, XRD and SEM techniques. FTIR spectra indicated that non-cellulosic components were effectively eliminated. DTG thermograms showed that the temperature at the maximum weight loss of a treated fiber was closed to that of commercial available cellulose. In addition, XRD results indicated that the crystallinity index of the treated fiber was higher 56%, when compared to that of untreated fiber. Furthermore, SEM images revealed that the treated fibers were defibrillated from fiber bundles.

คำสำคัญ: ใบสับประรด เส้นใย การปรับสภาพ

Keywords: Pineapple-leaf, Fiber, Treatment

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author. E-mail address: Isiriwan@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

เป็นที่ทราบดีว่าเส้นใยจากพืชนอกจากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษแล้ว ยังสามารถนำไปใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ได้ เนื่องจากมีความแข็งแรง เส้นใยจากใบสับปะรดมีความต้านแรงดึงถึง 413-1,627 MPa ซึ่งสูงพอๆ กับเส้นใยที่ได้จากป่าน (345-1,500 MPa) [1,2] นอกจากนี้พืชแล้ว ชีวมวล (biomass) จากสิ่งเหลือทิ้งทางการเกษตรนับเป็นแหล่งของเส้นใยที่ดื่อกแหล่งหนึ่ง ที่ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โดยต้องนำมาจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกก่อนจะนำไปใช้ เนื่องจากองค์ประกอบหลักทางเคมีของพืชนอกเหนือจากเซลลูโลส ยังประกอบไปด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน โดยทั้ง เฮมิเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบที่มีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำกว่าเซลลูโลส ในกรณีของเส้นใย ใบสับปะรดมีเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ประมาณ 18 และ 17% ตามลำดับ [3] จากงานวิจัยของ Okubo, K. และคณะ [4] พบว่าเส้นใยไฟเบอร์ที่ผ่านการแยกลิกนินออก เมื่อนำไปใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน จะได้วัสดุประกอบที่มีความต้านแรงดึงและมอดูลัสสูงกว่าวัสดุประกอบที่ผสมด้วยเส้นใยที่ไม่ผ่านการแยกถึง 15 และ 30% ตามลำดับ นอกจากนี้ วิธีที่ใช้ในการเตรียมและสกัดเส้นใยจะส่งผลต่อสมบัติของเส้นใยและวัสดุที่ใช้เส้นใยเป็นส่วนประกอบ เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 wt% พบว่ามีความเรียบกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 wt% เมื่อศึกษาจากภาพถ่าย SEM และ AFM [5] กระดาษที่เตรียมจากเยื่อกระดาษที่ผ่านการต้มโดยใช้สารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ตามเทคนิคดั้งเดิม พบว่ามีค่าความต้านแรงดึงต่ำกว่ากระดาษที่ได้จากเยื่อชนิดเดียวกัน ที่ต้มโดยใช้สารละลายผสมระหว่างเอทานอลและด่างที่อุณหภูมิ 175°C [6] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของเส้นใยใบสับปะรดที่ปรับสภาพด้วยสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและไซเตียมไฮดรอกไซด์ และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพ

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

2.1.1 เส้นใยใบสับปะรด

2.1.2 ไซเตียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Merck จำกัด

2.1.3 เอทานอล (EtOH) บริษัท Merck จำกัด

2.2 วิธีศึกษาวิจัย

2.2.1 การปรับสภาพเส้นใย

2.2.1.1 นำเส้นใยใบสับปะรดที่ผ่านเครื่องรีดแยกกากใบและตากแห้งแล้ว มาตัดให้มีขนาดยาวประมาณ 1 นิ้ว ก่อนนำไปบำบัดด้วยเครื่องบดลดขนาด โดยใช้แรงขนาด 0.1μ

2.2.1.2 สกัดเส้นใยที่บดแล้วโดยใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายเอทานอล 50% (v/v) (E) และสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ 20% (w/v) (N) อัตราส่วน E:N = 1:0 1:0.3 1:0.8 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชม. เรียกโดยย่อว่า 0 0.3 และ 0.8 ตามลำดับ (หรือที่เวลาระบุอื่น) โดยใช้เครื่องสกัดแบบซอกท์เลทที่อุณหภูมิประมาณ 95°C

2.2.1.3 กรองและล้างเส้นใยด้วยสารละลายเอทานอล 50% (v/v) ตามด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง แล้วอบจนแห้ง

2.2.1.4 นำไปบดด้วยเครื่องบดลดขนาด โดยใช้แรงขนาด 0.1μ

2.2.2 การวิเคราะห์สมบัติของเส้นใย

2.2.2.1 เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FTIR) สเปกโทรสโกปี

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเส้นใยใบสับปะรดด้วยเทคนิค DRIFTS (Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy) โดยใช้เครื่อง FTIR ยี่ห้อ Bruker รุ่น Tensor 27 ช่วงเลขคลื่น $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ ความละเอียด 4 cm^{-1} จำนวนสแกน 16 สแกน

2.2.2.2 เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตรี (TG)

วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเส้นใยใบสับปะรดโดยใช้เครื่อง TGA ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 ให้ความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิ 30 ถึง 800°C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5°C/min ในบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน (20 mL/min)

2.2.2.3 เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

วิเคราะห์สมบัติความเป็นผลึกของเส้นใยใบสับปะรดโดยใช้เครื่อง WAXRDS ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance สแกนในช่วง 2θ (Bragg angle) 5 ถึง 80°C ความเร็วในการสแกน $0.01^\circ/\text{s}$

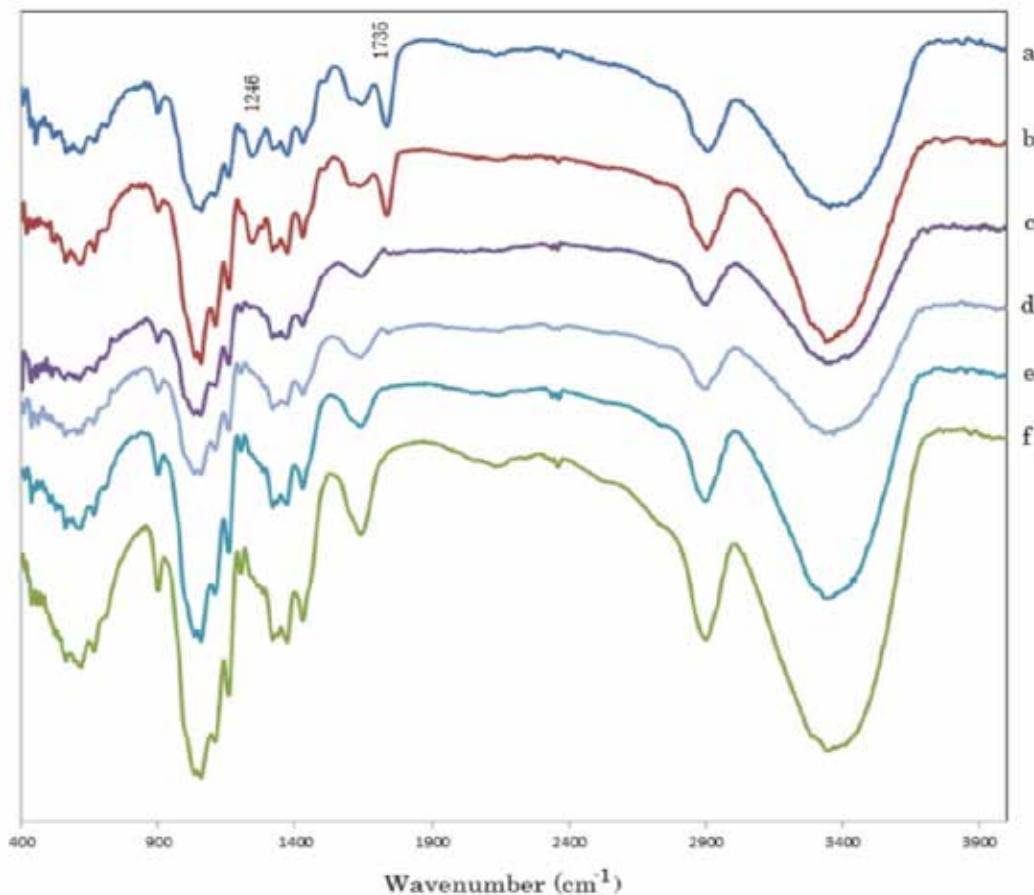
2.2.2.4 เทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี (SEM)

วิเคราะห์โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยใบสับปะรด โดยเคลือบพื้นผิวของเส้นใยด้วยอนุภาคทองคำโดยใช้เครื่อง Ion Sputter Coater เป็นเวลา 3 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในโหมด SEI ที่ 10 kV

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

เมื่อตีใบสับปะรดสดด้วยเครื่องรีดแยกกากใบ จะสามารถแยกส่วนที่เป็นเส้นใยที่อยู่ภายในกับส่วนที่เป็นกากสีเขียวออกจากกัน ภายหลังจากทำให้แห้งโดยการวางไว้ภายใต้แสงอาทิตย์ จะได้เส้นใยที่มีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อนำเส้นใยที่ได้ไปปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีที่สภาวะต่างๆ สมบัติของเส้นใยก่อนและหลังการปรับสภาพ เป็นดังนี้

3.1 สมบัติทางเคมี



รูปที่ 1 FTIR สเปกตรัมของเส้นใยก่อนปรับสภาพ a) และเส้นใยหลังปรับสภาพ b) 0; c) 0.8; d) 0.3_4hr; e) 0.3_3hr; f) 0.3

รูปที่ 1 แสดง FTIR สเปกตรัมของเส้นใยก่อนและหลังปรับสภาพ พีคที่ตำแหน่ง $3400-3340\text{ cm}^{-1}$ $2923-2906\text{ cm}^{-1}$ และ 900 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ O-H C-C และ C-O-C ตามลำดับ พีคที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ พีคที่ตำแหน่ง 1735 cm^{-1} แสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (C=O) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของหมู่อะซิติก ($\text{CH}_3\text{CO}-$) และหมู่เอสเทอร์ของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน และที่ตำแหน่ง $1508-1513\text{ cm}^{-1}$ และ 1246 cm^{-1} แสดงถึงพันธะ C-C ในวงแหวนอะโรมาติกของลิกนิน และพันธะ C-O ที่ประกอบกับหมู่แอริล (Ar) ของลิกนิน ตามลำดับ

ภายหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายอัตราส่วน 1:0 (b) FTIR สเปกตรัมของเส้นใยไม่แตกต่างจากเส้นใยก่อนปรับสภาพ ต่างจากการใช้สารละลายผสมระหว่างเอทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (c-f) ที่จะเห็นได้ว่าพีคที่ตำแหน่ง 1735 cm^{-1} หายไป และตำแหน่ง 1246 cm^{-1} มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ บ่งชี้ถึงการลดลงขององค์ประกอบของเส้นใยที่เป็นเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน

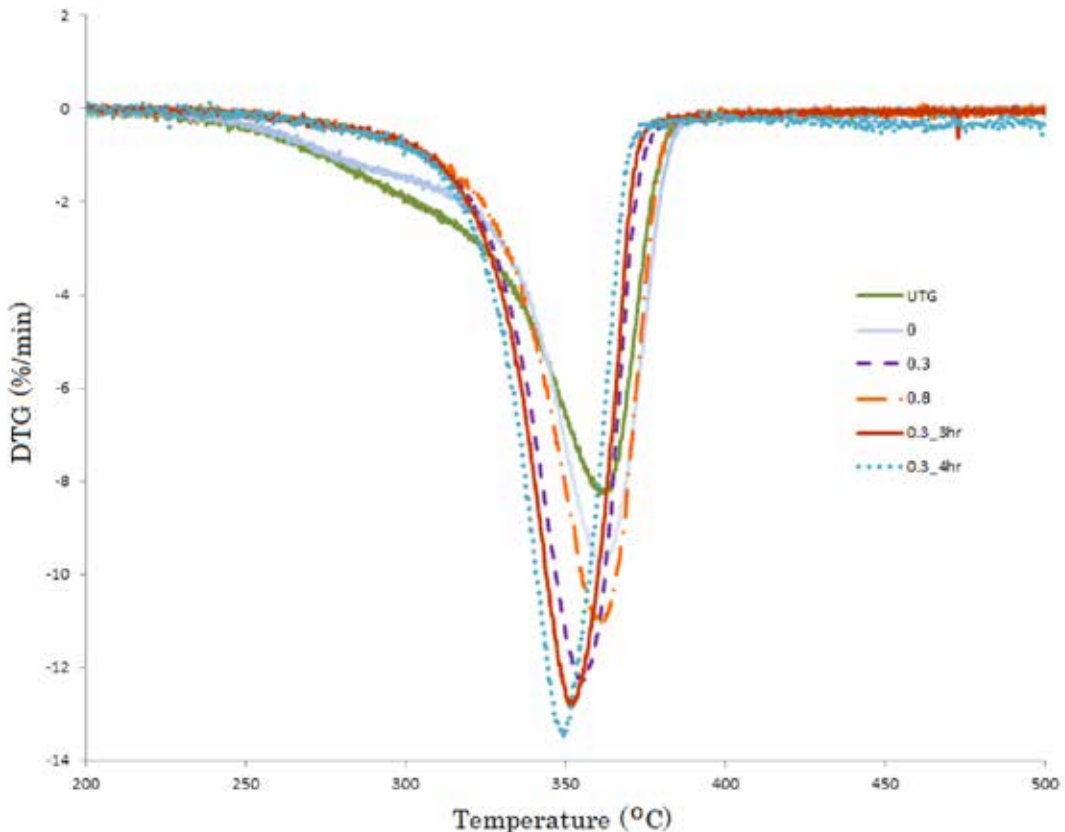
3.2 สมบัติทางความร้อน

เมื่อนำเส้นใยมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA เพื่อหาอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด (T_d) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ตำแหน่งปลายสุดของ DTG curve ดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 1 จากข้อมูลในตารางจะเห็นว่าเส้นใยก่อนปรับสภาพ (UTG) และที่ปรับสภาพด้วยสารละลาย 1:0 มีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกัน คือช่วงที่หนึ่งที่ประมาณ 240-310°C ซึ่งบ่งชี้ถึงการสลายตัวขององค์ประกอบที่เป็นเฮมิเซลลูโลส และช่วงที่สองที่ประมาณ 310-400°C บ่งชี้ถึงการสลายตัวของเซลลูโลส โดยอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดในช่วงที่สองของเส้นใยทั้งสองอยู่ที่ประมาณ 362°C

เส้นใยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายผสมจะมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนเฉพาะในช่วงที่สอง เมื่อใช้สารละลายผสม 1:0.8 อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของเส้นใย (360.7°C) มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับของเส้นใยก่อนปรับสภาพ สภาวะการปรับสภาพที่ทำให้ อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของเส้นใยลดลงอย่างเห็นได้ชัดชัดเจนคือ ที่สารละลายผสม 1:0.3 ระยะเวลา 2 ชม. และมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ที่เวลา 4 ชม. อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของเส้นใยมีค่าต่ำที่สุดเป็น 349.9°C

อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของลิกนินและเซลลูโลสทางการค้าที่ทำการศึกษากับด้วยเครื่อง TGA มีค่า 271.5°C และ 441.5°C และ 349.3°C ตามลำดับ [7] ดังนั้น การที่เส้นใยก่อนปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยสารละลายเอทานอล มีอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดที่สูงกว่าเส้นใยหลังปรับสภาพที่สภาวะอื่นๆ เป็นผลมาจากเส้นใยดังกล่าวมีปริมาณองค์ประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลสอยู่มากกว่า การที่อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของเส้นใย 0.3_4 hr (349.9°C) มีค่าใกล้เคียงกับของเซลลูโลสทางการค้า บ่งชี้ว่า สภาวะการปรับสภาพที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้มีความเหมาะสม ทำให้ได้เส้นใยที่มีปริมาณองค์ประกอบที่เป็นเซลลูโลสสูง

ความยากง่ายของการสลายตัวด้วยความร้อนของสารมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางโครงสร้างและทางเคมีของสารนั้น ในกรณีของเฮมิเซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วยแซกคาไรด์ต่างๆ เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซ-ไรส มีสายโซ่ที่มีกิ่งก้าน จัดเรียงตัวแบบไม่มีระเบียบ มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน จึงส่งผลให้แตกตัวได้ง่าย และปลดปล่อยแก๊สมีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำออกมา เป็นต้น [8] ต่างจากเซลลูโลส ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยกลูโคสต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ไม่มีกิ่งก้าน และจัดเรียงตัวเป็นระเบียบจึงสามารถทนความร้อนได้สูงกว่า ส่วนลิกนินมีโครงสร้างประกอบไปด้วยวงแหวนอะโรมาติก และมีกิ่งก้านมากมาย จึงมีการสลายตัวในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมาก



รูปที่ 2 DTG curve ของเส้นใยก่อนและหลังการปรับสภาพ

ตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใย

เส้นใย	อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด (T _d), °C
UTG	362.6
0	362.3
0.3	355.0
0.8	360.7
0.3_3 hr	352.2
0.3_4 hr	349.9

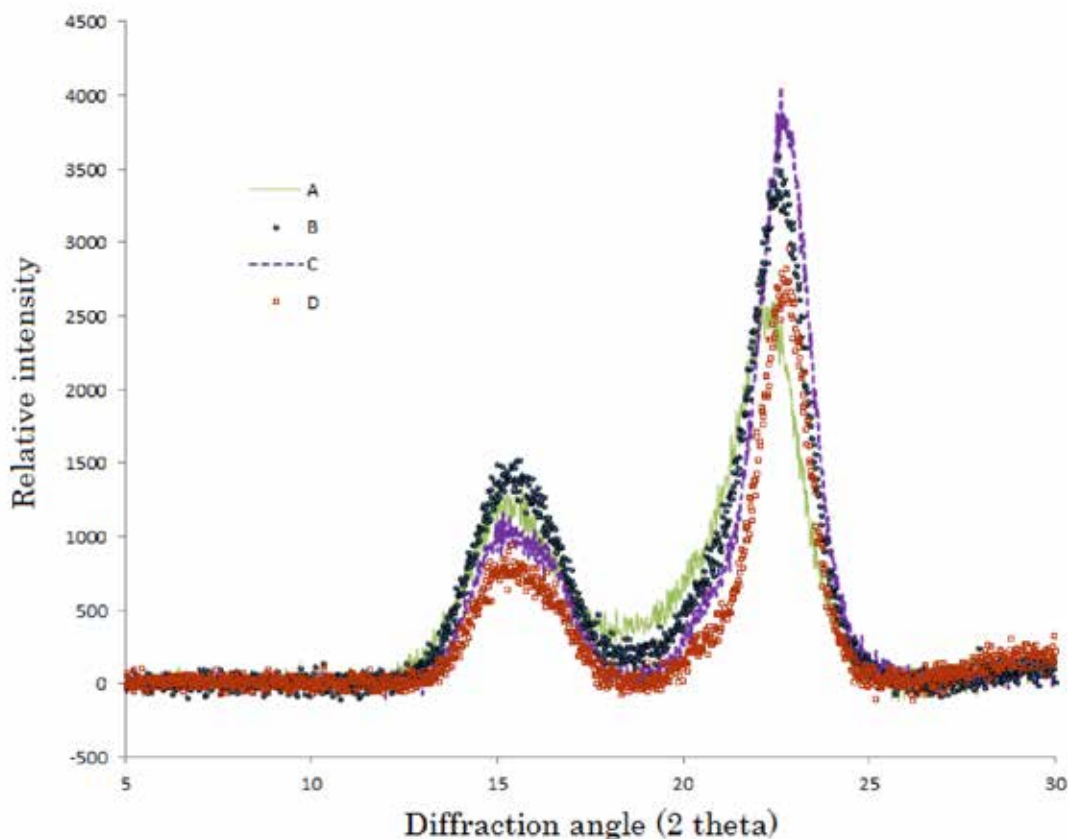
3.3 สมบัติทางโครงสร้างและความเป็นผลึก

3.3.1 เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

จาก XRD pattern ในรูปที่ 3 จะเห็นว่าเส้นใยก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีทั้งหมดแสดงพีคที่

diffraction angle ประมาณ 14.8°, 16.7° และ 22.9° เช่นเดียวกัน ซึ่งตรงกับ diffraction plane (101) (10-1) และ (002) ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้ชี้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส เส้นใยหลังการปรับสภาพยังคงมีโครงสร้างเป็นแบบเซลลูโลส I [9]

เมื่อคำนวณความเป็นผลึกโดยใช้เทคนิค deconvolution method ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเส้นใยก่อนการปรับสภาพมีค่าความเป็นผลึกเพียง 45.2% เมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายอัตราส่วน 1:0 ความเป็นผลึกมีค่าสูงขึ้น และเมื่อใช้สารละลายผสม 1:0.3 ระยะเวลา 4 ชม. ในการปรับสภาพ จะได้เส้นใยที่มีค่าความเป็นผลึก 70.5% สูงกว่าเมื่อใช้สารละลายอัตราส่วนเดียวกัน แต่เวลาสั้นลงครึ่งหนึ่ง โดยมีค่าสูงขึ้นประมาณ 56% เมื่อเทียบกับเส้นใยก่อนการปรับสภาพ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD สอดคล้องกับเทคนิค FTIR ที่ว่าสารละลายผสม 1:0.3 ระยะเวลา 4 ชม. เป็นสภาวะที่สามารถขจัดส่วนที่เป็น อัสตัญฐาน (เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน) ได้มากที่สุด ส่งผลให้เส้นใยมีความเป็นผลึกสูงสุด ความเป็นผลึกยิ่งสูง ยิ่งมีความแข็งแรง



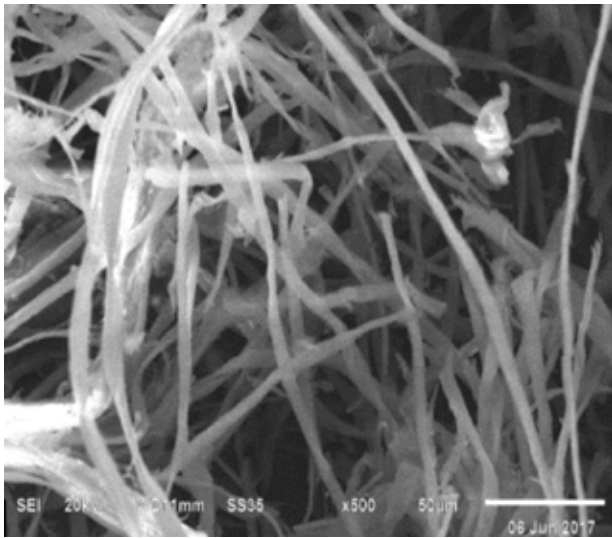
รูปที่ 3 XRD ดิฟแฟรกโตแกรมของ เส้นใยก่อนปรับสภาพ A) และเส้นใยหลังการปรับสภาพ B) 0; C) 0.3; D) 0.3_4hr

ตารางที่ 2 แสดงความเป็นผลึกของเส้นใย

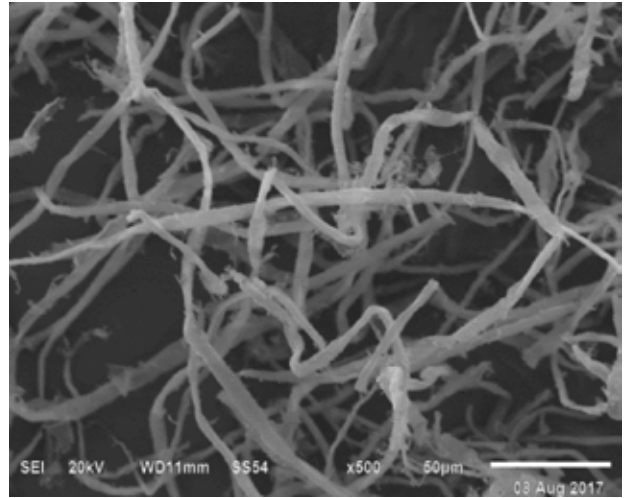
เส้นใย	Crystallinity index, (%)
UTG	45.2
0	58.9
0.3	70.2
0.3_4 hr	70.5

3.3.2 เทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี

เมื่อนำเส้นใยใบสับปะรดก่อนและหลังการปรับสภาพไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นว่าเส้นใยใบสับปะรดก่อนการปรับสภาพในรูปที่ 4 มีส่วนที่เกาะกันเป็นมัดเส้นใยขนาดใหญ่ ส่วนรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยหลังการปรับสภาพไม่ปรากฏลักษณะที่เป็นมัด ผลการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR และทางโครงสร้างด้วยเครื่อง XRD และยืนยันว่าองค์ประกอบที่เป็นลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่เป็นที่ฝังตัวของเส้นใยได้ถูกขจัดออก



รูปที่ 4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเส้นใย UTG



รูปที่ 5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเส้นใย 0.3_4hr

จากผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของเส้นใยพบว่าสารละลายเอทานอลและสารละลายไซเดียม ไฮดรอกไซด์ เมื่อใช้ร่วมกันมีประสิทธิภาพในการสกัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้ดีกว่าการใช้สารละลายเอทานอลเพียงอย่างเดียว โดยสารละลายที่มีสัดส่วน (ร้อยละ) ของสารละลายเอทานอลในสารละลายผสมสูงกว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ AKGUL, M. และ TOZLUOGLU, A. [10] ที่มีการเติมเอทานอลลงในสารละลายไซตาตัมเยื่อจากต้นฝ้าย โดยเอทานอลช่วยลดแรงตึงผิว (surface tension) ของสารละลายผสม ทำให้ต่างที่ใช้สามารถแทรกซึมเข้าไปผนังเซลล์ได้ดีขึ้น และช่วยให้ลิกนินละลายในสารละลายผสมได้ดีขึ้นด้วย [6] นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดทำให้สกัดได้มากขึ้น

4. สรุป (Conclusions)

จากผลการศึกษาวิจัยสภาพที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพเส้นใยใบสับปะรด เพื่อขจัดองค์ประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลส คือการใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และเอทานอล อัตราส่วน 1:0.3 โดยน้ำหนัก และระยะเวลา 4 ชม. ที่อุณหภูมิ 95°C เส้นใยที่ได้มีสมบัติทางความร้อนใกล้เคียงกับเซลลูโลสทางการค้า โดยอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของเส้นใยมีค่าเป็น 349.9°C

5. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] BISMARCK, A., S. MISHRA and T. LAMPKE. Plant fibers as reinforcement for green composites. In Mohanty, AK., Misra, M., and Drzal, LT. (Ed.). *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. New York : Taylor & Francis, 2005, pp. 37-108.

[2] PUJARI, S., A. RAMAKRISHNA and MS. KUMAR. Comparison of jute and banana fiber Composites : A review. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 2014, 121-126.

[3] วิทยา บันสุวรรณ. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุคอปที่ไม้ไผ่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. *การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36*. 3-5 กุมภาพันธ์ 2541. กรุงเทพฯ.

[4] OKUBO, K., T. Fujii and Y. Yamamoto. Development of bamboo-based composites and their mechanical properties. *Composites: part A*. 2004, 35(3), 377-383.

[5] RAJ, G., et al. *Interfacial studies of polylactic acid (PLA)/flax biocomposite: from model surface to fibre treatment* [online]. [viewed 10 December 2016]. Available from: <http://iccm-central.org/Proceedings/ICCM17proceedings/Themes/Materials/NATURAL%20FIBRE%20COMPOSITES/D9.2%20Raj.pdf>

[6] SAHIN, H.T. Base-catalyzed organosolv pulping of jute. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2003, 78, 1267-1273.

[7] SINGH, K., et al. Determination of composition of cellulose and lignin mixtures using thermogravimetric analysis (TGA), 15th *North American Waste to Energy Conference*, May 21-23, 2007, Miami, Florida USA.

[8] YANG, H., et al. Characteristic of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 2007, 86, 1781-1788.

[9] KUSUMATTAQIIN, F. Preparation and characterization of microcrystalline cellulose (MCC) by acid hydrolysis using microwave assisted method from cotton wool. *Macromolecule Symposium*. 2015, 354, 35-41.

[10] AKGUL, M. and A. TOZLUOGLU. Alkaline-ethanol pulping of cotton stalks. *Scientific Research and Essays*. 2010, 5(10), 1068-1074.