

รหัสโครงการ [SUT-7-710-48-12-16]



รายงานการวิจัย

การเตรียมเส้นใยป่านศรนารายณ์สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต:
พอลิโพรพิลีนคอมโพสิต อีพอกซีคอมโพสิต และคอมโพสิต
จากพอลิเอสเทอร์แบบไม่อิ่มตัว

(Preparation of Sisal Fiber for Polymer Composites: Polypropylene,
Epoxy, and Unsaturated Polyester Composites)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การเตรียมเส้นใยป่านศรนารายณ์สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต:
พอลิโพรพิลีนคอมโพสิต อีพอกซีคอมโพสิต และคอมโพสิต
จากพอลิเอสเทอร์แบบไม่อิ่มตัว

(Preparation of Sisal Fiber for Polymer Composites: Polypropylene,
Epoxy, and Unsaturated Polyester Composites)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์
สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษมา จารุกำจร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุภาพร รัศกุลพิวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิธินาถ ศุภกาญจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราณี ชุมสำโรง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2548

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน/2553

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการวิจัยโครงการ “การเตรียมเส้นใยปานครนารายณ์สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต: พอลิโพรพิลีนคอมโพสิต อีพอกซีคอมโพสิต และคอมโพสิตจากพอลิเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว” ครั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สภาวิจัยแห่งชาติ ผู้สนับสนุนทุนวิจัย (ปีงบประมาณ 2548) และขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการสนับสนุนการดำเนินงานของโครงการวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน และ เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารประสาน ไชเลน 3 ชนิด คือ 3-aminopropyltriethoxysilane (APES) 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS) และ octadecyltrimethoxysilane (OTMS) โดยศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล การดูดซับน้ำ และลักษณะนิเวศของพื้นผิว เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อเตรียมพอลิเมอร์คอม โพลีท ได้แก่ พอลิโพรพิลีนคอม โพลีท อีพอกซีคอม โพลีท และคอม โพลีทจากพอลิเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว

การทำความสะอาดเส้นใยป่านศรนารายณ์ ด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม ระหว่างเบนซีนและเมทานอลจะช่วยลดสารจำพวกไขมันและสารที่มีน้ำหนัก โมเลกุลต่ำ ทำให้ อุณหภูมิการเสื่อมสลายเริ่มต้น (onset) ของเส้นใยเพิ่มขึ้น เมื่อนำเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อด้วยการทำ อัลคาไลน์เซชันจะเป็นการกำจัดเอมิเซลลูโลสออกจาก เส้นใยมีผลทำให้จุดเริ่มของอุณหภูมิที่เส้นใยเริ่มเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนเพิ่มขึ้น ในการศึกษา นี้พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ ที่ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เหมาะสมกว่า ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และระยะเวลาที่เหมาะสม คือ 2 ชั่วโมง โดยที่ความทนต่อ แรงดึงของเส้นใยจะเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่เดียวกันมอดูลัสของยังก์จะลดลงแต่ลดลงในสัดส่วนที่น้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของความทนต่อแรงดึง การสกัดเส้นใยด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์-เซชัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ

เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 1) APES 2) MPTS และ 3) OTMS จะทำให้ จุดเริ่มต้นของอุณหภูมิที่เส้นใยเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ทำให้ความทนต่อ แรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วย 1) APES 2) MPTS และ 3) OTMS คือ 24 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้โดยดูจาก ค่าความทนต่อแรงดึงเป็นสำคัญ เนื่องจากมอดูลัสของยังก์และความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปลี่ยนระยะเวลาการปรับสภาพ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยสาร ประสาน ไชเลน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสาน ไชเลนบางชนิดจะช่วยในการดูดซับน้ำของเส้น ใยลดลงเล็กน้อย

Abstract

In this research, sisal fibers were extracted with solvent mixture, alkalized, and then silane treated. Three types of silane were used, aminopropyltriethoxysilane (APES) 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS), and octadecyltrimethoxysilane (OTMS). Thermal properties, tensile properties, water absorption, surface morphology, and diameter of the sisal fibers after the solvent extraction, alkalization, silane treatments were comparatively investigated. The basic knowledge obtained from the study would be further used for preparing polymer composites such as polypropylene, epoxy, and unsaturated polyester composites.

It was found that cleaning sisal by solvent mixture, benzene and methanol, reduced wax and low molecular weight compounds from the fibers. After cleaned for 3 hr and alkali-treated, some hemicellulose and lignin were extracted out of the fibers. These resulted in higher onset temperature of fiber degradation. For this study, the suitable alkali concentration was 2 wt% with treatment time of 2 hr. After the treatment, solvent cleaning and alkalization, tensile strength of the fibers was improved but young's modulus gradually decreased. There was no significant change of fiber diameter observed after the treatment.

When sisal was treated with 3-aminopropyltriethoxysilane (APES), 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS) and octadecyltrimethoxysilane (OTMS), the initial degradation temperature of the treated fibers did not change. The suitable treatment times for treating with APES, MPTS and OTMS, were 24, 3 and 3 hr, respectively, according to the improvement of tensile strength as a function of treatment time. The silane treatments had no significant effect on the fiber diameters but a little bit improved their water absorption.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	ฎ
บทที่ 1 บทนำ ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย และการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (reviewed literature)	1
1.2 วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของโครงการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิด (Conceptual Framework)	2
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	8
2.1 ระเบียบวิธีวิจัย	8
2.2 วัสดุคืบและสารเคมี	8
2.3 วิธีการทดลอง	8
2.3.1 การเตรียมเส้นใยป่านสรนารายณ์ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม	8
2.3.2 การสกัดเส้นใยป่านสรนารายณ์ด้วยตัวทำละลายผสม	9
2.3.3 การทำอัลคาไลน์เซชัน	9
2.3.4 การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านสรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลน	9
2.3.5 การทดสอบสมบัติของเส้นใยป่านสรนารายณ์	10
บทที่ 3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	12
3.1 เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม	12
3.1.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่าน	12
3.1.2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่าน	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน	15
3.2.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่าน	15
3.2.2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่าน	18
3.3 เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารประสานโซเลนชนิดต่าง ๆ (หลังจากเส้นใยผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน)	20
3.3.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-aminopropyltriethoxysilane (APES)	20
3.3.2 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS).....	20
3.3.3 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย octadecyltrimethoxysilane (OTMS)	20
3.3.4 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-aminopropyltriethoxy- silane (APES)	24
3.3.5 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS).....	24
3.3.6 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย octadecyltrimethoxysilane (OTMS)	24
3.4 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	26
3.5 สมบัติทางกลของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	27
3.5.1 สมบัติทางกลเส้นใยป่านที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน	27
3.5.2 สมบัติทางกลเส้นใยป่านที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-aminopropyltriethoxysilane (APES).....	28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.3 สมบัติทางกลเส้นใยป่านที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-
methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS)..... 30

3.5.4 สมบัติทางกลเส้นใยป่านที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย
octadecyltrimethoxysilane (OTMS) 32

3.6 สมบัติการดูดซับน้ำของเส้นใยป่านสรนารายณ์..... 34

บทที่ 4 บทสรุป..... 37

4.1 สรุปผลการทดลอง 37

4.2 ข้อเสนอแนะ..... 38

บรรณานุกรม 39

ภาคผนวก ก 40

ประวัติผู้วิจัย..... 42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	3
1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	4
1.3 ตัวอย่างของสารประสานไซเลนที่ใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับ พอลิโพรพิลีนคอมโพสิท อีพอกซีคอมโพสิท และ คอมโพสิทจากพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว.....	6
3.1 แสดงขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (NP) เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง.....	26
3.2 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (NP) เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง.....	34
3.3 แสดงปริมาณการดูดซับน้ำหลังจากการแช่เป็นเวลา 1 วัน ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (NP) เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง.....	36

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เป็นเวลา 1 2 3 4 และ 6 ชั่วโมง.....	13
3.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เป็นเวลา 1 2 3 4 และ 6 ชั่วโมง	14
3.3 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยทำละลายผสม 3 ชั่วโมง และผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง	16
3.4 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยทำละลายผสม 3 ชั่วโมง และผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง	17
3.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม 3 ชั่วโมง และผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง	18
3.6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม 3 ชั่วโมง และผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง	19
3.7 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยด้วยสารประสานไฮลีน APES เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง	21
3.8 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยด้วยสารประสานไฮลีน MPTS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9	กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยด้วยสารประสานไซเลน OTMS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง..... 23
3.10	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน APES เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง 24
3.11	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน MPTS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง 25
3.12	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน OTMS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง 25
3.13	กราฟแสดงความทนต่อแรงดึง (a) โมดูลัสของยังก์ (b) และ ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (c) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน (NP) และผ่าน (SB) การสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย APES เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง 29
3.14	กราฟแสดงความทนต่อแรงดึง (a) โมดูลัสของยังก์ (b) และ ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (c) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน (NP) และผ่าน (SB) การสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย MPTS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง 31
3.15	กราฟแสดงความทนต่อแรงดึง (a) โมดูลัสของยังก์ (b) และ ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (c) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน (NP) และผ่าน (SB) การสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย OTMS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง 33

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

3.16 กราฟแสดงปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วย
 ตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการ
 ทำอัลคาไลน์เซชัน และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซ
 เลนชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง35

คำอธิบายคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

APES	3-aminopropyltriethoxysilane
CL	เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน
MPTS	3-methacryloxypropyltrimethoxysilane
NP	เส้นใยที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม
OTMS	octadecyltrimethoxysilane
SB	เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม
SEM	Scanning electron microscope
TGA	Thermogravimetric Analysis

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย และการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง (reviewed literature)

ปัจจุบันในต่างประเทศได้มีความพยายามในการนำเส้นใยธรรมชาติ มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง ด้วยเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เส้นใยธรรมชาติที่มีการศึกษาวิจัย เช่น เส้นใยจากปอควิวา (kenaf) ปอกระเจา (jute) ปอแก้ว (rosellis) ปอลินิน (flax) กัญชง (hemp) ป่านศรนารายณ์ (sisal) ฝ้าย (cotton) ไม้ไผ่ (bamboo) หญ้าแฝก (vetiver grass) ต้นกล้วย (banana bast) ปาล์ม (palm) กาบมะพร้าว (coir) เป็นต้น ซึ่งเส้นใยเหล่านี้บางชนิดสามารถหาได้ในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยแล้วแต่ประเภทและพันธุ์ [1-6]

ประเทศไทยมีการนำเอาเส้นใยธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มนอกเหนือจากการส่งออกในรูปผลิตภัณฑ์การเกษตรน้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยแทบจะไม่ได้ใช้ประโยชน์จากสมบัติเชิงกลที่ดีของเส้นใยธรรมชาติที่มีอยู่ ในฐานะที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกเส้นใยธรรมชาติ รายใหญ่รายหนึ่งของโลกและสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศ แต่มีปัญหาในเรื่องของความผันผวนของราคาในตลาดโลก [7] ดังนั้น แนวทางการนำเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมให้มากขึ้นน่าจะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเส้นใยธรรมชาติอีกทางหนึ่งและยังเป็นการนำเอาสมบัติที่ดีของเส้นใยธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย แนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ในการเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยธรรมชาติในประเทศไทย คือ การนำมาผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิต

ประเทศไทยเริ่มมีการปลูกป่านศรนารายณ์เพื่อการค้าตั้งแต่ปี 2517 โดยในปี 2539 มีพื้นที่ปลูกทั้งหมดประมาณ 3,270 ไร่ เกือบทั้งหมดของพื้นที่อยู่ในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่เหลือมีพื้นที่ปลูกในอำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และอำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผลิตได้ทั้งหมดประมาณร้อยละ 60 ใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศ และมีการนำเข้าจากต่างประเทศอีกร้อยละ 40 โดยนำเข้าจากจีน ไต้หวัน และฟิลิปปินส์ ปัจจุบันพื้นที่ปลูกป่านศรนารายณ์ลดลงอย่างมากเหลือพื้นที่เพียง 1,500 ไร่ เนื่องจากเกษตรกรประสบกับปัญหาหลายประการ ทั้งปัญหาเรื่องการรับซื้อของโรงงาน โดยเกษตรกรจะขายเส้นใยแห้งให้โรงงานอุตสาหกรรมทำเชือกป่านได้ในราคา กิโลกรัมละ 20 บาท การขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยว รวมทั้งการเปลี่ยนไปปลูกพืชชนิดอื่น ๆ ที่เกษตรกรเห็นว่าง่ายและมีรายได้มากกว่า [8]

จากสมบัติเชิงกลที่เด่นของเส้นใยป่านศรนารายณ์เมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ ประกอบกับการปลูกอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา ทำให้คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาและนำเอาเส้นใยป่านศรนารายณ์มาใช้ผลิตพอลิเมอร์คอม โพลีท ซึ่งหากการวิจัยพัฒนาในการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ผลิตพอลิเมอร์คอม โพลีทประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ จะช่วยลดปัญหาเรื่องราคาการรับซื้อจากโรงงานเป็นการจูงใจให้เกษตรกรหันมาปลูกป่านศรนารายณ์เพิ่มขึ้นทดแทนการนำเข้าเส้นใยจากต่างประเทศ จะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของรายได้ในภาคเกษตรกรรม ทั้งในรูปของการเพิ่มตลาดและการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตผลทางเกษตร เป็นการลดต้นทุนในการผลิตแก่ภาคอุตสาหกรรมเนื่องจากราคาเส้นใยป่านศรนารายณ์ราคาต่ำกว่าเส้นใยแก้ว (คิดเป็น 18% ของราคาเส้นใยแก้ว [9]) เป็นการรักษาสິงแวดล้อมโดยการลดปริมาณขยะพลาสติกและประหยัดพลังงาน และท้ายที่สุดได้องค์ความรู้ใหม่ที่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืนที่เน้นการใช้ประโยชน์จากผลิตผลทางการเกษตรของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของโครงการวิจัย

เพื่อให้ได้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับพอลิเมอร์คอม โพลีทที่ใช้เมทริกซ์เป็น พอลิโพร พิลีน อีพอกซีเรซิน และ พอลิเอสเตอร์แบบไม่อิมตัว

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เป็นพื้นฐานในการวิจัยต่อไปสำหรับเตรียมพอลิเมอร์คอม โพลีทซึ่งใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นวัสดุเสริมแรงหรือสารตัวเติม เพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์
- เป็นการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุของประเทศอย่างต่อเนื่อง
- เป็นการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ให้สามารถเริ่มการวิจัยและพัฒนาได้ และดำเนินการวิจัยต่อไปได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว
- เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เส้นใยป่านศรนารายณ์

1.4 ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิด (Conceptual Framework)

ป่านศรนารายณ์ (*Agave Sisalana*) เป็นพืชเศรษฐกิจ ลักษณะใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยวเส้นใยาว มีปริมาณของเส้นใยระหว่าง 3.5-5% เส้นใยมีลักษณะแข็ง เป็นเยื่อชั้นในของเปลือกไม้ ความยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ประมาณ 1.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1.1 [10] ผลผลิตเส้นใยป่านศรนารายณ์ประมาณครึ่งหนึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเชือก เนื่องจากมีสมบัติพิเศษ คือ ไม่ลื่น มีการยึดหดตัวน้อย และทนทานมากเมื่อถูกน้ำ นอกจากนั้น นำไปใช้ทำเยื่อกระดาษ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกขัดสำหรับขัดโลหะที่ซูปโครเมียมให้เป็นเงางาม ใช้ในการทำหัตถกรรม ได้แก่ หมวก กระเป๋า เข็มขัด รองเท้า และไม้กวาด หรือนำไปผสมในวัสดุก่อสร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแต่มิให้น้ำหนักเบา เช่น ฝ้า เพดาน และฝ้าผนัง เส้นใยป่านศรนารายณ์มีความแข็งแรงเชิงกลดีกว่าเส้นใยจาก ปอ

กระเจา (jute) ปอติณีน (flax) กัญชง (hemp) และ ฝ้าย (cotton) โดยมีความทนต่อการดึงยึด (tensile strength) 511-635 MPa มีค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) 9.4-22.0 GPa และสามารถดึงยึดก่อนขาดได้ (elongation at break) 2.0-2.5% (ตารางที่ 1.1) [9] องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ประกอบด้วย เซลลูโลสประมาณ 78% เฮมิเซลลูโลส 10% ลิกนิน 8% และอื่น ๆ เช่น ไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 1.2 [9-12]

เนื่องจากความหมายของคำว่าเส้นใยสามารถตีความได้หลายระดับ สำหรับในงานวิจัยนี้ในการนิยามความหมายของโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลส จะแบ่งออกเป็นระดับโครงสร้างต่าง ๆ ดังนี้ คือระดับโมเลกุล (molecular level) ระดับซูเปอร์โมเลกุล (super-molecular level) ซึ่งรวมโครงสร้างผลึกพื้นฐาน (elementary crystallites) และไฟบริล (fibrils) และระดับสัณฐานวิทยา (morphological level) ซึ่งรวมไมโครไฟบริล (micro fibrils) แม็คโครไฟบริล (macrofibrils) และ เส้นใย (fibers) (ซึ่งเป็นความหมายของคำว่าเส้นใยในงานวิจัยนี้) โครงสร้างผลึกพื้นฐานซึ่งมีความยาว 10-20 นาโนเมตร จะประกอบด้วยโมเลกุลของเซลลูโลส และโครงสร้างผลึกพื้นฐานรวมกันเป็นไมโครไฟบริลมีความยาวไม่เกิน 100 ไมครอน ซึ่งไมโครไฟบริลรวมกันเป็นแม็คโครไฟบริลที่มีความยาวประมาณ 100 ไมครอน ส่วนเส้นใยเป็นการรวมกันของแม็คโครไฟบริลมีความยาวอยู่ในระดับมิลลิเมตร [13]

ตารางที่ 1.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์ [10]

คุณสมบัติ	
Specific gravity	1.327
Fiber length, mm	1200 – 1500
Fiber diameter, mm	0.15 – 0.20
Water content, percent	8.7-10
Water absorption, percent	170
Ultimate tensile strength, N/mm ²	245
Modulus of elasticity, kN/mm ²	13
Ultimate bond strength, N/mm ²	0.45
Elongation at break, percent	3
Critical length, mm	74
Density, kg/m ³	1450

ตารางที่ 1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ [9]

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
เซลลูโลส	65.8
เฮมิเซลลูโลส	12.0
เพกติน	0.8
ลิกนิน	9.9
องค์ประกอบที่ละลายน้ำ	1.2
ไขมัน (wax)	0.3
น้ำ	10.0

เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติทางกายภาพที่เป็นข้อด้อยอยู่ 2 ประการ คือ ความเสถียรต่อความร้อนและปริมาณความชื้น ซึ่งโดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ไม่เกิน 240°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เส้นใยจะเกิดการเสื่อมสภาพ (degradation) ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิการขึ้นรูปพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติที่ต้องจำกัดอยู่ที่อุณหภูมิไม่เกินอุณหภูมิการเสื่อมสภาพของเส้นใย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 5-10% โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณความชื้นของเส้นใยจะส่งผลต่อความเสถียรของรูปร่างของพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น ทำให้คอมโพสิตเกิดการบวมตัวซึ่งส่งผลต่อการลดลงของสมบัติเชิงกล นอกจากนี้ความชื้นยังส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดรอยโหว่ขึ้นได้ ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อลดหรือกำจัดปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อพอลิเมอร์คอมโพสิต

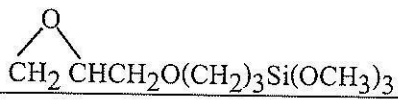
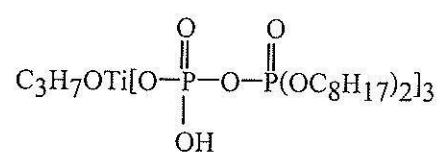
สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตนอกจากจะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของเส้นใยแล้วยังขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้ระหว่างผิวหน้า (interfacial compatibility) ของพอลิเมอร์เมทริกซ์ (polymer matrix) และวัสดุเสริมแรง พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์สำหรับวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติมีทั้งชนิดเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์โดยทั่วไปได้แก่ อีพอกซี, พอลิเอสเทอร์แบบไม่อิ่มตัว, และ ฟีนอลิก ส่วนเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ได้แก่ พอลิเอทิลีน, พอลิโพรพิลีน และ พอลิสไตรีน พอลิเมอร์เหล่านี้มีอันตรกิริยา (interaction) กับผิวหน้าเส้นใยที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์ เส้นใยเซลลูโลสมีความเป็นขั้วสูงและสามารถดูดน้ำได้ในปริมาณมาก จึงเข้ากันได้ยาก (incompatible) กับพอลิเมอร์ชนิดไม่มีขั้ว เช่น พอลิเอทิลีน และ พอลิโพรพิลีน จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างผิวหน้า (interface) ของพอลิเมอร์และเส้นใยและเพื่อลดปริมาณการดูดน้ำ [2, 14-16] การที่พอลิเมอร์มีการยึดติดที่ดีกับผิวหน้าเส้นใยจะส่งผลดีต่อกระบวนการส่งผ่านความเค้น (stress transfer) ระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยซึ่งทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีประสิทธิภาพเชิงกลที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวที่ดีของเส้นใยในเมทริกซ์ ซึ่งจะส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ

วิธีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งคือการปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมี (chemical modification) ได้แก่ อัลคาไลน์ทรีทเมนต์ (alkaline treatment) และการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน $[R-Si(OR')_3]$ นอกจากสองวิธีดังกล่าวนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกเช่น การกราฟท์เส้นใยด้วยวิธีโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (graft copolymerization) [9, 17-21] การทำอิมเพกเนชัน (impregnation) [9] การทำไซยาโนเอทิลชัน (cyanoethylation) [22] การทำอะเซทิลชัน (acetylation) [9] และการทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟอสฟอเนต [23]

การทรีทเมนต์ด้วยอัลคาไลน์หรือการทำเมอเซอไรเซชัน (mercerization) หมายถึงกระบวนการทรีทเมนต์เส้นใยจากพืช (vegetable fiber) ด้วยสารละลายอัลคาไลน์ (alkaline solution) ของเบสแก่ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้นสูงพอประมาณ (~30%) เส้นใยจะเกิดการบวมพอง (swelling) และส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ขนาด สัณฐานวิทยา และ สมบัติเชิงกล ซึ่งประสิทธิภาพของการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และ ระยะเวลา ของการทรีทเมนต์ [9] การทรีทเมนต์เส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายอัลคาไลน์จะทำให้ลิกนิน (lignin) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) หลุดออกจากเส้นใย ซึ่งส่งผลต่อความทนแรงดึงของเส้นใย การที่เฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดออกไปส่วนของโครงสร้างระหว่างเส้นใยไฟบริล (interfibrillar) ทำให้บริเวณนั้นมีความหนาแน่นและมีความแข็งเกร็ง (rigidity) ลดลง จึงทำให้เส้นใยไฟบริล (fibril) ที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยเซลลูโลสสามารถที่จะเรียงตัวตามทิศทางของการดึง (tensile deformation) เมื่อทดสอบความทนต่อแรงดึงของเส้นใยเซลลูโลสความสามารถในการจัดเรียงตัวใหม่ของเส้นใยไฟบริลจะทำให้แต่ละเส้นใยมีส่วนช่วยในการรับน้ำหนักได้ดีขึ้นและในสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน จึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสทนต่อแรงดึงได้ดีขึ้น การทรีทเมนต์ด้วยอัลคาไลน์ซึ่งมีผลทำให้โครงสร้างระหว่างเส้นใยไฟบริลอ่อนตัวลงจะส่งผลให้มีการถ่ายโอนความเค้นได้ดีระหว่างเส้นใยองค์ประกอบ

การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยสารประสานไซเลน $[R-Si(OR')_3]$ สามารถออกแบบหมู่อัลคิล (R) ของสารประสานไซเลนให้เกิดอันตรกิริยาเชิงเคมีหรือเชิงกายภาพ (chemical interaction or physical interaction) กับพอลิเมอร์เมทริกซ์ของวัสดุคอมโพสิต ในขณะที่หมู่อัลคอกซี (OR') ของไซเลนจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสภาวะที่มีน้ำเกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิล ($-Si-OH$) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวหน้าเส้นใย ไซเลนจึงทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวเชื่อมทางเคมีหรือทางกายภาพระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์

ตารางที่ 1.3 ตัวอย่างของสารประสานไซเลนที่ใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับ พอลิโพรพิลีนคอมโพสิต อีพอกซีคอมโพสิต และ คอมโพสิตจากพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว [24]

หมู่ฟังก์ชัน	โครงสร้างเคมี	ชนิดของเมทริกซ์
Vinyl	$\text{CH}_2=\text{CHSiCl}_3$ $\text{CH}_2=\text{CHSi}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$	Polyethylene, PE, PP
Epoxy		Epoxy
Methacrylate	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$	Unsaturated polyesters, PP,
Amine	$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ $\text{HN}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$	Unsaturated polyesters
Cationic styryl	$\text{CH}_2\text{CHC}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{H}^+\text{H}_2$ $(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3\text{Cl}^-$	All polymers
Phosphate (titanate)		Polyolefins

สารประสานไซเลนที่เหมาะสมในการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติสำหรับพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต ได้แก่ อัลคิลไซเลน (alkylsilane) ไวนิลไซเลน (vinylsilane) เมทาคริเลตไซเลน (methacrylatesilane) และ ฟอสเฟตไซเลน (phosphatesilane) สารประกอบอัลคิลไซเลนประกอบด้วยส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่เข้ากันได้ดีกับสายโซ่โมเลกุลของพอลิโพรพิลีนจึงทำให้พอลิเมอร์เมทริกซ์สามารถ wet ผิวหน้าของเส้นใยได้ดีขึ้น ส่วนไวนิลไซเลนสามารถเกิดพันธะเคมีกับพอลิโพรพิลีนได้โดยอาศัยหมู่ไวนิล [9] ไซเลนที่เหมาะสมสำหรับอีพอกซีคอมโพสิต คือ อีพอกซีไซเลน (epoxysilane) และอะมิโนไซเลน (aminosilane) จากการศึกษาพบว่าสารประสานไซเลนช่วยปรับปรุงความทนต่อการดึงยึดของวัสดุอีพอกซีคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านสรนารายณ์ได้ถึง 25% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไซเลนที่ใช้ การทรีทเมนต์เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการทรีทเมนต์ด้วยอัลคาไลน์ด้วยแกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (γ -aminopropyltriethoxysilane) จะช่วยลดการดูดน้ำของวัสดุคอมโพสิตระหว่างอีพอกซีและป่านสรนารายณ์ [9] ส่วนไซเลนที่เหมาะสมสำหรับคอมโพสิตจากพอลิเอสเทอร์แบบไม่อิ่มตัว ได้แก่ เมทาคริเลตไซเลน และ อะมิโนไซเลน สำหรับแคทไอออนิกสไตริลไซเลนสามารถใช้ได้กับคอมโพสิตจากพอลิเมอร์เมทริกซ์ทุกประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1.3 [24]

เส้นใยธรรมชาติที่นำมาใช้ในพอลิเมอร์คอมโพสิตมีหลายรูปแบบเช่นในรูปของ เส้นใย (fibers) เส้นด้าย (yarn) ผ้าทอ (woven fabrics) หรือผ้าไม่ทอ (nonwoven fabrics) เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ได้จากกลุ่มเกษตรกร (อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา จะอยู่ในรูปของเส้นใย เส้นใยควรได้รับการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมี และรูปแบบให้เหมาะสมในการนำไปผลิตพอลิโพรพิลีนคอมโพสิต อีพอกซีคอมโพสิต และ คอมโพสิตจากพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว การทำความสะอาดเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีด้วยตัวทำละลายจะช่วยกำจัดสิ่งสกปรกและไขที่อยู่บนเส้นใย [9] ในงานวิจัยนี้เส้นใยป่านศรนารายณ์จะใช้ในรูปของเส้นใยสั้นและผืนผ้าที่ได้จากการทอ

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ระเบียบวิธีวิจัย

เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ใช้ในการศึกษาจะอยู่ในรูปของเส้นใยยาว โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบเส้นใยที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวและปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานโซเลนต่างชนิดกัน จำนวน 3 ชนิด เพื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติเบื้องต้นก่อนนำไปใช้ในขบวนการการผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตต่อไป

2.2 วัสดุดิบและสารเคมี

- เส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้จะใช้เส้นใยที่มีอยู่ในประเทศไทย ซึ่งซื้อจากกลุ่มแม่บ้านหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ต.บ้านเก่า อ. ด่านขุนทด จ. นครราชสีมา
- เมทิลแอลกอฮอล์ (methanol: commercial grade)
- เบนซีน (benzene: commercial grade)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: Merck)
- 3-aminopropyltriethoxysilane (APES, Optimal Tech Co., Ltd.)
- 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS, Aldrich)
- octadecyltrimethoxysilane (OTMS, Aldrich)
- สารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ กรดอะซิติก และเอทิลแอลกอฮอล์

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม

ก่อนที่จะเริ่มต้นขั้นตอนต่างๆ นั้น นำเส้นใยป่านที่อยู่ในรูปเส้นใยยาวประมาณ 2 เมตร มาตัดให้มีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร โดยคัดเอาเฉพาะส่วนโคนประมาณ 2 ใน 3 ของความยาวทั้งหมด ขั้นตอนต่อไปคือ การสกัดด้วยตัวทำละลายผสมโดยวิธีการต้ม (boiling method) ซึ่งจะเป็นการกำจัดองค์ประกอบพวกไขมัน (wax) และสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอื่นๆ

2.3.2 การสกัดเส้นใยป่านทรนารายณ์ด้วยตัวทำละลายผสม

ตัวทำละลายผสมที่ใช้ในการสกัดเป็นตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอล (methanol) และเบนซีน (benzene) ในอัตราส่วน 1:1 และอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายและเส้นใยคือ ตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร ต่อเส้นใย 10 กรัม (liquor ratio 10:1) การเก็บตัวอย่างเส้นใย เก็บทุก 1 2 4 และ 6 ชั่วโมง ตัวอย่างที่เก็บในแต่ละครั้งจะวางไว้ในตู้ดูดควัน 1 คืน เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไป หลังจากนั้นจึงจะนำไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำและตัวทำละลายที่อาจหลงเหลืออยู่ แล้วนำไปเก็บในโถดูดความชื้น (desiccator) เพื่อนำไปทดสอบสมบัติในด้านต่างๆ

2.3.3 การทำอัลคาไลน์เซชัน

สารที่ใช้ในการทำอัลคาไลน์เซชัน คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) การศึกษาครั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างสารละลายที่มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การทำอัลคาไลน์เซชันทำที่อุณหภูมิห้อง สำหรับขั้นตอนการทำอัลคาไลน์เซชันมีรายละเอียด ดังนี้

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อเส้นใยคือ 10 ต่อ 1 (liquor ratio 10:1) ทำการเก็บตัวอย่างเส้นใยทุก 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้จะนำมาล้างด้วยน้ำให้ได้ค่า pH ประมาณ 7 แล้วจึงนำไปอบให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วเก็บในโถดูดความชื้นเพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

2.3.4 การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านทรนารายณ์ด้วยสารประสานซิลเลน

การเตรียมสารละลายซิลเลน

เตรียมสารละลายซิลเลนที่ความเข้มข้น 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก วิธีการเตรียมสารละลายซิลเลนแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

- 3-aminopropyltriethoxy silane: ละลายซิลเลนด้วยน้ำกลั่น ปรับ pH ของสารละลายซิลเลนด้วยกรดอะซิติกให้ได้ pH 3.5
- 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane: ละลายซิลเลนในตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลและน้ำ (30 เปอร์เซ็นต์เอทานอลโดยน้ำหนัก) ปรับสารละลายให้ได้ pH 3.5 ด้วยกรดอะซิติก
- octadecyltrimethoxysilane: ละลายซิลเลนในตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลและน้ำ (90 เปอร์เซ็นต์เอทานอลโดยน้ำหนัก) ปรับสารละลายให้ได้ pH 3.5 ด้วยกรดอะซิติก

การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารละลายไซเลน

นำเส้นใยไปนมาแช่ในสารละลายไซเลน โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายไซเลนกับเส้นใยคือ 10: 1 (liquor ratio 10: 1) ขณะที่แช่จะทำการกวนด้วยตลอดเวลา ในการเก็บตัวอย่างเส้นใยนั้นจะเก็บที่เวลา 3 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นและอบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สำหรับเส้นใยป่านที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลาย octadecyltrimethoxysilane จะล้างด้วยเอทานอล แทนการล้างด้วยน้ำกลั่น

2.4 การทดสอบสมบัติของเส้นใยป่ายศรนารายณ์

2.4.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ทดสอบเส้นใยโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis: TGA ด้วยเครื่อง Thermal Analyzer (TA Instrument model SDT2960) โดยให้ความร้อนแก่เส้นใยในอัตราเร็วคงที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน จากอุณหภูมิห้องจนถึง 800 องศาเซลเซียส ก่อนการทดสอบนำเส้นใยไปอบ ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.4.2 การตรวจสอบสภาพพื้นผิว

ตรวจสอบเส้นใยโดยใช้เทคนิคไมโครสโคปีแบบอิเล็กตรอนส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM model Joel/JSM-6400) ที่ 10 kV ชื่นตัวอย่างจะถูกเคลือบด้วยทองเพื่อเพิ่ม contrast และช่วยป้องกันการถูกทำลายชั้นตัวอย่างจากลำอิเล็กตรอน

2.4.3 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

ในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยใช้เทคนิคไมโครสโคปีแบบใช้แสง (Optical Microscopy, OM Nikon model Eclips E600 POL) ที่กำลังขยายเลนส์ตา 10 เท่า เลนส์วัตถุ 5 เท่า จำนวนเส้นใยที่ใช้วัดเท่ากับ 100 เส้น

2.4.4 การทดสอบสมบัติทางกล

ทดสอบความทนต่อแรงดึง (tensile test) ของเส้นใยโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM, Instron model 5569) เซลล์วัดแรง (load cell) 10 นิวตัน (N), ความยาวเกท (gauge length) 5 เซนติเมตร และ อัตราเร็วของการดึง (cross head speed) 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที

2.4.5 การทดสอบการดูดซับน้ำ

นำเส้นใยมารวมกันเป็นมัดจำนวน 3 มัด โดยแต่ละมัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 มิลลิเมตร โดยมีน้ำหนักในแต่ละมัดประมาณ 2 กรัมขึ้นไป และทำการมัดด้วยเส้นใยของมัดนั้นๆ ตรงตำแหน่งกึ่งกลางของมัดเส้นใย ทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวใน โถดูดความชื้น (desiccator) ทำการบันทึกน้ำหนักโดยน้ำหนักที่บันทึกได้จะเป็นน้ำหนักของชิ้นงานก่อนการทดสอบการดูดซับน้ำ นำชิ้นทดสอบแช่ลงในอ่างน้ำซึ่งทำการบรรจุอยู่ในสถานะมีฝาปิด ทำการบันทึกน้ำหนักทุกวันเป็นเวลา 4 วัน โดยเมื่อถึงเวลาการบันทึกน้ำหนัก ชิ้นงานจะถูกนำขึ้นจากน้ำและซับน้ำที่พื้นผิวออก และบันทึกน้ำหนัก ค่าปริมาณการดูดซับน้ำ จำนวนได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณการดูดซับน้ำ (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังแช่} - \text{น้ำหนักก่อนแช่}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่}} \right) \times 100 \quad (1)$$

บทที่ 3

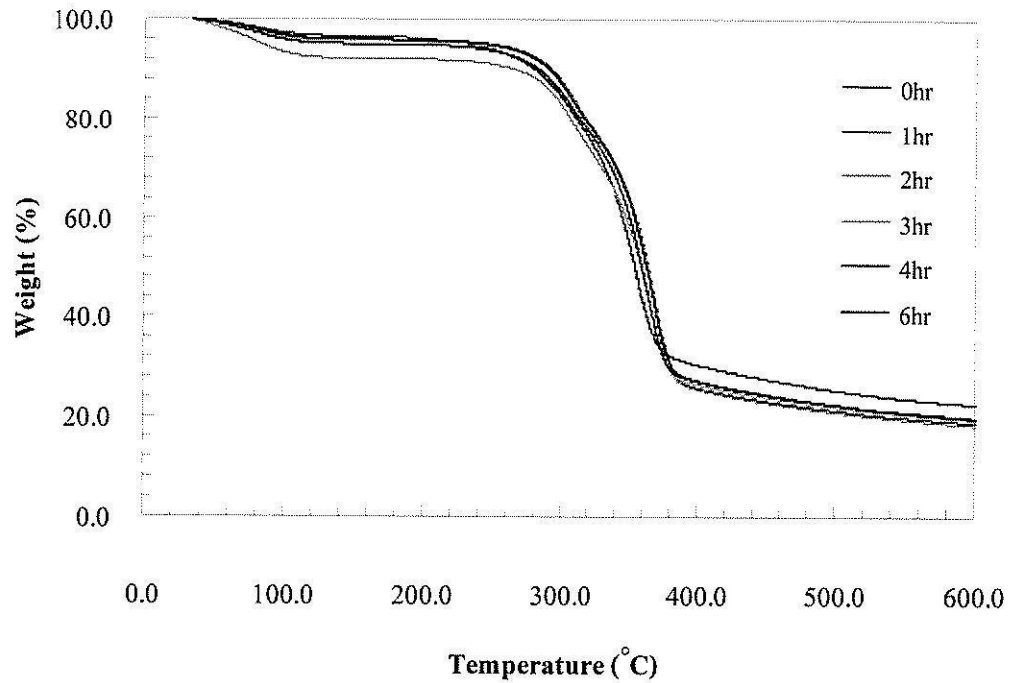
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 เส้นใยป่านขนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม

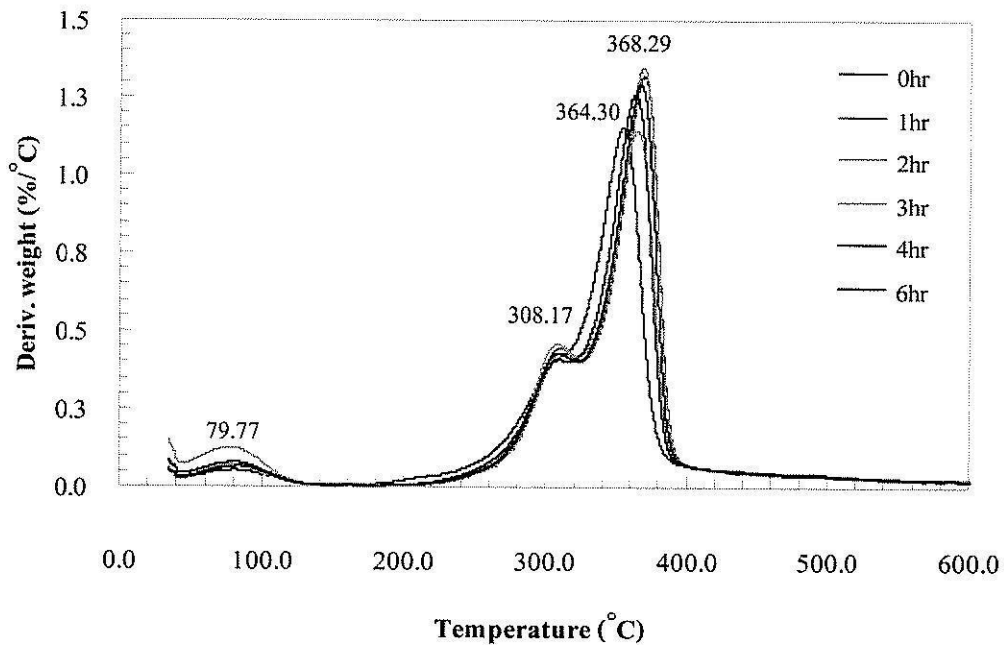
3.1.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่าน

กราฟแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลาย และอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลาย ของเส้นใยป่านขนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม แสดงในรูปที่ 3.1 (a) และ รูปที่ 3.1 (b) เส้นใยป่านขนารายณ์แสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลายตัวที่ 1 เริ่มต้นประมาณ 50 องศาเซลเซียส ตำแหน่งพีคที่ 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากการระเหยออกของความชื้นในเส้นใย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยป่านขนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม กับเส้นใยป่านขนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม จะเห็นได้ว่า เส้นใยป่านขนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม จะมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเส้นใยป่านขนารายณ์ที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เล็กน้อย สำหรับช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่ 2 จะเป็นการสลายตัวของสารจำพวกไขมันหรือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยที่เส้นใยป่านขนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ในขณะที่เส้นใยป่านขนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถกำจัดสารจำพวกไขมันหรือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำออกไปบางส่วนได้ ส่วนช่วงอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่ 3 ตำแหน่งของพีคประมาณ 307-308 องศาเซลเซียส นั้นจะเป็นการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส สำหรับช่วงอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่ 4 เป็นผลเนื่องจากการสลายตัวของ อัลฟาเซลลูโลส (α - cellulose) โดยที่เส้นใยป่านขนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม แสดงตำแหน่งของพีคประมาณ 364 องศาเซลเซียส ในขณะที่โดยที่เส้นใยป่านขนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม แสดงตำแหน่งของพีคอุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็น 368 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (b) อย่างไรก็ตามกราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลายและอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย ของเส้นใยที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายผสมที่เวลา 1 2 3 4 และ 6 ชั่วโมงไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

อุณหภูมิ onset ของการสลายตัวที่ 2 ลักษณะและตำแหน่งของพีคอนุพันธ์ของการสลายตัวที่ 3 และ ตำแหน่งพีคของอนุพันธ์ของการสลายตัวที่ 4 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก



(a)

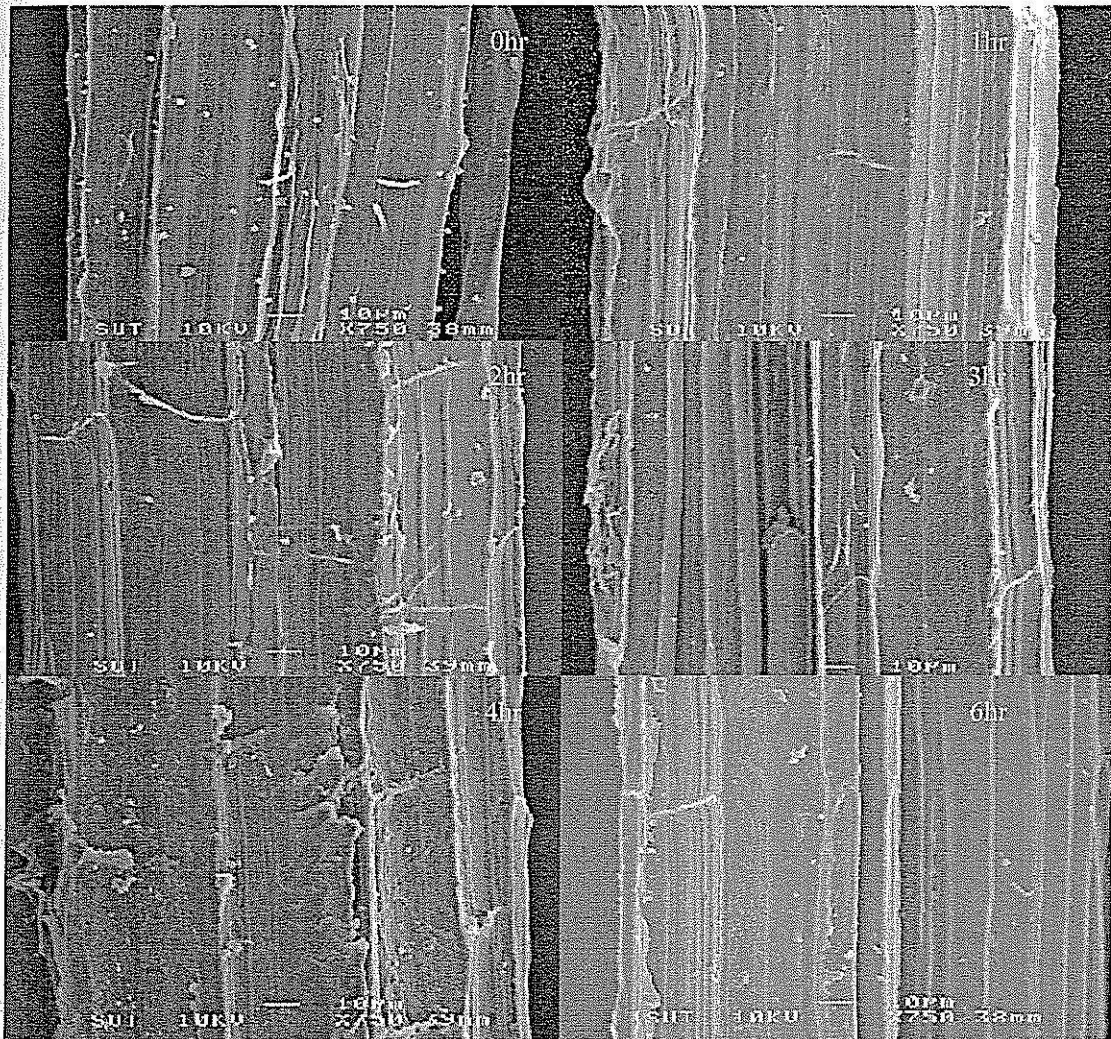


(b)

รูปที่ 3.1 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใย ป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เป็นเวลา 1 2 3 4 และ 6 ชั่วโมง

3.1.2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่าน

จาก ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม ที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมสามารถกำจัดสารจำพวกไขมันหรือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ โดยเส้นใยที่ผ่านการสกัดเป็นเวลา 3 ชั่วโมงพื้นผิวเส้นใยจะเริ่มสะอาดขึ้น และที่เวลาสูงขึ้นลักษณะพื้นผิวเส้นใยที่ได้จะมีลักษณะไม่แตกต่างจากที่เวลา 3 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นที่เวลานี้จึงเหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดเส้นใยเบื้องต้น เพื่อลดสารจำพวกไขมันหรือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใย



รูปที่ 3.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เป็นเวลา 1 2 3 4 และ 6 ชั่วโมง

3.2 เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน

3.2.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่าน

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (เป็นเวลา 3 ชั่วโมง) เพียงอย่างเดียวและเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการอัลคาไลน์เซชัน (ต่อไปจะกล่าวเพียงสั้น ๆ คือ เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันต่อ) ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟทั้งสองรูปนั้นแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลายที่ 1 ณ 80 องศาเซลเซียส เป็นการระเหยออกของความชื้นในเส้นใย อุณหภูมิการเสื่อมสลายที่ 2 ของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันต่อเริ่มต้นที่ 220 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว 20 องศาเซลเซียส และจากรูปที่ 3.3 (b) และ 3.4 (b) ลักษณะของกราฟในช่วงนี้จะปรากฏเป็นเพียงไหล่ฟีก (shoulder peak) ของฟีกที่เกิดจากการเสื่อมสลายที่ 3

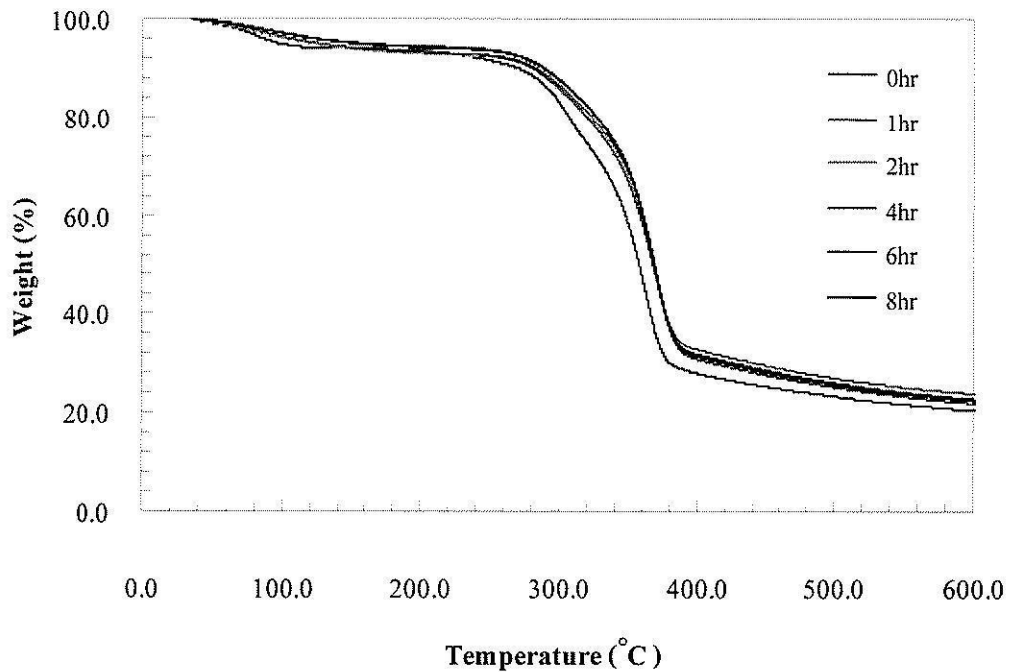
อุณหภูมิการสลายตัวที่ 3 ของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันต่อจะไม่ปรากฏเป็นฟีกอย่างชัดเจน ลักษณะปรากฏจะเป็นเพียงไหล่ฟีกเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมเพียงอย่างเดียว ซึ่งแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลายที่ 3 ประมาณ 371 องศาเซลเซียส

สำหรับอุณหภูมิการเสื่อมสลายที่ 4 ของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันต่อจะเริ่มต้นที่อุณหภูมิที่สูงกว่าเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว และฟีกของการเสื่อมสลายที่ 4 นี้ปรากฏที่อุณหภูมิที่สูงกว่าถึง 10 องศาเซลเซียส

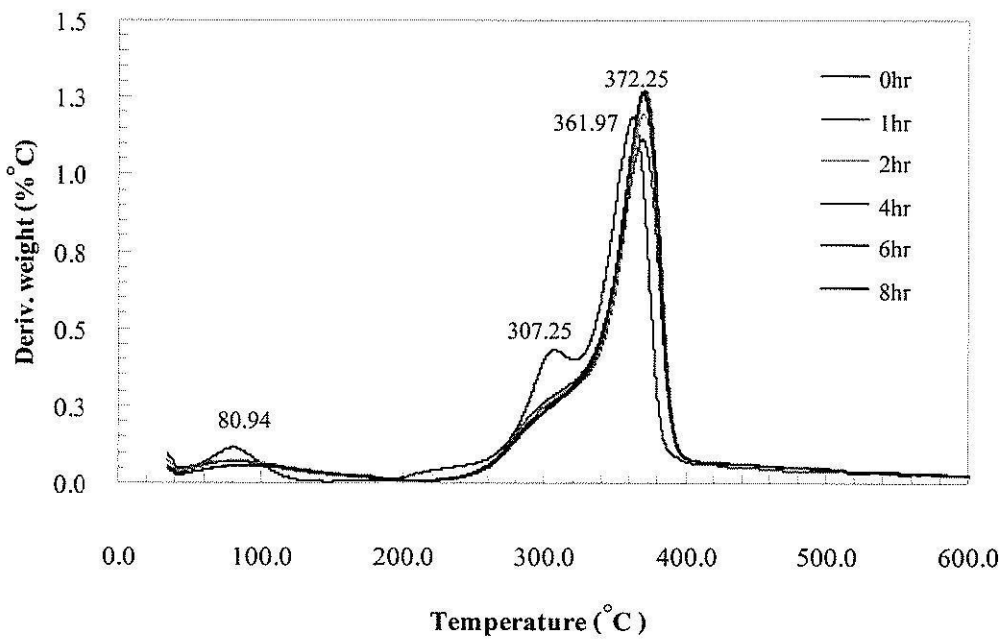
จากกราฟของการทำอัลคาไลน์เซชันต่อด้วยความเข้มข้นของสารละลาย 2 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเสื่อมสลายและอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลายของการทำอัลคาไลน์เซชันเป็นเวลา 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิเสื่อมสลายและอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลายของการทำอัลคาไลน์เซชันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเห็นว่าลักษณะกราฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นการทำอัลคาไลน์เซชันเป็นการขจัดสารจำพวกไขมันหรือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้ลดลงอีก และขจัดเฮมิเซลลูโลสที่เสื่อมสลายที่อุณหภูมิต่ำออกจากเส้นใย

สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชันเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ได้สรุปไว้ในภาคผนวก ก ในรูปของอุณหภูมิ onset ของการสลายตัวที่ 2 ลักษณะและตำแหน่งของฟีกอนุพันธ์ของการสลายตัวที่ 3 และ ตำแหน่งฟีกของอนุพันธ์ของการสลายตัวที่ 4

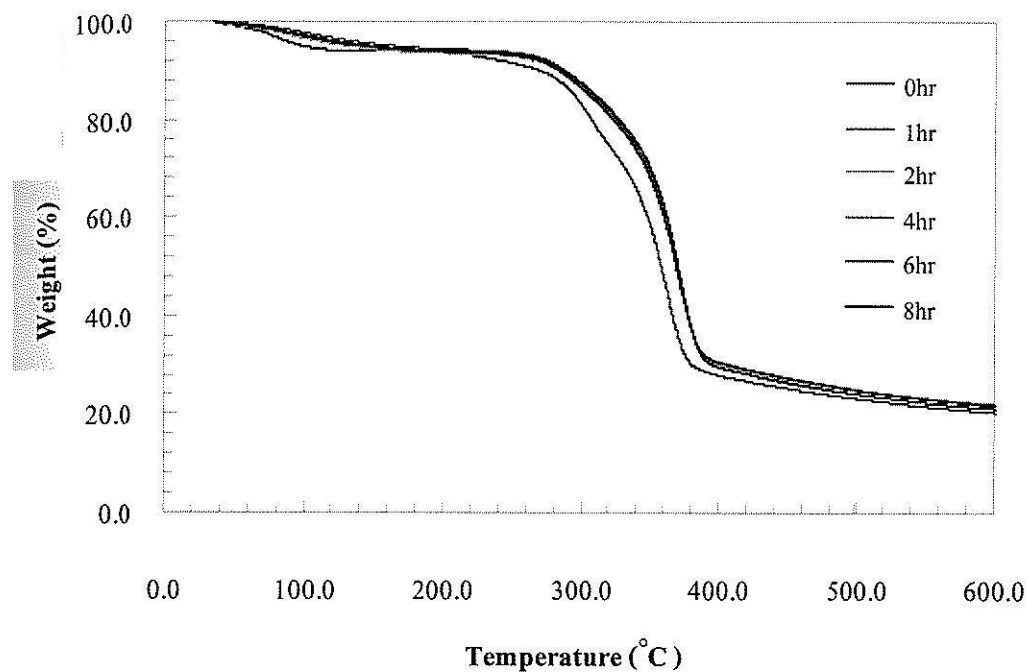


(a)

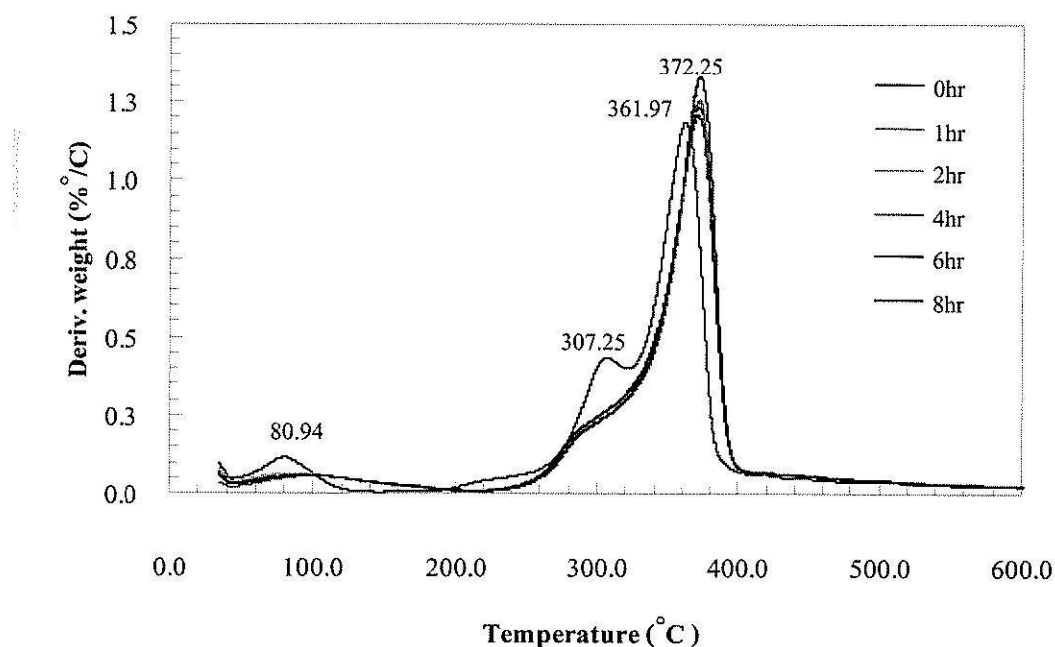


(b)

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใย ป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยทำละลายผสม 3 ชั่วโมง และผ่านการทำอัลคาไลน์-เซชันที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง



(a)

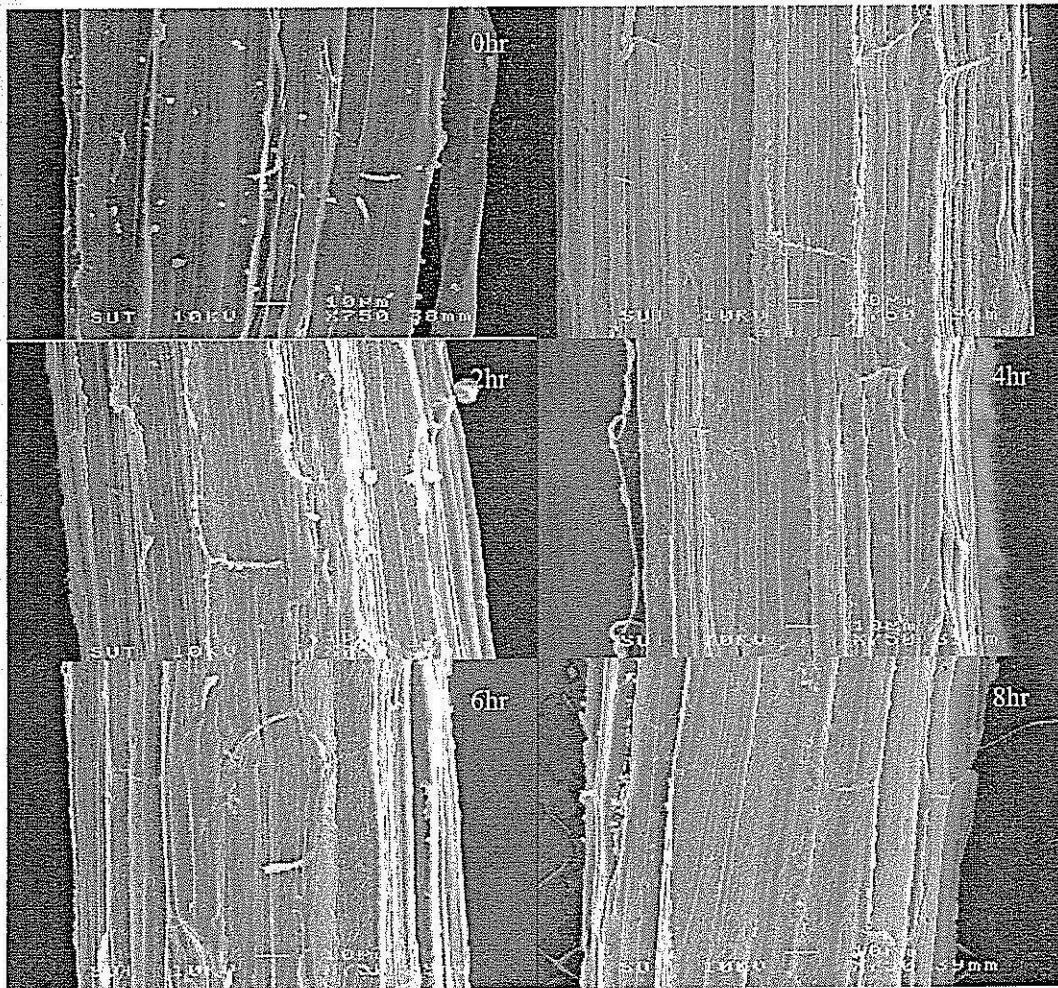


(b)

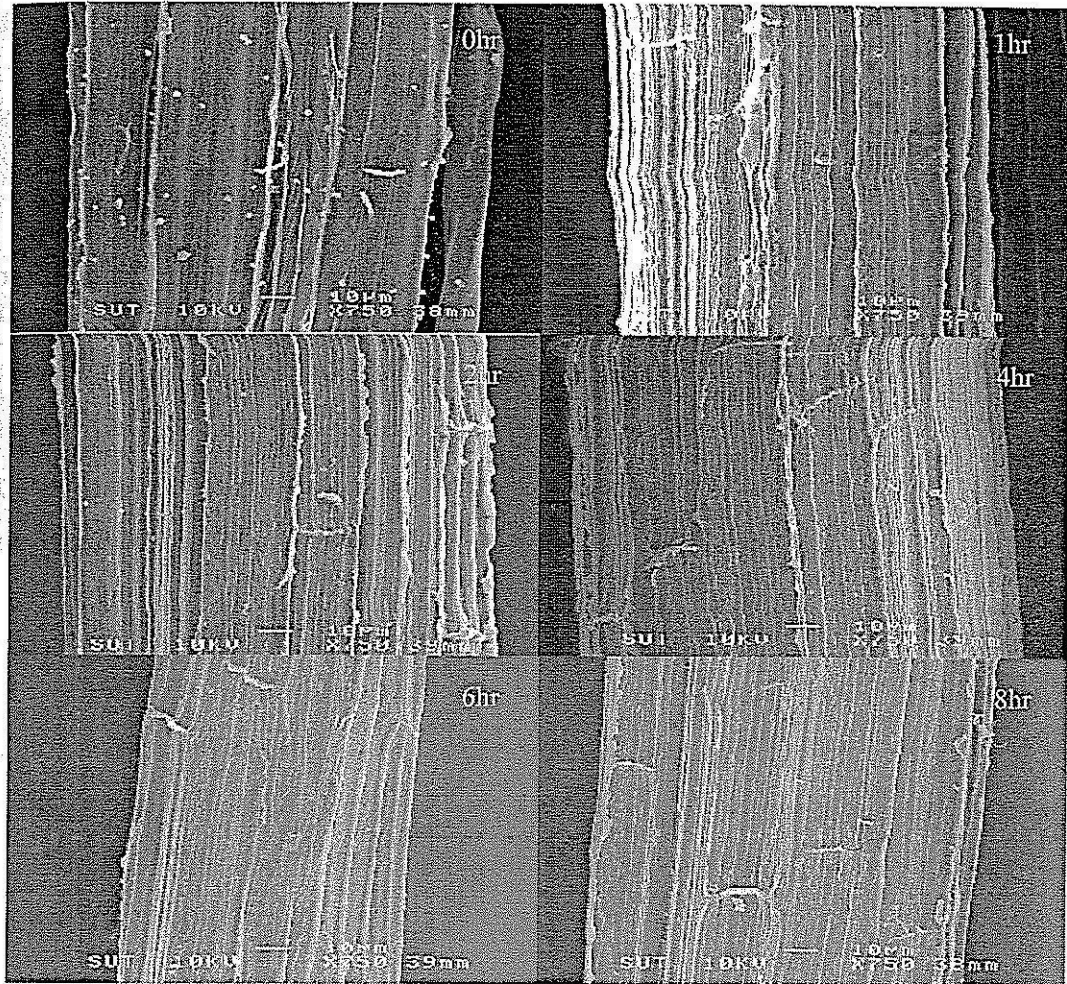
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใย ป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยทำละลายผสม 3 ชั่วโมง และผ่านการทำอัลคาไลน์- เซชันที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง

3.2.2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่าน

เมื่อนำเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันต่อที่ความเข้มข้น 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวจะได้ผลดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ ในรูปที่ 3.5 นั้นที่เวลา 2 ชั่วโมง เส้นใยจะมีลักษณะการแยกเป็นเส้นเดี่ยวดีกว่าที่ 1 ชั่วโมง ส่วนที่เวลาเพิ่มขึ้นเส้นใยจะเริ่มถูกกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้นด้วย ในรูปที่ 3.6 ลักษณะของเส้นใยที่ได้จะมีการถูกกัดกร่อนมากกว่าในรูปที่ 3.9 ดังนั้นในขั้นตอนการทำอัลคาไลน์เซชันที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ มีความเหมาะสมมากกว่าการความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และที่เวลา 2 ชั่วโมง จะมีความเหมาะสมกว่าที่เวลา 4 6 และ 8 ชั่วโมง เนื่องจากเส้นใยจะเริ่มแยกเป็นเส้นเดี่ยวมากขึ้น และเส้นใยไม่ถูกกัดกร่อนมาก ซึ่งอาจทำให้สมบัติทางกลของเส้นใยลดลง



รูปที่ 3.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม 3 ชั่วโมง และผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง



รูปที่ 3.6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม 3 ชั่วโมง และผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง

3.3 เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่าง ๆ (หลังจากเส้นใยผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน)

3.3.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-aminopropyltriethoxy silane (APES)

จากกราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย และอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย ในรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายช่วงที่ 4 ของเส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน APES เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง ลดลงเป็น 360 และ 362 องศาเซลเซียส ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใยที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน APES ซึ่งพิกอุณหภูมิเสื่อมสลายที่ 4 ปรากฏที่ ประมาณ 371 องศาเซลเซียส และลักษณะกราฟของการเสื่อมสลายของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

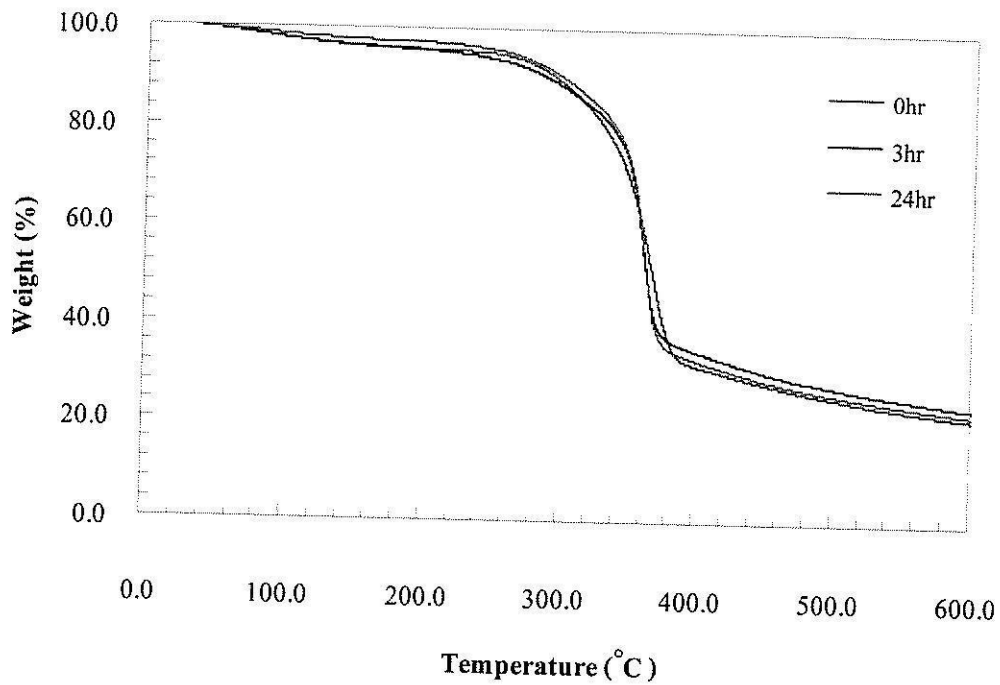
3.3.2 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS)

จากกราฟ อุณหภูมิเสื่อมสลาย และอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย ในรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายช่วงที่ 4 ของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย MPTS มีแนวโน้มลดลง จาก 370 เป็น 366 และ 362 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จาก 0 ชั่วโมง เป็น 3 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

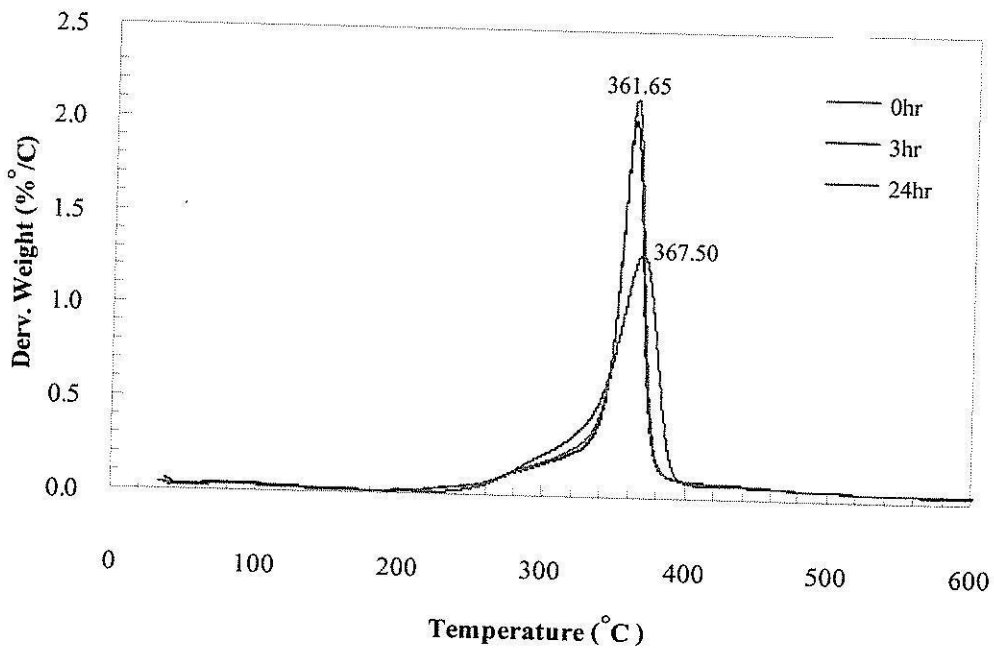
3.3.3 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย octadecyltrimethoxysilane (OTMS)

สำหรับอุณหภูมิการเสื่อมสลายที่ 4 ของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย OTMS เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 3.9 อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเพิ่มขึ้นนี้ไม่มีนัยสำคัญ

สมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่าง ๆ ได้สรุปไว้ในภาคผนวก ก ในรูปของอุณหภูมิ onset ของการสลายตัวที่ 2 ลักษณะและตำแหน่งของพิกอนุพันธ์ของการสลายตัวที่ 3 และ ตำแหน่งพิกของอนุพันธ์ของการสลายตัวที่ 4

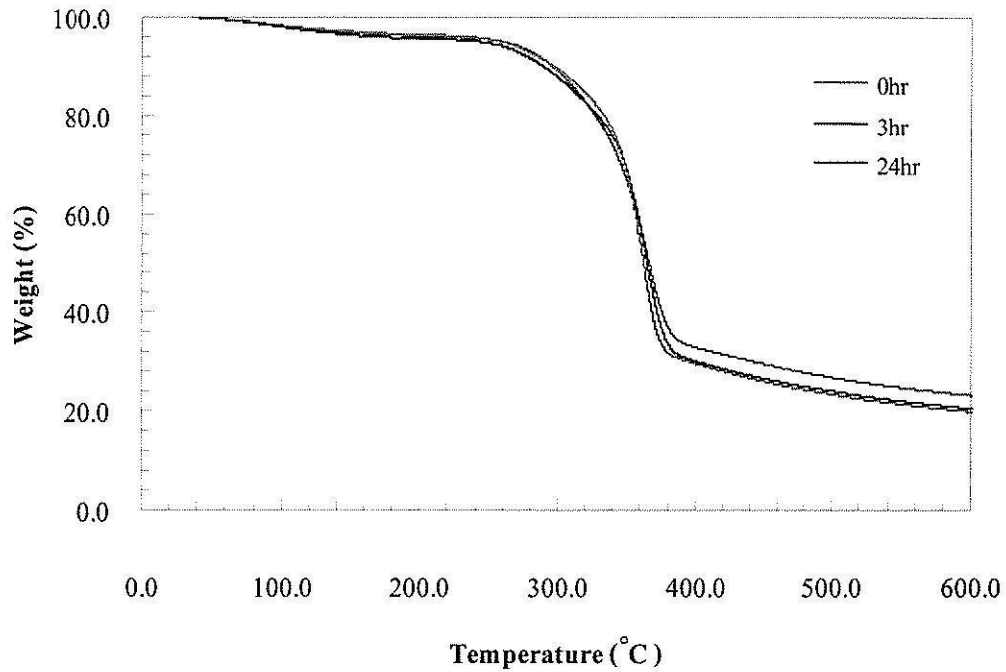


(a)

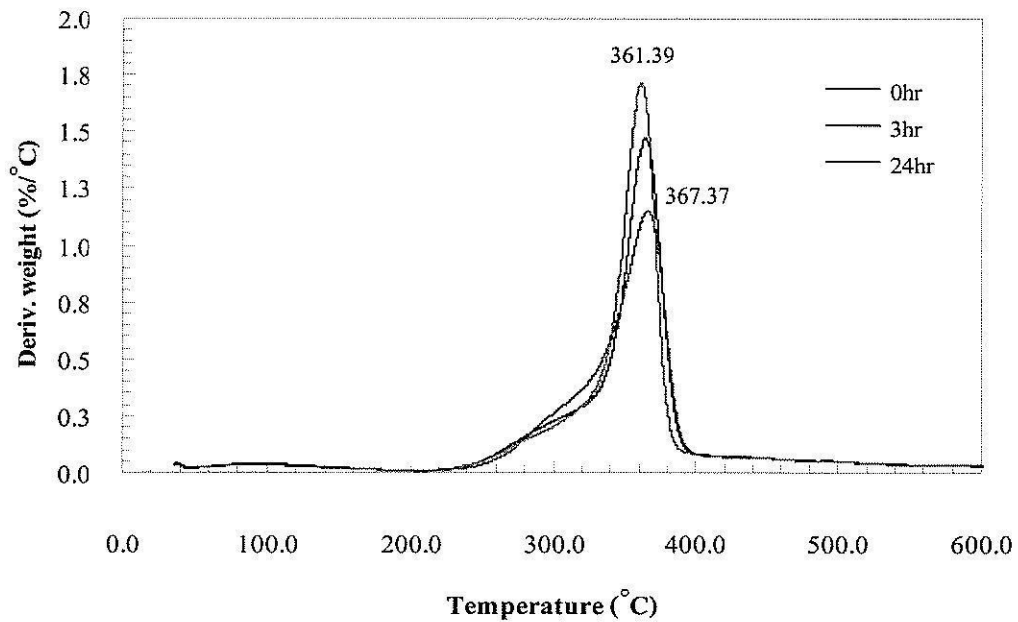


(b)

รูปที่ 3.7 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใย ป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยตัวสารประสานไซเลน APES เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง

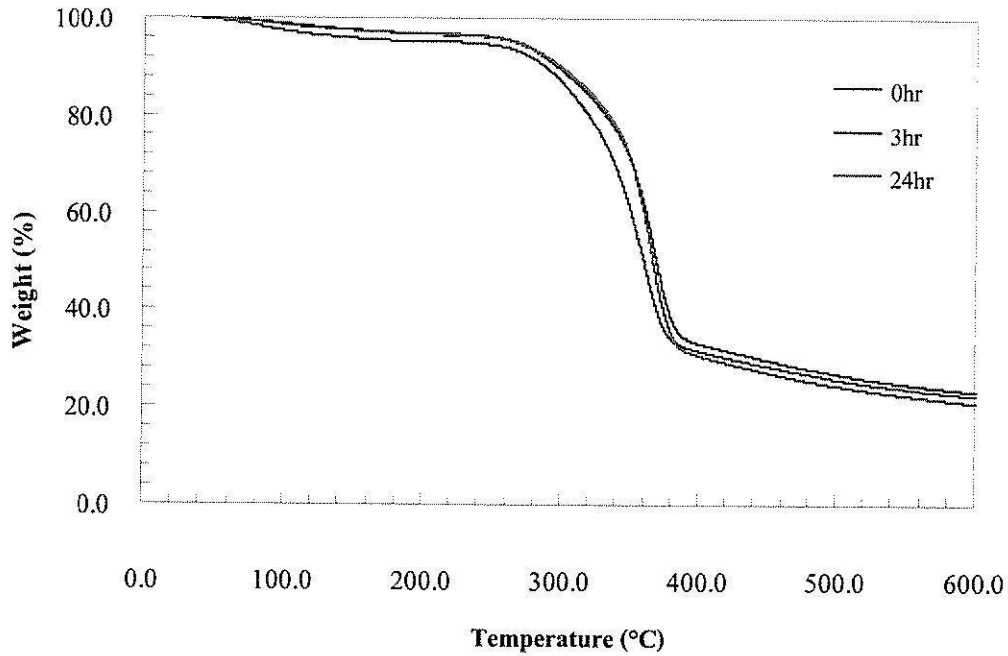


(a)

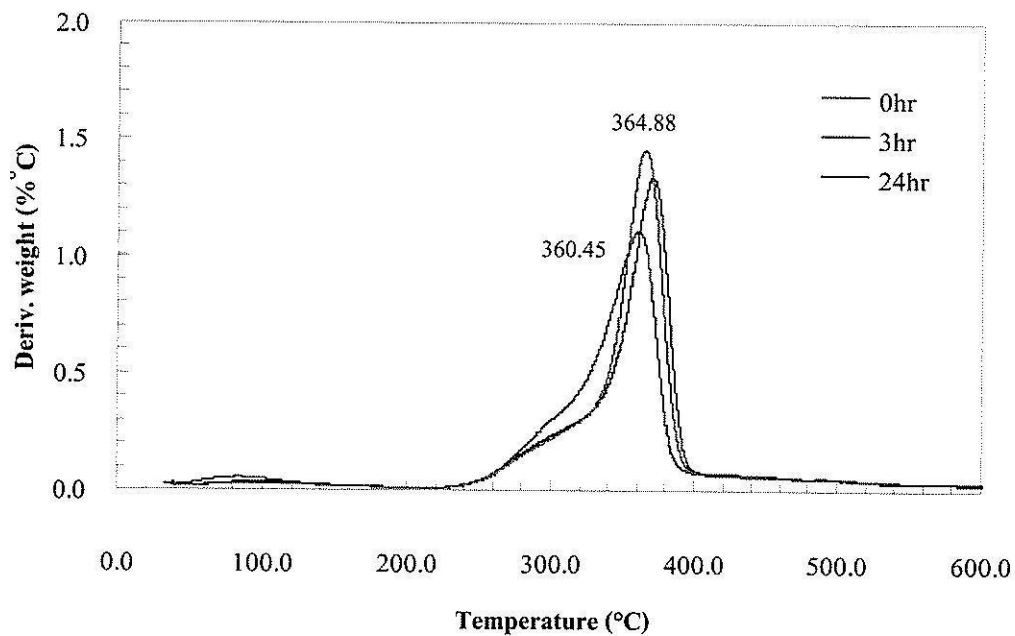


(b)

รูปที่ 3.8 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใย ป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารประสานไซเลน MPTS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง



(a)

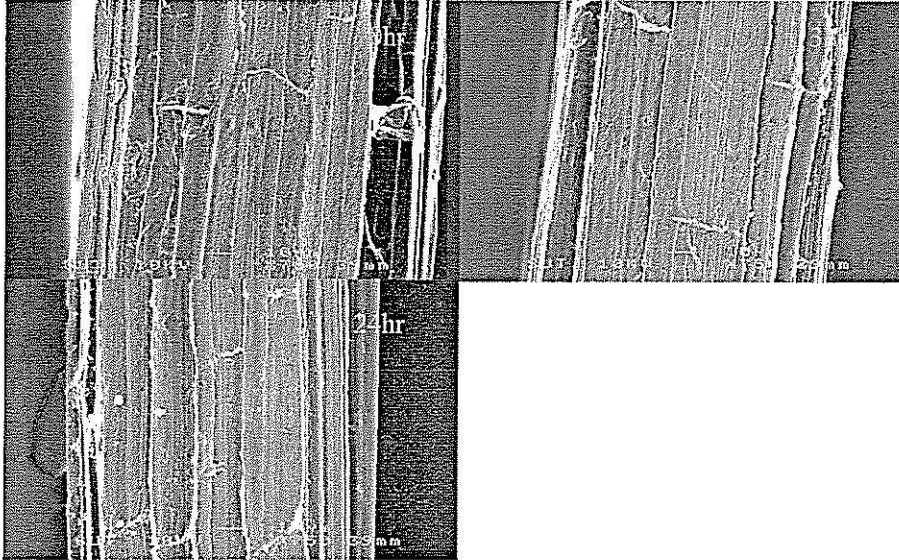


(b)

รูปที่ 3.9 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใย ป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย สารประสานไซเลน OTMS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง

3.3.4 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-aminopropyltriethoxysilane (APES)

ลักษณะพื้นผิวในรูปที่ 3.10 เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะมีอนุภาคเล็ก ๆ เกาะที่ผิวเส้นใยในปริมาณน้อยมาก แต่เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อนุภาคที่อยู่ผิวเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น อนุภาคขนาดเล็กนี้อาจจะเป็นอนุภาคที่เกิดจากการควบแน่นระหว่าง APES แล้วรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร



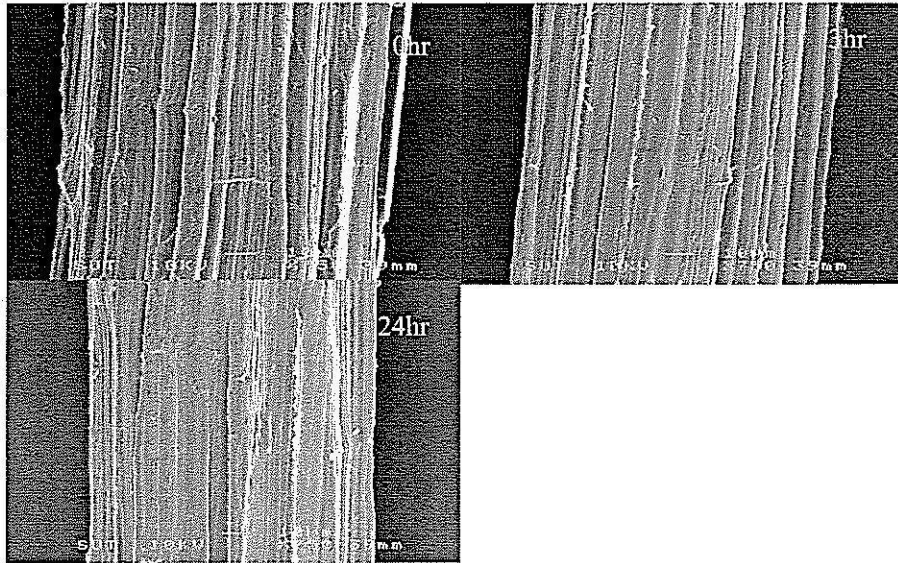
รูปที่ 3.10 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไฮเดรเจน APES เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง

3.3.5 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS)

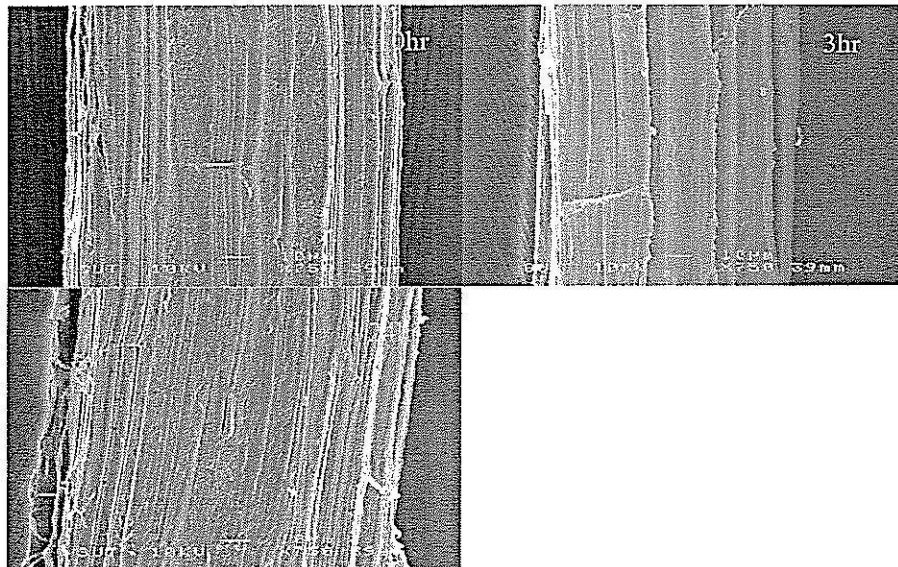
ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีอนุภาคขนาดเล็กที่พื้นผิวในปริมาณน้อย แต่อนุภาคขนาดเล็กที่พื้นผิวมีปริมาณมากขึ้นเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.11

3.3.6 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย octadecyltrimethoxysilane (OTMS)

ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไฮเดรเจนในรูปที่ 3.12 พบว่า การปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะมีอนุภาคขนาดเล็กที่พื้นผิวเส้นใย แต่ปริมาณของอนุภาคขนาดเล็กนี้ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการปรับสภาพพื้นผิวเพิ่มเป็น 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานซิลเลน MPTS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.12 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานซิลเลน OTMS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง

3.4 ขนาดของเส้นใยป่านครนารายณ์

เส้นใยที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 130-400 ไมโครเมตร และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (alkalined sisal) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 230 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าเดียวกับขนาดของเส้นใยที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของขนาดเส้นใยกว้างขึ้นคือ อยู่ในช่วง 100-400 ไมโครเมตร ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดเส้นใยด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชันเป็นการขจัดสารโมเลกุลต่ำและเฮมิเซลลูโลสออกจากเส้นใยตามลำดับ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยลดลงเมื่อผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย APES MPTS และ OTMS และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการปรับสภาพพื้นผิวจาก 3 ชั่วโมงเป็น 24 ชั่วโมง มีผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเพิ่มขึ้น อาจมีสาเหตุจากเส้นใยที่นำมาทดสอบมีการกระจายขนาดมากและจำนวนตัวอย่างเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดมีเป็นจำนวนมาก สำหรับช่วงของขนาดเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไฮดรอกไซด์ อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของเส้นใยป่านครนารายณ์ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (NP) เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไฮดรอกไซด์ต่าง ๆ เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง

ชนิดของเส้นใย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมโครเมตร)		
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบน	ค่ากลาง
NP	130 - 400	230.0 \pm 74.04	235.0
CL	100 - 400	230.0 \pm 75.49	239.9
APES-3hr	100 - 300	181.6 \pm 46.71	190.0
APES-24hr	120 - 540	229.9 \pm 67.95	225.0
MPTS-3hr	100 - 380	117.6 \pm 63.48	170.0
MPTS-24hr	100 - 420	203.9 \pm 72.29	210.0
OTMS-3hr	100 - 350	192.3 \pm 55.53	190.0
OTMS-24hr	120 - 360	212.0 \pm 56.17	200.0

3.5 สมบัติทางกลของเส้นใยป่านสรนารายณ์

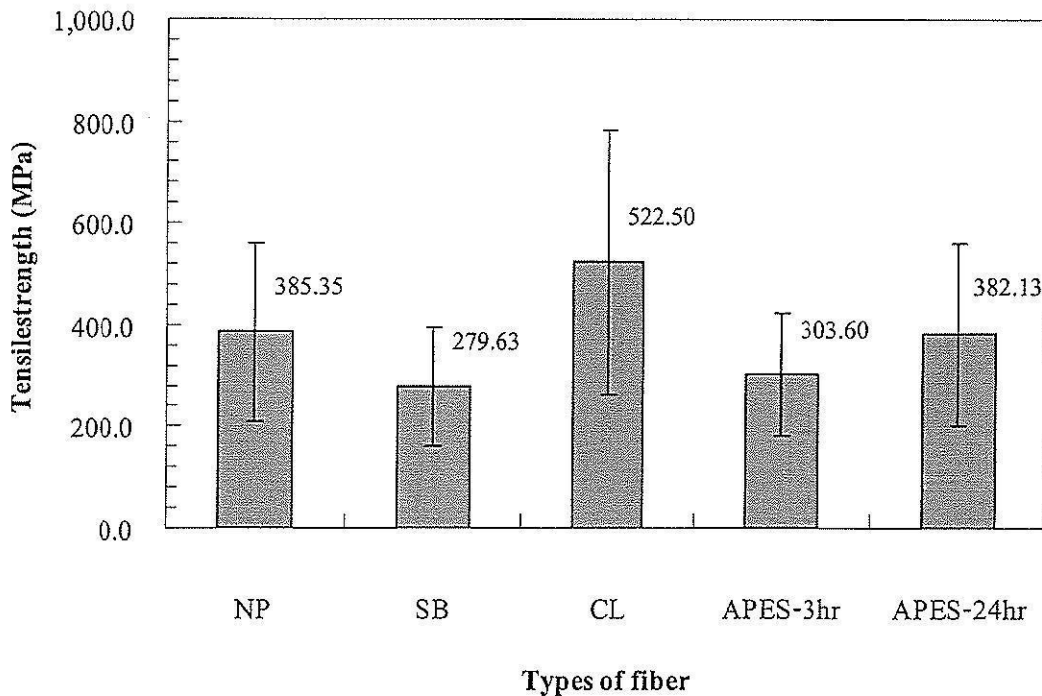
3.5.1 สมบัติทางกลเส้นใยป่านที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

เส้นใยที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย (NP) มีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) 385 MPa โมดูลัสของยังก์ (Young's modulus) 34 GPa และความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (elongation at break) 3.2 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ให้มีความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 522 MPa สำหรับโมดูลัสของยังก์ลดลงเป็น 25 GPa ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่เส้นใยขนาดเล็กที่รวมกันอยู่เป็นเส้นใยแยกออกจากกันบางส่วนเนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและลิกนินถูกกำจัดออกไป ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทำให้เส้นใยมีความอ่อนตัว (flexibility) เพิ่มขึ้นและสามารถกระจายแรงไปยังเส้นใยขนาดเล็กนั้น ได้ดีกว่าเส้นใยที่ถูกยึดกันไว้ด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ส่วนความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญเป็น 3.8 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13

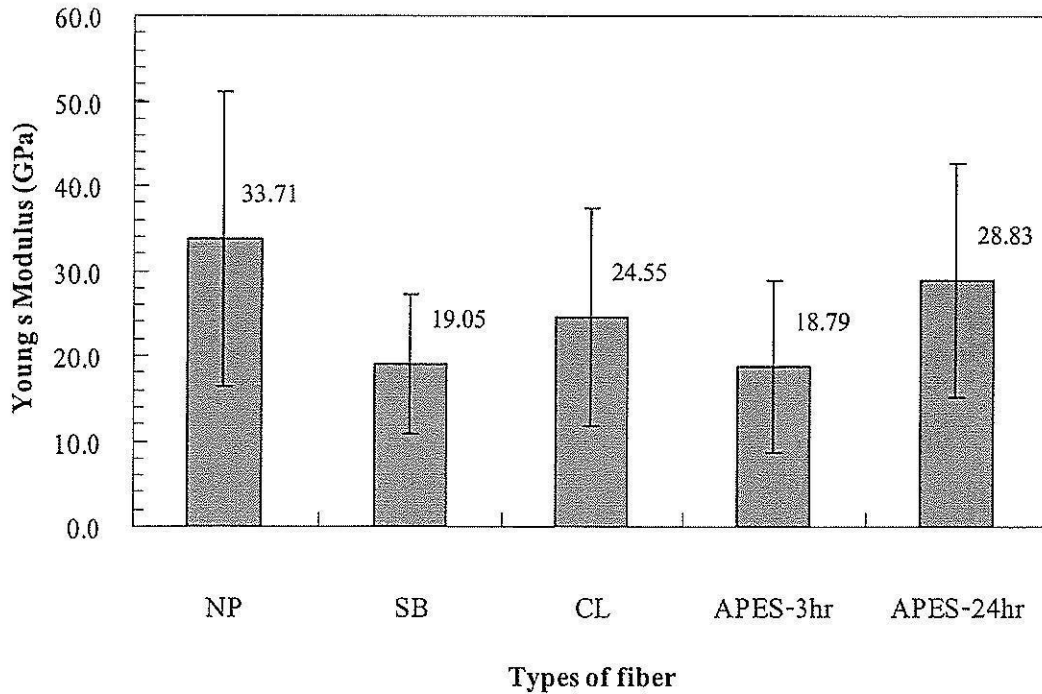
3.5.2 สมบัติทางกลเส้นใยป่านที่ไม่ผ่านและผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันเส้นใยป่านที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-aminopropyltriethoxysilane (APES)

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย APES เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ความทนต่อแรงดึง ลดลงเป็น 304 MPa ค่ามอดูลัสของยังก็ลดลงเป็น 19 GPa และความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักลดลงเป็น 2.6 เปอร์เซ็นต์ และที่เวลาการปรับสภาพพื้นผิวเพิ่มขึ้นเป็น 24 ชั่วโมง ค่าความทนต่อแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเป็น 382 MPa และ 29 GPa ตามลำดับ ส่วนความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักเพิ่มขึ้นเป็น 2.9 เปอร์เซ็นต์

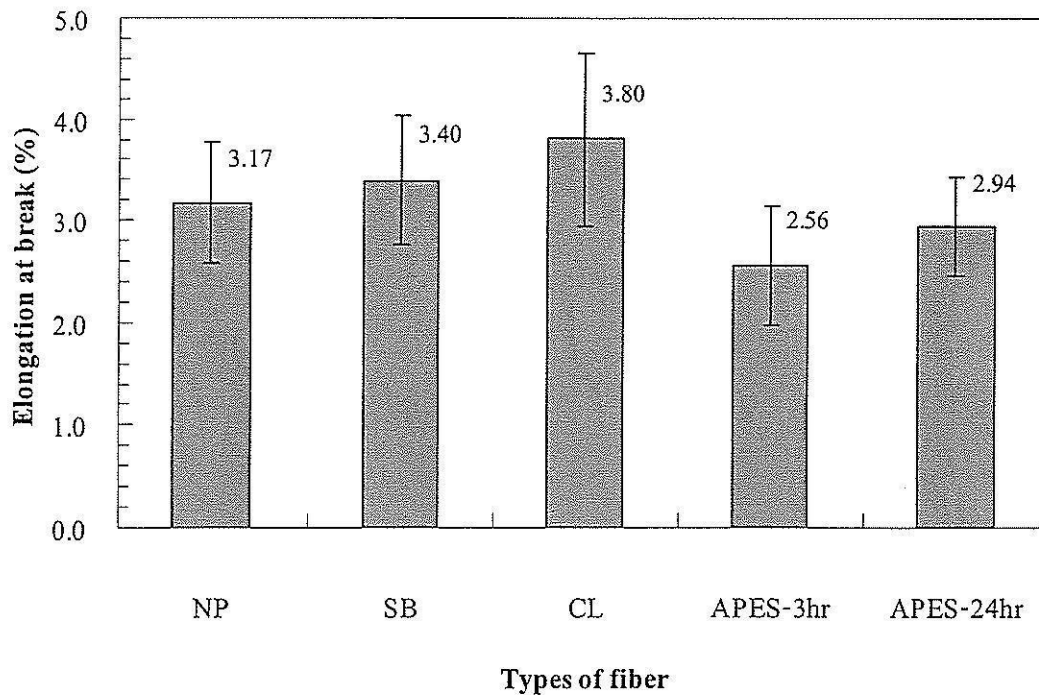
การปรับสภาพพื้นผิวด้วย APES มีผลต่อการลดลงของความทนต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มเวลาการปรับสภาพพื้นผิว มีผลต่อการเพิ่มของความทนต่อแรงดึงและมอดูลัสของยังก็แต่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก



(a)



(b)



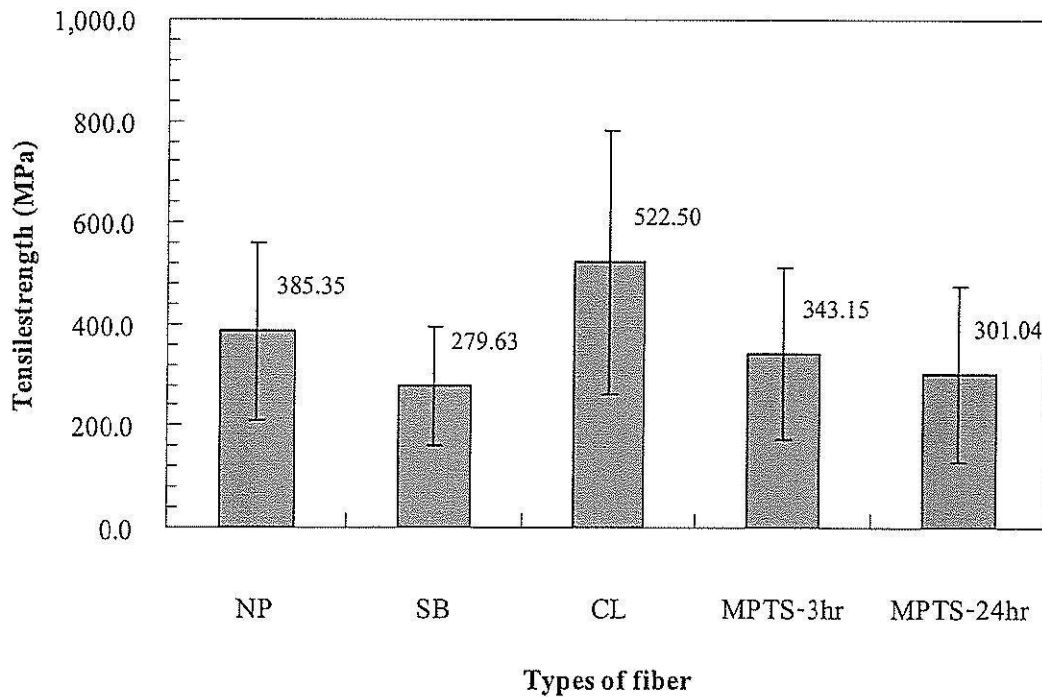
(c)

รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความทนต่อแรงดึง (a) โมดูลัสของยังก์ (b) และ ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (c) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน (NP) และผ่าน (SB) การสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย APES เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง

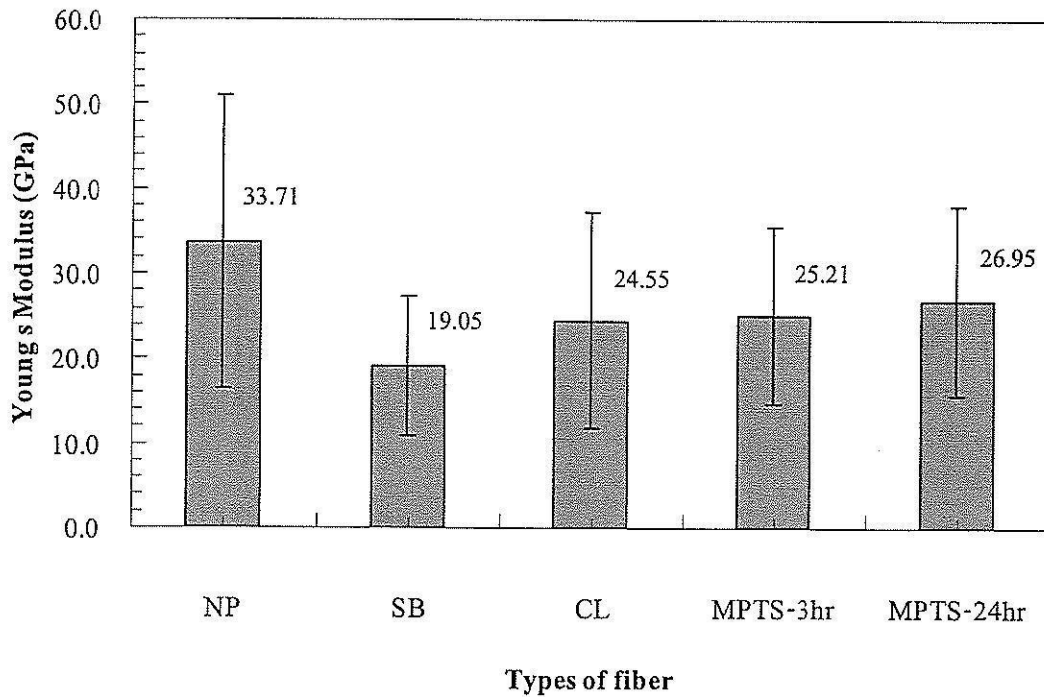
3.5.3 สมบัติทางกลเส้นใยป่านที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS)

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน MPTS เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.14 เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน ค่าความทนต่อแรงดึงลดลงเป็น 343 MPa ค่ามอดูลัสของยังก์และความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เป็น 25 GPa และ 3.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเวลาในการปรับสภาพพื้นผิวของเส้นใยเพิ่มขึ้นเป็น 24 ชั่วโมง ค่าความทนต่อแรงดึงลดลงเล็กน้อยเป็น 301 MPa ค่ามอดูลัสของยังก์เป็น 27 GPa ส่วนความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักเป็น 3.3 เปอร์เซ็นต์

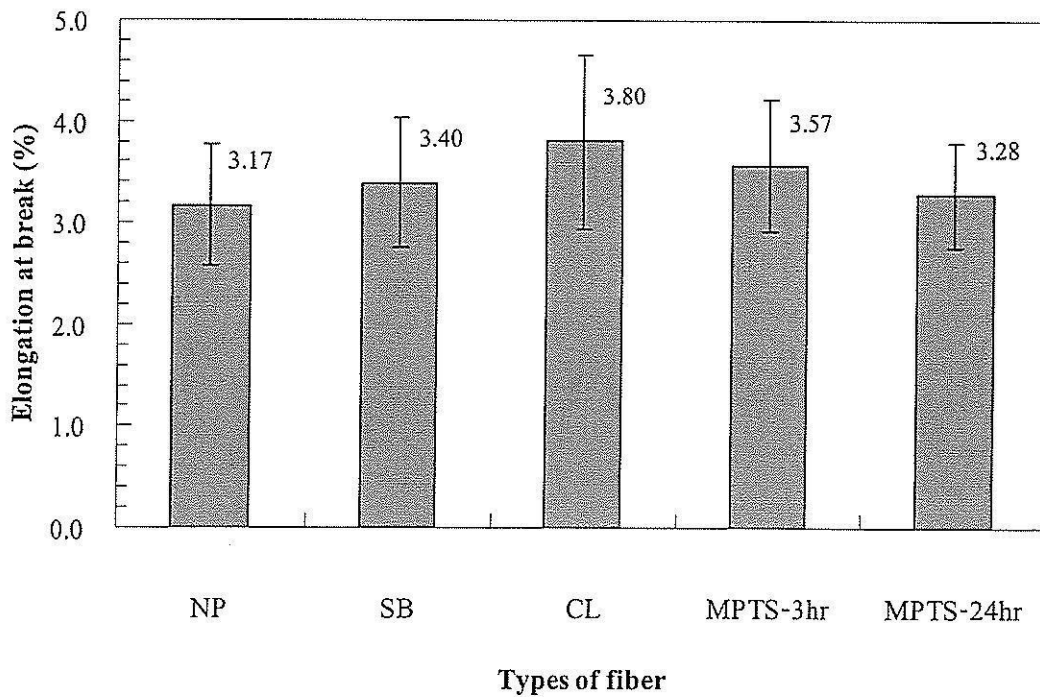
การปรับสภาพพื้นผิวด้วย MPTS มีผลต่อการลดลงของความทนต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มเวลาการปรับสภาพพื้นผิว มีผลต่อการลดลงของความทนต่อแรงดึง แต่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อมอดูลัสของยังก์และความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก



(a)



(b)



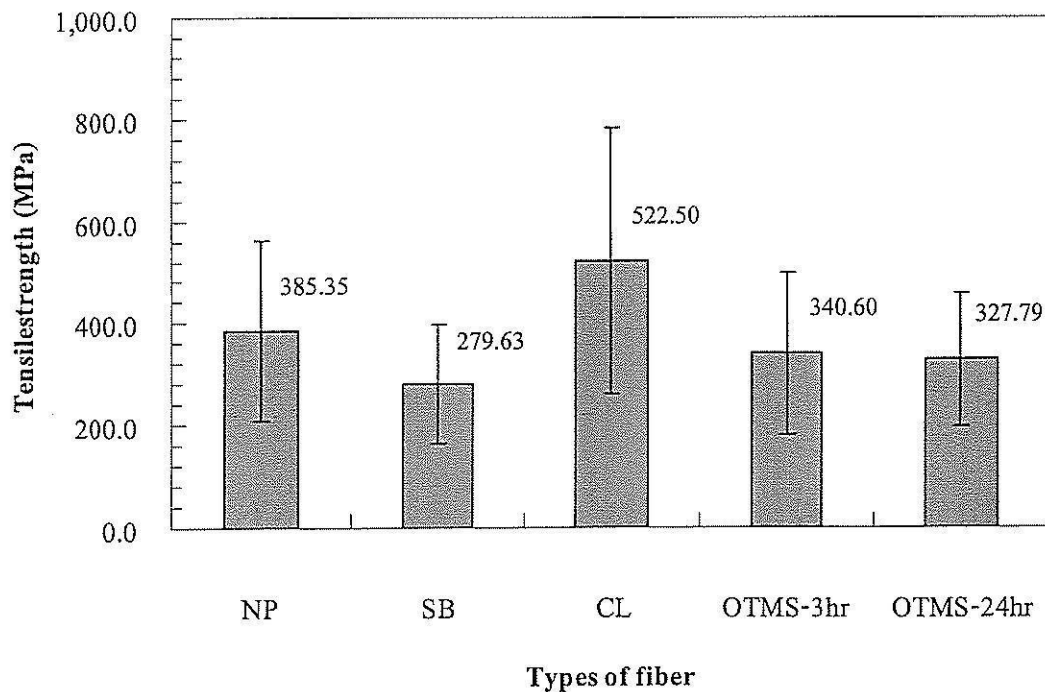
(c)

รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความทนต่อแรงดึง (a) โมดูลัสของยังก์ (b) และ ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (c) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน (NP) และผ่าน (SB) การสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย MPTS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง

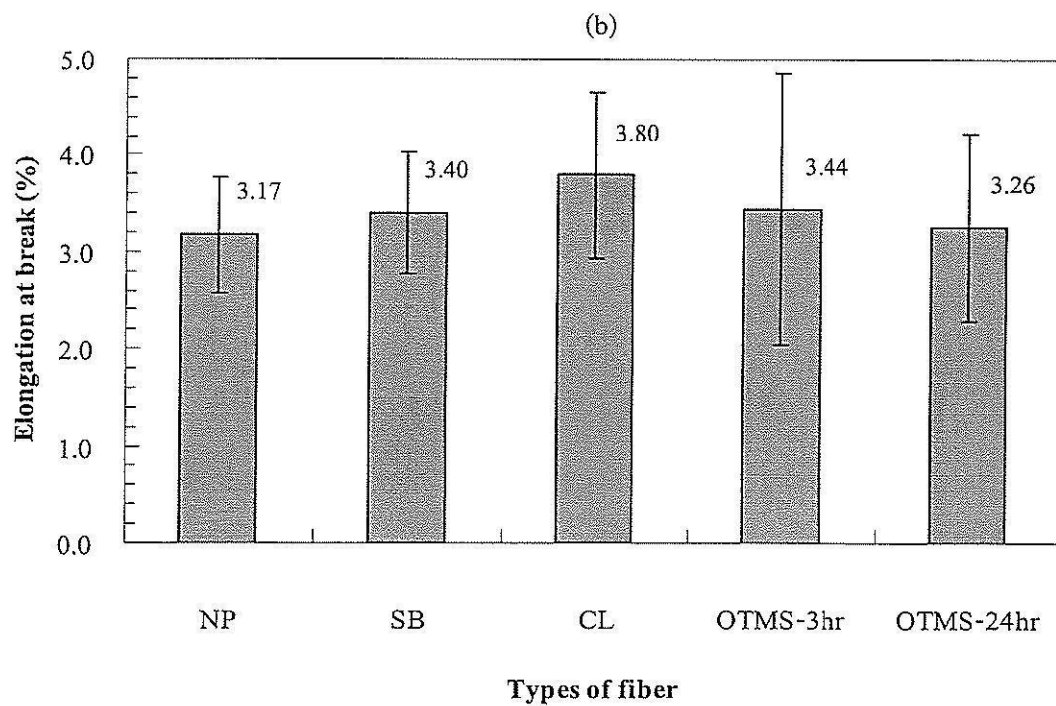
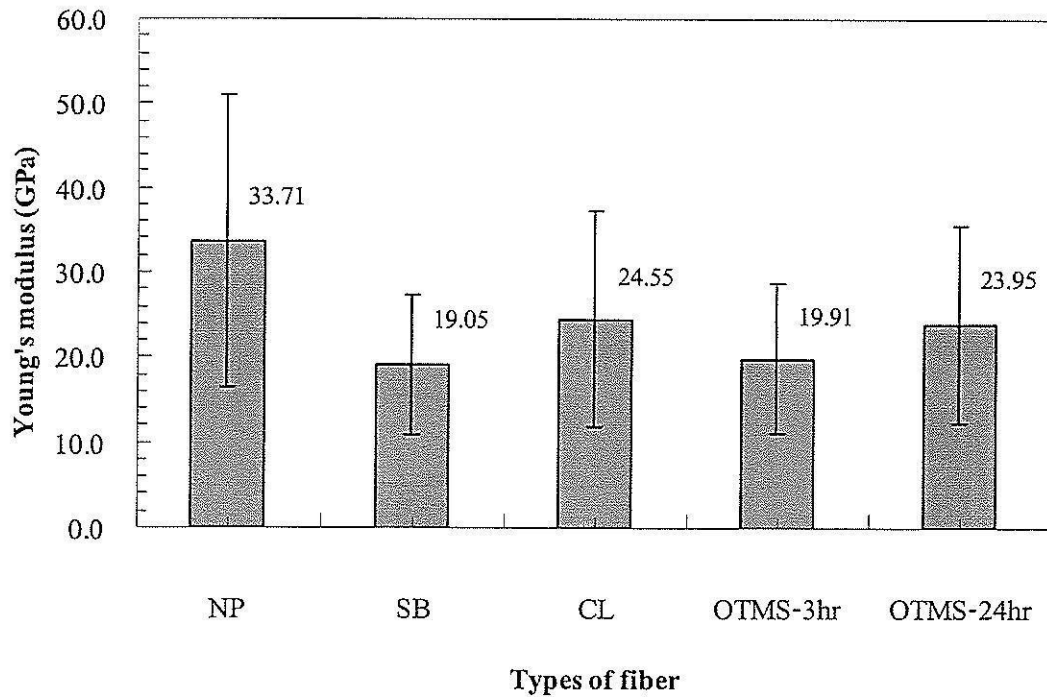
3.5.4 สมบัติทางกลเส้นใยป่านที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย octadecyltrimethoxysilane (OTMS)

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติเชิงกลระหว่างเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน กับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไฮดรอกซิล OTMS เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.15 พบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวมีความทนต่อแรงดึงลดลงเป็น 340 MPa ค่ามอดุลัสของยังก็ลดลงเป็น 19 GPa และความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เป็น 3.4 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเวลาในการปรับสภาพพื้นผิวของเส้นใยเพิ่มขึ้นเป็น 24 ชั่วโมง ค่าความทนต่อแรงดึงลดลงเป็น 327 MPa ค่ามอดุลัสของยังก็เพิ่มขึ้นเป็น 23 GPa และความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักลดลงเป็น 3.2 เปอร์เซ็นต์

การปรับสภาพพื้นผิวด้วย OTMS มีผลต่อการลดลงของความทนต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มเวลาการปรับสภาพพื้นผิวด้วย OTMS มีผลทำให้มอดุลัสของยังก็เพิ่ม แต่ความทนต่อแรงดึงลดลง ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก



(a)



(c)

รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความทนต่อแรงดึง (a) โมดูลัสของยังก์ (b) และ ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (c) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน (NP) และผ่าน (SB) การสกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย OTMS เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (NP) เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

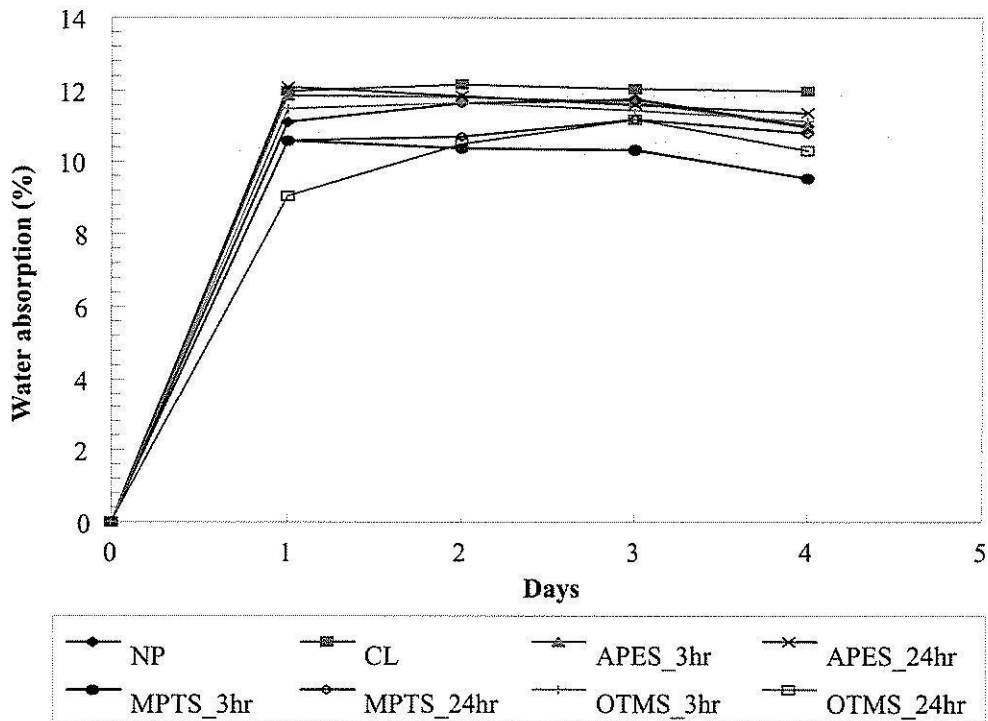
ชนิดของเส้นใย	ความทนต่อแรงดึง (MPa)		มอดุลัสของยังก์ (GPa)		ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (%)	
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
NP	130.0-750.0	385.5±175.7	10.38-69.16	33.71±17.31	2.13-5.92	3.17±0.60
CL	153.0-1143.0	522.5±259.8	7.53-55.17	24.55±12.79	2.29-6.04	3.80±0.86
APES-3hr	139.0-735.0	303.6±120.7	7.95-53.16	18.79±10.02	1.54-4.32	2.56±0.58
APES-24hr	174.0-741.0	382.1±178.7	15.23-65.07	28.83±13.70	1.92-4.19	2.94±0.48
MPTS-3hr	85.0-733.0	343.2±168.9	8.33-49.34	25.21±10.45	2.34-5.17	3.57±0.65
MPTS-24hr	102.0-896.0	301.0±173.2	13.68-47.33	26.95±11.12	2.17-4.37	3.28±0.51
OTMS-3hr	144.0-865.0	340.6±159.0	9.92-49.60	19.91±8.87	1.62-10.04	3.44±1.41
OTMS-24hr	130.0-608.0	327.8±129.9	11.28-51.38	23.95±11.67	1.85-6.48	3.26±0.97

3.6 สมบัติการดูดซับน้ำของเส้นใยป่านศรนารายณ์

จากรูปที่ 3.16 จะเห็นว่า ปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใยในวันที่ 1 เพิ่มขึ้นถึง 90-120 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากวันที่ 1 จนถึง วันที่ 4 ปริมาณการดูดซับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ปรับสภาพด้วยสารประสานไซเลนกับเส้นใยที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน จะเห็นว่าปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใยจะลดลง

จากตารางที่ 3.3 จะเห็นว่า หลังจากสกัดเส้นใยด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน ทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำในวันที่ 1 เพิ่มขึ้นจาก 111 เป็น 119 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดซับน้ำอาจเป็นผลเนื่องมาจากการทำอัลคาไลน์เซชันเป็นการกำจัดไขมัน ลิกนิน สารที่มีน้ำหนัก โมเลกุลต่ำ และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นสารยึด (binding material) ระหว่าง macrofiber ของเซลลูโลส จึงเกิดช่องว่างระหว่าง macrofiber ที่น้ำสามารถแทรกซึมผ่านได้ และองค์ประกอบหลักที่เหลืออยู่คือ เซลลูโลสเป็นส่วนที่ชอบน้ำ จึงทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นได้

เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน ปริมาณการดูดซับน้ำในวันที่ 1 อยู่ในช่วง 90-121 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิว สำหรับเส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย MPTS และ OTMS ปริมาณการดูดซับน้ำ ประมาณ 90-115 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าปริมาณการดูดซับน้ำ ของเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำสีกัดด้วยตัวทำละลายผสม และเส้นใยที่ผ่านการสีกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวของเส้นใยถูกปกคลุมด้วยชั้นของสารประสานไซเลนทั้งสองชนิดที่มีความชอบน้ำน้อยกว่าพื้นผิวเส้นใยก่อนการปรับสภาพพื้นผิวซึ่งมีหมู่ที่ชอบน้ำเป็นส่วนประกอบคือหมู่ไฮดรอกซี (-OH)



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงปริมาณการดูดซับน้ำของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสีกัดด้วยตัวทำละลายผสม เส้นใยที่ผ่านการสีกัดด้วยตัวทำละลายผสมและต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณการดูดซับน้ำหลังจากการแช่เป็นเวลา 1 วัน ของเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม (NP) เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม และต่อด้วยการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

ชนิดของเส้นใย	ปริมาณการดูดซับน้ำ (%)
NP	110.9
CL	119.3
APES-3hr	118.3
APES-24hr	120.8
MPTS-3hr	105.9
MPTS-24hr	105.7
OTMS-3hr	114.8
OTMS-24hr	90.7

บทที่ 4

บทสรุป

4.1 สรุปผลการวิจัย

การทำควมสะอาดเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างเบนซีนและเมทานอลจะช่วยลดสารจำพวกไขมันและสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้คุณสมบัติเสื่อมสลายเริ่มต้น (onset) ของเส้นใยเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้ คือ 3 ชั่วโมง

เมื่อนำเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงไปต่อดำด้วยการทำอัลตราโซนิกเซชันจะเป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลสออกจากเส้นใยมีผลทำให้จุดเริ่มของอุณหภูมิที่เส้นใยเริ่มเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนเพิ่มขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และระยะเวลาที่เหมาะสม คือ 2 ชั่วโมง โดยที่ความทนต่อแรงดึงของเส้นใยจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในขณะเดียวกันมอดูลัสของยั้งก็จะลดลงแต่ลดลงในสัดส่วนที่น้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของความทนต่อแรงดึง

เมื่อปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยที่ผ่านการทำอัลตราโซนิกเซชันด้วย 1) APES 2) MPTS และ 3) OTMS จะทำให้จุดเริ่มของอุณหภูมิที่เส้นใยเริ่มเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนไม่เปลี่ยนแปลง แต่ทำให้ความทนต่อแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วย 1) APES 2) MPTS และ 3) OTMS คือ 24 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้โดยดูจากค่าความทนต่อแรงดึงเป็นสำคัญ เนื่องจากมอดูลัสของยั้งและความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปลี่ยนระยะเวลาการปรับสภาพ

การสกัดเส้นใยด้วยตัวทำละลายผสม การทำอัลตราโซนิกเซชัน และการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนบางชนิดจะช่วยในการดูดซับน้ำของเส้นใยลดลงเล็กน้อย

4.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของระยะเวลาการปรับสภาพพื้นผิวต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล สัณฐานวิทยา และการดูดซับน้ำ ของเส้นใยป่านศรนารายณ์
- ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับองค์ประกอบเส้นใย และพื้นที่ผิวเส้นใยด้วยเทคนิค BET analysis เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน และ เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน

บรรณานุกรม

1. S. K. Garkhai, R. W. H. Heijenrath, and T. Peijs, *Appl. Compos. Mater.*, **7**, 351, 2000.
2. J. C. M. De Bruijn, *Appl. Compos. Mater.*, **7**, 415, 2000.
3. A. R. Sanadi and D. F. Caulfied, *Compos. Interf.*, **7**, 31, 2000.
4. J. Bayer, *Chem. Fibers Int.*, **50**, 575, 2000.
5. D. S. Varma, M. Varma, and I. K. Varma, *Text. Res. J.*, **54**, 827, 1984.
6. K. Joseph, S. Thomas, and C. Pavithran, *Polymer*, **37**, 5139, 1996.
7. <http://www.oae.go.th/statistic/export/index.html>
8. เอกสารแผนพัฒนาการผลิตป่านศรนารายณ์ ปี 2545-2549. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545.
9. A. K. Bledzki and J. Gassan, *Prog. Polym. Sci.*, **24**, 225, 1999.
10. บุรฉัตร ฉัตรวีระ พิชัย นิมิตรยงสกุล และ Stephen O. Ogunlana. *สภาพลักษณะและคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเส้นใยธรรมชาติในประเทศกำลังพัฒนา*. ม.ป.ก.
11. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. *วิทยาศาสตร์เส้นใย*. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: พิมพ์ครั้งที่ 2. 2543.
12. เอกสารวิชาการพันธุ์พืชไร่. สถาบันวิจัยพืชไร่. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2539.
13. M. K. Kompella and J. Lambros, *Polym. Test.*, **21**, 524, 2002.
14. A. D. Beshay, B. V. Kokta, and C. Daneault, *Polym. Comp.*, **6**, 261, 1985.
15. R. G. Raj, B. V. Kokta, and C. Daneault, *J. Adhes. Sci. Technol.*, **3**, 55, 1989.
16. Y. H. Zang and S. Sapiaha, *Polymer*, **32**, 489, 1991.
17. M. W. Sabaa, *Polm. Degra. Stab.*, **32**, 209, 1991.
18. J. I. Kroschwitz, *Polymer:Fibres and Textiles*, New York, Wiley, 1990.
19. S. C. O. Ugbolue, *Text. Inst.*, **20**, 41, 1900.
20. P. Ghosh, S. Biswas, and C. Datta, *J. Mater. Sci.*, **24**, 205, 1989.
21. D. Maldas, B. V. Kokta, and C. Daneault, *J. Appl. Polym. Sci.*, **37**, 751, 1989.
22. A. K. Saha, S. Das, R. K. Basak, D. Bhatta, and B. C. Mitra, *J. Appl. Polym. Sci.*, **78**, 495, 2000.
23. M. G. S. Yap, Y. T. Que, L. H. Chia, and H. S. O. Chan, *J. Appl. Polym. Sci.*, **43**, 2057, 2000.
24. D. Nabi Saheb and J. P. Jog, *Adv. Polym. Tech.*, **18**, 351, 1999.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 แสดงอุณหภูมิ onset ของการสลายตัวที่ 2 ลักษณะและตำแหน่งพีคของอนุพันธ์ของการสลายตัวที่ 3 และตำแหน่งพีคของอนุพันธ์ของการสลายตัวที่ 4 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์แบบต่าง ๆ

ชนิดของเส้นใย	2 nd decomposition onset (°C)	3 rd decomposition (°C)	4 th decomposition peak position (°C)
NP (non pretreated)	174	shoulder, onset	356
Solvent boiled (SB) for			
1 hr		peak at 310*	371
2 hr		peak at 310*	370
3 hr	194	peak at 308*	366
4 hr		peak at 311*	364
6 hr		peak at 309*	368
Cleaned (CL): 3hr SB+			
3 wt% alkali for			
1 hr			
2 hr	-	shoulder, onset: 225	371
4 hr			
6 hr			
8 hr			
Cleaned (CL): 3hr SB+			
5 wt% alkali for			
1 hr			373
2 hr	-	shoulder, onset: 226	372
4 hr			372
6 hr			372
8 hr			373

*ลักษณะของพีคอนุพันธ์เป็นพีคที่รวมอยู่กับพีคอนุพันธ์ของการเสื่อมสลายที่ 4

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

ชนิดของเส้นใย	2 nd decomposition onset (°C)	3 rd decomposition (°C)	4 th decomposition peak position (°C)
APES treated for			
3 hr	-	204	360
24 hr	-	204	363
MPTS treated for			
3 hr	-	229	366
24 hr	-	229	362
OTMS treated for			
3 hr	-	230	370
24 hr	-	230	367

*ลักษณะของพีคอนุพันธ์เป็นพีคที่รวมอยู่กับพีคอนุพันธ์ของการเสื่อมสลายที่ 4

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

นางวิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2532 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2536 และ Ph.D. (Macromolecular Science) Case Western Reserve University, OH, USA พ.ศ. 2543 สาขาวิชาการที่มีความสนใจ สเปกโทรสโกปีของพอลิเมอร์ (spectroscopy of polymers) และคอมโพสิทอินเทอร์เฟส (composite interface/interphase) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 31 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาว กษมา จารุกำจร ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถานที่ติดต่อ สาขาวิชา วิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000 การศึกษา พ.ศ. 2533 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2536 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล และ พ.ศ. 2542 Ph.D. (Polymer Engineering) University of Akron, OH, USA สาขาวิชาการที่มีความสนใจ กระบวนการขึ้นรูปและตรวจสอบพอลิเมอร์ (polymer processing and characterization) และพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิท (polymer blends and composites) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 31 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวนิธินาถ ศุภกาญจน์ ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2536 จบการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขา Macromolecular Science จากมหาวิทยาลัย Case Western Reserve ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Polymer Characterization และ Polymer Composites มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติ ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 31 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ

ผู้ร่วมวิจัย

นางยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วัสดุศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2536 และ Ph.D. (Polymer Engineering) University of Akron, OH, USA พ.ศ. 2542 สาขาวิชาการที่มีความสนใจ กระบวนการขึ้นรูปและตรวจสอบพอลิเมอร์ (polymer processing and characterization) และพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต (polymer blends and composites) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 31 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ

ผู้ร่วมวิจัย

นางปราณี ชุมสำโรง ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2538 และ Ph.D. (Polymer Science and Technology) University of Manchester Institute of Science and Technology, UK พ.ศ. 2544 สาขาวิชาการที่มีความสนใจ emulsion polymerization และพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต (polymer blends and composites) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 13 บทความ และ รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ