

รหัสโครงการ [SUT7-710-54-12-22]



รายงานการวิจัย

การศึกษาผลการดัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใยป่าน
ศรนารายณ์ที่ปลูกในนครราชสีมา
(Study of Heat Treatment Effect on the Fiber Characteristic
of Sisal Planted in Nakhon Ratchasima)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การศึกษาผลการดัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใย
ป่านศรนารายณ์ที่ปลูกในนครราชสีมา
(Study of Heat Treatment Effect on the Fiber Characteristic
of Sisal Planted in Nakhon Ratchasima)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. กษมา จารุกำจร

รองศาสตราจารย์ ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

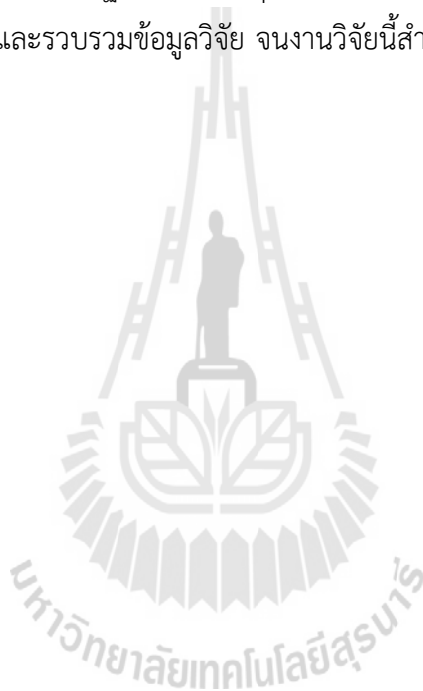
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2554

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน/2558

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการวิจัยโครงการ “การศึกษาผลการตัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปลูกในนครราชสีมา (Study of Heat Treatment Effect on the Fiber Characteristic of Sisal Planted in Nakhon Ratchasima) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้สนับสนุนทุนวิจัย (ปีงบประมาณ 2554) และ ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการสนับสนุนการดำเนินงานของโครงการวิจัย และขอขอบคุณ นางสาววิมลพันธ์ กันแก้ว นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ และนางสาวสาวิตรี ศรีสุวรรณ และนางสาวณัฐธิดา ไชยสมคุณ นักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ ที่ได้ทำการเตรียมตัวอย่างและรวบรวมข้อมูลวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง



บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาผลของการตัดแปรด้วยความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปลูกในพื้นที่อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา อุณหภูมิที่ใช้ตัดแปรเส้นใยคือ 150 180 และ 200 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการตัดแปร 30 60 และ 120 นาที สำหรับการตัดแปรที่ 150 และ 180 องศาเซลเซียส และ 10 – 60 นาที สำหรับการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส สมบัติทางกายภาพที่ศึกษาคือ องค์ประกอบเคมี โครงสร้างเคมีที่พื้นผิว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยา จากการศึกษานี้สามารถสรุปผลของการตัดแปรด้วยความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์ได้ดังนี้

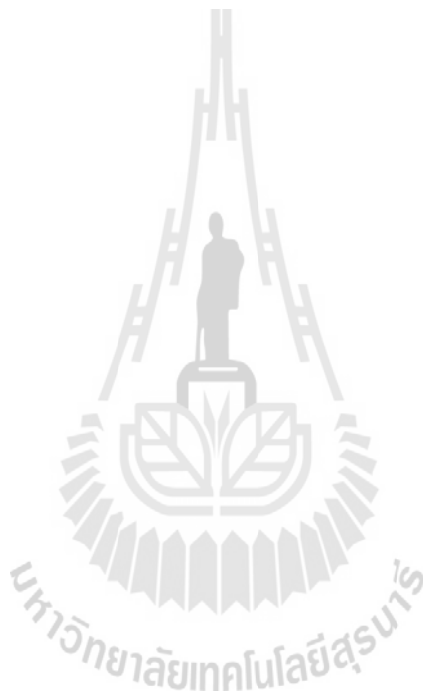
เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรประกอบด้วย ความชื้นประมาณร้อยละ 7 เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อบแห้งแล้วพบว่าประกอบด้วยลิกนินร้อยละ 8 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 19 และเซลลูโลสร้อยละ 66 และมีค่ามอดุลัสของยังก์ เท่ากับ 52 GPa ความทนต่อแรงดึงเท่ากับ 1.1 GPa และ ความเหนียวเท่ากับ 18.6 J/m³ ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยมีชั้นเยื่อบาง ๆ ปกคลุมผิวหน้าสันนิษฐานว่าเป็นสารประกอบจำพวกไขและแวกซ์

การตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นของเส้นใยป่านศรนารายณ์เหลือประมาณร้อยละ 5-6 เมื่อระยะเวลาตัดแปรไม่น้อยกว่า 30 นาที ปริมาณความชื้นของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร และการตัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ไขและแวกซ์ถูกกำจัดและทำให้ลิกนินเสื่อมสลายเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อการยึดติดกันของโครงสร้างแม่โครไฟบริล การตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 150 องศาเซลเซียส ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อมอดุลัสของยังก์และความทนต่อแรงดึง (tensile strength) แต่มีผลทำให้ความเหนียวของเส้นใยลดลง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้น

การตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นของเส้นใยร้อยละ 6-7 มีผลทำให้ไขและแวกซ์ถูกกำจัด และทำให้ลิกนินเสื่อมสลายมากขึ้นเมื่อเทียบกับการตัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส การตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 180 องศาเซลเซียส มีผลต่อมอดุลัสของยังก์และมีผลต่อการลดลงเล็กน้อยของความทนต่อแรงดึง (tensile strength) แต่มีผลทำให้ความเหนียวของเส้นใยลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้น มอดุลัสของยังก์เพิ่มขึ้นใน 30 นาทีของการตัดแปร แต่เมื่อเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้นมอดุลัสของยังก์จะลดลง อย่างไรก็ตามการตัดแปรเส้นใยที่ 180 องศาเซลเซียสทำให้สมบัติความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าสมบัติของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส

การตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นของเส้นใยร้อยละ 6-7 มีผลทำให้ไขและแว็กซ์ถูกกำจัด และทำให้ลิกนินเสื่อมสลายมากขึ้นเมื่อเทียบกับการตัดแปรเส้นใยที่ 150 และ 180 องศาเซลเซียส การตัดแปรเส้นใยปานครนารายณ์ที่ 200 องศาเซลเซียส มีผลต่อการลดลงของมอดูลัสของยังก์ ความทนต่อแรงดึง และความเหนียวของเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อระยะเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้นสมบัติความทนต่อแรงดึงจะลดลง และสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียสจะต่ำกว่าของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรเส้นใยที่ 150 และ 180 องศาเซลเซียส

การตัดแปรเส้นใยปานครนารายณ์ด้วยความร้อนที่ 150 180 และ 200 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นใยในระดับไมโครเมตร



Abstract

In this research project, sisal fiber of *Agave Sisalana* species, harvested in AMPHUR, DANKHUNTHOD, NAKORNATCHASIMA, was employed to study the effect of thermal treatment on physical properties of the treated sisal. The fiber was treated at 150°C and 180°C for 30, 60, and 120 min, and at 200°C for 10 - 60 min. Physical properties of untreated and treated sisal fiber were investigated via FTIR microspectrometer, thermogravimetric analyzer, universal testing machine, scanning electron microscope. The sisal fiber compositions were determined using the detergent technique.

It was found that sisal fiber planted in NAKORNATCHASIMA contained 7 wt.% moisture and, on dry basis, comprised of 8% lignin, 19% hemicellulose, 66% cellulose. The fiber's tensile properties included Young's modulus of 52 GPa, tensile strength of 1.1 GPa, and toughness of 18.6 J/m³

By the thermal treatment at 150°C, 5-6 wt.% moisture retained within the treated sisal, wax was totally removed, and lignin was partially degraded. However, the treatment had no chemical effect on hemicellulose and cellulose structure. Young's modulus and tensile strength of the treated sisal were almost the same as those of untreated sisal but toughness of the treated fiber gradually decreased with increasing time of treatment.

With the thermal treatment at 180°C, there was 6-7 wt.% moisture left within sisal fiber, wax was totally removed, and lignin was degraded. Treatment at 180°C made lignin degraded more effectively than treatment at 150°C. However, the treatment had no chemical effect on hemicellulose and cellulose structure. Young's modulus tended to increase within treatment of 30 min after that it decreased with increasing the duration of treatment. The treatment at 180°C had insignificant influence on tensile strength of the treated sisal. Toughness of the treated fiber decreased with increasing time of treatment. In addition, the tensile properties of the 150°C treated sisal was lower than those of the 180°C treated sisal.

The 200°C treated sisal had moisture content of 6-7 wt.%. Thermal treatment of sisal fiber at 200°C removed lignin more effectively than the treatment at 150°C and 180°C. Wax was also totally removed after the treatment. Young's modulus, tensile strength and toughness of the treated sisal was much lower than those of untreated, 150°C treated, and 180°C treated sisal. Those tensile properties decreased with increasing time of treatment.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 ทฤษฎีและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework).....	3
1.3 การทบทวนวรรณกรรม (Reviewed Literature) ที่เกี่ยวข้อง.....	5
1.3.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยจากป่านศรนารายณ์.....	5
1.3.2 สมบัติอินเทอร์เฟซของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ.....	7
1.3.3 การปรับปรุงเส้นใยเซลลูโลสด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Modification)	8
1.3.4 การปรับปรุงเส้นใยเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Modification).....	8
1.3.5 การดัดแปรเส้นใยเซลลูโลสด้วยความร้อน (Heat Treatment).....	9
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
1.6 ขอบเขตของโครงการวิจัย	10
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	11
2.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	11
2.2 วัสดุดิบ.....	11
2.3 วิธีการทดลอง.....	11
2.3.1 การเตรียมเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการดัดแปรด้วยความร้อน.....	11
2.3.2 การดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยความร้อน	11
2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	12
2.4.1 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	12
2.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของพื้นผิวเส้นใย	12
2.4.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน	12
2.4.5 การทดสอบสมบัติทางกล	13
2.4.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา.....	13
บทที่ 3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	14
3.1 ผลการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	14
3.1.1 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	14
3.1.2 สมบัติทางความร้อน.....	16
3.1.3 สมบัติทางกล.....	20
3.1.4 สัณฐานวิทยา.....	23
3.2 ผลการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส	24
3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....	24
3.2.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเคมีที่พื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	25
3.2.3 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	28
3.2.4 สมบัติทางความร้อน.....	30
3.2.5 สมบัติทางกล.....	33
3.3 ผลการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส	36
3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....	36
3.3.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเคมีที่พื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	37
3.3.3 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	39
3.3.4 สมบัติทางความร้อน.....	42
3.3.5 สมบัติทางกล.....	45
3.3.6 สัณฐานวิทยา.....	48
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51
ประวัติผู้วิจัย.....	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์	5
1.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์	5
3.1 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที.....	14
3.2 อุณหภูมิการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที	19
3.3 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที.....	22
3.4 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที.....	24
3.5 FTIR Band Assignment	27
3.6 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที.....	28
3.7 อุณหภูมิการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่ 180 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที.....	32
3.8 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที.....	35
3.9 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที.....	36
3.10 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาทีและ 60 นาที.....	39

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.11 อุณหภูมิการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยป่าน ครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที.....	44
3.12 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการ ดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที.....	47



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างของผนังเซลล์ของเส้นใยธรรมชาติ (ที่มา: http://www.ccrcc.uga.edu/~mao/intro/outline.htm) (a) และ โครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลส (b).....	6
3.1 กราฟแสดงการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปร (a) และ เส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที (b) 60 นาที (c) และ 120 นาที (d) ตามลำดับ	15
3.2 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (TGA) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (DTGA) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน	16
3.3 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที	18
3.4 กราฟระหว่างสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านศรนารายณ์และระยะเวลาการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส: โมดูลัสของยังก์ (a) ความทนต่อแรงดึง (b) และ ความเหนียว (c)	21
3.5 ภาพถ่าย SEM (x600) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปร (a) และเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (b) 60 นาที (c) และ 120 นาที (d).....	23
3.6 FTIR spectra ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที	26
3.7 กราฟแสดงการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปร (a) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที (b) 60 นาที (c) และ 120 นาที (d).....	29
3.8 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรเส้นใยและผ่านการตัดแปรเส้นใยที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที.....	31
3.9 กราฟระหว่างสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านศรนารายณ์และระยะเวลาการตัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส: โมดูลัสของยังก์ (a) ความแข็งแรงดึง (b) และ ความเหนียว (c)	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 FTIR spectra ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรด้วย ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที.....	38
3.11 กราฟแสดงการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการ ตัดแปร (a) และ เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที (b) 20 นาที (c) 30 นาที (d) (continued).....	40
3.11 (Continued) กราฟแสดงการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที (e) 50 นาที (f) และ 60 นาที (g)	41
3.12 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใย ป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที	43
3.13 กราฟระหว่างสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านศรนารายณ์และระยะเวลาการตัด แปรที่ 200 องศาเซลเซียส: โมดูลัสของยังก์ (a) ความแข็งแรงดึง (b) และ ความเหนียว (c)	46
3.14 ภาพถ่าย SEM (x600) แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (a) 20 นาที (b) 30 นาที (c) 40 นาที (d) 50 นาที (e) และ 60 นาที (f).....	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันในต่างประเทศได้มีความพยายามในการนำเส้นใยธรรมชาติ มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต และ เซรามิกคอมโพสิต ด้วยเหตุผลทางด้านความปลอดภัยต่อมนุษย์ ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และปัจจัยทางด้านการพัฒนาที่ยั่งยืนในแง่ของการใช้แล้วไม่หมดไป เส้นใยธรรมชาติที่ได้มีการศึกษาวิจัย ได้แก่ เส้นใยจาก ปอติวบา (kenaf) ปอกระเจา (jute) ปอแก้ว (rossells) 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]

ประเทศไทยมีการนำเอาเส้นใยธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มนอกเหนือจากการส่งออกในรูปแบบผลิตภัณฑ์การเกษตรน้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยแทบจะไม่ได้ใช้ประโยชน์จากสมบัติเชิงกลที่ดีของเส้นใยธรรมชาติที่มีอยู่ในฐานะที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกเส้นใยธรรมชาติรายใหญ่รายหนึ่งของโลกและสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศ แต่มีปัญหาในเรื่องของความผันผวนของราคาในตลาดโลก [7] ดังนั้น แนวทางการนำเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมให้มากขึ้น น่าจะเป็นการเพิ่มวัสดุทางเลือกในการใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและใช้แล้วไม่หมดไป ลดการพึ่งพาเส้นใยเสริมแรงสังเคราะห์ เช่น เส้นใยเซรามิก หรือเส้นใยพอลิเมอร์ที่ต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติในรูปของแร่ต่าง ๆ หรือ น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตเส้นใย ซึ่งทรัพยากรธรรมชาตินี้ใช้แล้วหมดไปนอกจากนี้ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเส้นใยธรรมชาติอีกทางหนึ่งและยังเป็นการนำเอาสมบัติที่ดีของเส้นใยธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

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

จากสมบัติเชิงกลที่เด่นของเส้นใยป่านศรนารายณ์เมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ ประกอบกับการปลูกอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา ทำให้คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาและนำเอาเส้นใยป่านศรนารายณ์มาใช้ผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งหากการวิจัยพัฒนาในการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตประสบผลสำเร็จในเชิงพาณิชย์ เป็นการจูงใจให้เกษตรกรหันมาปลูกป่านศรนารายณ์เพิ่มขึ้นทดแทนการนำเข้าเส้นใยจากต่างประเทศ จะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของรายได้ในภาคเกษตรกรรม ทั้งในรูปของการเพิ่มตลาดและการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตผลทางเกษตร เป็นการลดต้นทุนในการผลิตภาคอุตสาหกรรมเนื่องจากราคาเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่ำกว่าเส้นใยแก้ว (คิดเป็น ร้อยละ 18 ของราคาเส้นใยแก้ว [9]) และมีวัสดุเสริมแรงทางเลือกหรือสามารถทดแทนได้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและใช้แล้วไม่หมดไป นอกจากนี้ยังเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมโดยการลดปริมาณขยะพลาสติกและประหยัดพลังงาน และท้ายที่สุดได้อาศัยความรู้ใหม่ที่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืนที่เน้นการใช้ประโยชน์จากผลิตผลทางการเกษตรของประเทศ

อย่างไรก็ดีเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติทางกายภาพที่เป็นข้อด้อยอยู่ 2 ประการ คือ ความเสถียรต่อความร้อนและปริมาณความชื้น ซึ่งโดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ไม่เกิน 240 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เส้นใยจะเกิดการเสื่อมสภาพ (degradation) ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิการขึ้นรูปพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติที่ต้องจำกัดอยู่ที่อุณหภูมิไม่เกินอุณหภูมิการเสื่อมสภาพของเส้นใย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณความชื้นของเส้นใยจะส่งผลต่อความเสถียรของรูปร่างของพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น ทำให้คอมโพสิตเกิดการบวมตัวซึ่งส่งผลต่อการลดลงของสมบัติเชิงกล นอกจากนี้ความชื้นยังส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดรอยโหว่ขึ้นได้ ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อลดหรือกำจัดปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อพอลิเมอร์คอมโพสิต

สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน เป็นต้น ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ เกิดความไม่เข้ากันระหว่างพื้นผิวเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ซึ่งพอลิเมอร์จะยึดติดกับพื้นผิวเส้นใยได้น้อย ส่งผลให้ความแข็งแรงทางกลลดลง การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีช่วยปรับปรุงความแข็งแรงทางกลได้ระดับหนึ่งเมื่อเทียบกับในกรณีที่ใช้เส้นใยที่ไม่ถูกปรับปรุง การปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ อัลคาไลเซชัน (alkalization) [9] การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารประสานซิลิโคน $[R-Si(OR')_3]$ การกราฟต์เส้นใยด้วยวิธีโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (graft copolymerization) [9 - 14] การทำอิมเพกเนชัน (impregnation) [9] การทำไซยาโนเอทิลเลชัน (cyanoethylation) [15] การทำอะเซทิลเลชัน (acetylation) [9] และการทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟอสฟอเนต [16]

การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีทางเคมี ประกอบด้วยขั้นตอนที่ยุ่งยาก สารเคมีที่ใช้อาจมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น สารประสานไซเลน สารเคมีบางชนิดเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการไฮยาโนเอทิลเลชัน การตัดแปรรูปด้วยวิธีการทางกายภาพด้วยเทคนิคการทำพลาสมา (plasma technique) ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาสูง ดังนั้น การตัดแปรรูปเส้นใยธรรมชาติด้วยความร้อนน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก ประหยัดต้นทุน ลดการใช้และอันตรายจากสารเคมี และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการตัดแปรรูปด้วยวิธีทางเคมี

1.2 ทฤษฎีและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework)

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการตัดแปรรูปไหมหรือฝ้ายด้วยความร้อนอย่างกว้างขวาง การตัดแปรรูปด้วยความร้อนนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของไหมหรือฝ้าย ไม้เป็นวัสดุคอมโพสิตชนิดหนึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส (ร้อยละ 40-45) เฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ 20-30) ลิกนิน (ร้อยละ 20-30) และความชื้น (ร้อยละ 5-8) เซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างผลึก สำหรับโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินจะเป็นส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (amorphous) ทำหน้าที่เป็น binding materials ที่อยู่ระหว่างแมโครไฟบริล (macrofibril) ของเส้นใย [17] ส่วนน้ำจะอยู่ที่ผนังเซลล์หรือลูเมน (lumen) จากงานวิจัยเกี่ยวกับการตัดแปรรูปไหมที่อุณหภูมิ 160-280 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที-24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน หรือ ก๊าซเฉื่อย ความร้อนจากการตัดแปรรูปจะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพขององค์ประกอบข้างต้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของไหม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไหม ขนาดของชิ้นงาน ปริมาณความชื้น ระดับความแข็งแรงทางกลที่ต้องการ และ ความคงตัวของขนาดชิ้นงาน (dimension stability) [18]

เส้นใยลิกโนเซลลูโลสจากป่านศรนารายณ์มีส่วนประกอบที่สำคัญคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของไหมหรือฝ้าย เส้นใยป่านศรนารายณ์ประกอบด้วย เซลลูโลส (ร้อยละ 66) เฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ 12) ลิกนิน (ร้อยละ 10) และ ความชื้น (ร้อยละ 10) ดังแสดงในตารางที่ 1.1 วิธีการตัดแปรรูปด้วยความร้อนน่าจะเป็นแนวทางที่ประยุกต์ใช้กับการตัดแปรรูปเส้นใยป่านศรนารายณ์ซึ่งเป็นเส้นใยลิกโนเซลลูโลสเช่นเดียวการตัดแปรรูปไหมหรือฝ้ายด้วยความร้อน ในระยะ 5 ปีที่ผ่านมาเริ่มมีการศึกษาการตัดแปรรูปเส้นใยธรรมชาติเช่น เส้นใยไผ่ เส้นใยปอมนิลา และ เส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยความร้อนที่เน้นผลที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต แต่การศึกษารายละเอียดของการตัดแปรรูปที่มีต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใย ได้แก่ ขนาดเส้นใย สมบัติทางความร้อน ปริมาณความชื้น ลักษณะผลึก ลักษณะพื้นผิวเส้นใย มุมสัมผัส และสมบัติทางกล โดยที่ลักษณะจำเพาะเหล่านี้จะมีผลต่อสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งจะขอกกล่าวโดยสังเขปดังนี้

— ด้านของความสามารถในการถ่ายโอนแรงระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดเป็นแผ่นฟิล์มปกคลุมพื้นผิวเส้นใยของเมทริกซ์ (wet) และการยึดติดที่พื้นผิวของเส้นใยทั้งหมดนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับ ปริมาณความชื้น ลักษณะผลึก ลักษณะพื้นผิว และ พลังงานพื้นผิว (สัมพันธ์กับมุมสัมผัส) ของเส้นใย

— ด้านความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) ภายใต้แรงกระทำของเส้นใยเพื่อเป็นการปลดปล่อยความเค้นที่ได้รับบางส่วน ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้น และปริมาณของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ถ้าปริมาณของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ระหว่างแม่โคโรไฟบริลของเส้นใยลดลงจะสามารถทำให้เส้นใยเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดีในสภาวะที่ต้องรับแรงกระทำโดยไม่ล้มเหลว (failure) สำหรับปริมาณความชื้นต้องอยู่ในปริมาณที่ไม่น้อยเกินไปจนไปลด flexibility ของเส้นใย แต่ต้องไม่มากเกินไปจนลดประสิทธิภาพในการยึดติดที่พื้นผิวเส้นใย

— ด้านความทนทานต่อความร้อน เส้นใยที่ผ่านการกระบวนการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสจะสามารถทนความร้อนได้สูงขึ้นโดยไม่เสื่อมสลาย ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเป็นสารที่ทนความร้อนได้ไม่ดีเท่าเซลลูโลส ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางด้านอุณหภูมิก่อนขึ้นรูป ทำให้ใช้กับชนิดของพอลิเมอร์เมทริกซ์ในวงจำกัด

— ด้านความแข็งแรงทางกลของคอมโพสิต ลักษณะจำเพาะของเส้นใยที่มีผลต่อความแข็งแรงทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต คือ ความแข็งแรงทางกลของตัวเส้นใยเอง ขนาดเส้นใย (aspect ratio) น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนแรงได้สูงสุดที่เป็นไปได้ ปริมาณความชื้น (กล่าวแล้วข้างต้นในเรื่องของการถ่ายโอนแรง) และลักษณะผลึก

อย่างไรก็ตามการศึกษาผลการตัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใยป่านศรนารายณ์ยังไม่ครบถ้วนและรอบด้าน เช่น ผลของระยะเวลาในการตัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใย และงานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวกับการตัดแปรเส้นใยธรรมชาติด้วยความร้อนจะกระทำที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ประมาณ 150-180 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้น้ำระเหยออกจากเส้นใย และเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเสื่อมสลาย และผลของการศึกษาดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมถึงลักษณะจำเพาะของเส้นใยทั้งหมด ทั้งนี้ลักษณะจำเพาะของเส้นใยยังขึ้นอยู่กับปัจจัยทางภูมิศาสตร์ ภูมิอากาศ การดูแลขณะปลูก และสายพันธ์ สำหรับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปลูกในประเทศไทยยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของการตัดแปรด้วยความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาผลการตัดแปรความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปลูกในนครราชสีมา

1.3 การทบทวนวรรณกรรม (Reviewed Literature) ที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยจากป่านครนารายณ์

ป่านครนารายณ์ (*Agave Sisalana*) เป็นพืชเศรษฐกิจ ลักษณะใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยวเส้นใยาว มีปริมาณของเส้นใยระหว่าง ร้อยละ 3.5-5 เส้นใยมีลักษณะแข็ง เป็นเยื่อชั้นในของเปลือกไม้ ความยาวของเส้นใยป่านครนารายณ์ประมาณ 1.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1.2 [19] ผลผลิตเส้นใยป่านครนารายณ์ประมาณครึ่งหนึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเชือก เนื่องจากมีสมบัติพิเศษ คือ ไม่ลื่น มีการยืดหดตัวน้อย และทนทานมากเมื่อถูกน้ำ นอกจากนั้น นำไปใช้ทำเยื่อกระดาษ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกซ์สำหรับขัดโลหะที่ซูเปอร์เคมียมให้เป็นเงางาม ใช้ในการทำหัตถกรรม ได้แก่ หมวก กระเป๋า เข็มขัด รองเท้า และไม้กวาด หรือนำไปผสมในวัสดุก่อสร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแต่มิ น้ำหนักเบา เช่น ฝ้า เพดาน และฝ้าผนัง เส้นใยป่านครนารายณ์มีความแข็งแรงเชิงกลดีกว่าเส้นใยจาก ปอ กระเจา (jute) ปอลินี (flax) กัญชง (hemp) และ ฝ้าย (cotton) โดยมีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) 511-635 MPa มีค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) 9.4-22.0 GPa และสามารถยืดได้ก่อนขาด (elongation at break) 2.0-2.5% [9] องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านครนารายณ์แสดงในตารางที่ 1.1 [9, 21]

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านครนารายณ์ [9]

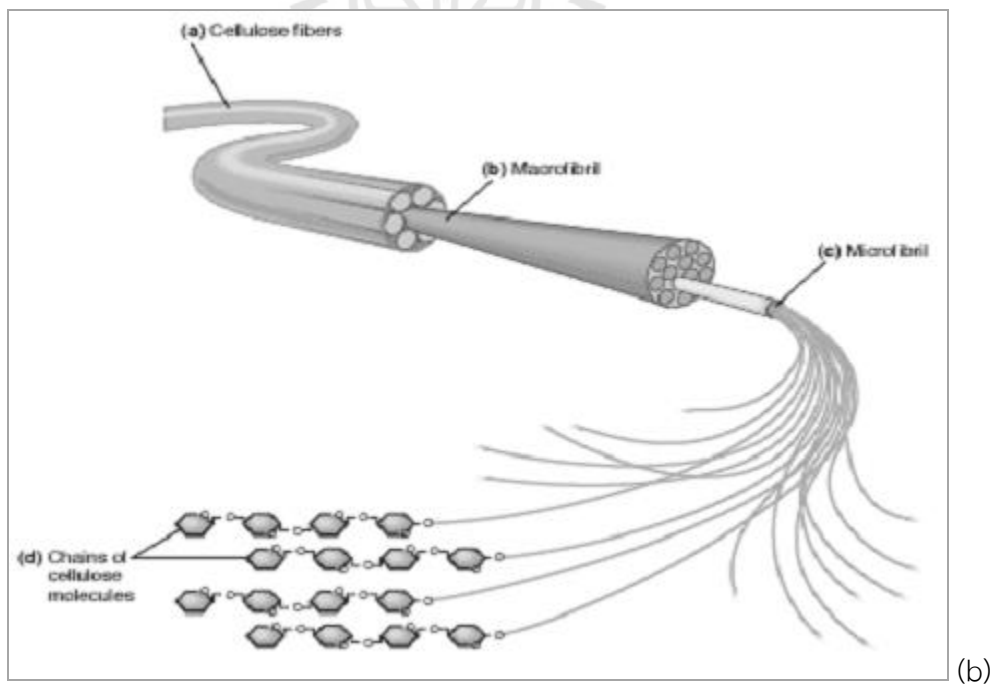
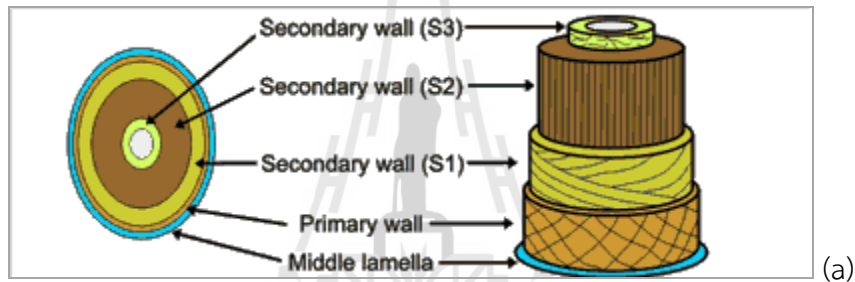
องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
เซลลูโลส	65.8
เฮมิเซลลูโลส	12.0
ลิกนิน	9.9
เพกติน	0.8
องค์ประกอบที่ละลายน้ำ	1.2
แวกซ์ (wax)	0.3
น้ำ	10.0

ตารางที่ 1.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านครนารายณ์ [19]

สมบัติทางกายภาพ	
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

โครงสร้างเส้นใยลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยผนังเซลล์ชั้นต่าง ๆ คือ ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary wall) 1 ชั้น และผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary wall) 3 ชั้น ระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิเป็นชั้นของ middle lamella ดังแสดงในรูปที่ 11 (a)

โครงสร้างของเส้นใยลิกโนเซลลูโลส 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) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 (b) โครงสร้างผลึกพื้นฐานซึ่งมีความยาว 10-20 นาโนเมตร จะประกอบด้วยโมเลกุลของเซลลูโลส และโครงสร้างผลึกพื้นฐานรวมกันเป็นไมโครไฟบริลที่มีความยาวไม่เกิน 100 ไมโครเมตร ซึ่งไมโครไฟบริลรวมกันเป็นแม็คโครไฟบริลที่มีความยาวประมาณ 100 ไมโครเมตร ส่วนเส้นใยเป็นการรวมกันของแม็คโครไฟบริลที่มีความยาวในระดับมิลลิเมตร [22]



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของผนังเซลล์ของเส้นใยธรรมชาติ (ที่มา: <http://www.crc.uga.edu/~mao/intro/outline.htm>) (a) และ โครงสร้างของเส้นใยลิกโนเซลลูโลส (b) [23]

1.3.2 สมบัติอินเทอร์เฟสของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตนอกจากจะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของเส้นใยแล้วยังขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้ระหว่างผิวหน้า (interfacial compatibility) ของพอลิเมอร์เมทริกซ์ (polymer matrix) และวัสดุเสริมแรง พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์สำหรับวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติมีทั้งชนิดเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์โดยทั่วไปได้แก่ อีพอกซี, พอลิเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว, และ ฟีนอลิก ส่วนเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ได้แก่ พอลิเอทิลีน, พอลิโพรพิลีน และ พอลิสไตรีน พอลิเมอร์เหล่านี้มีอันตรกิริยา (interaction) กับผิวหน้าเส้นใยที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์ เส้นใยลิกโนเซลลูโลสมีความเป็นขี้สูงและสามารถดูดน้ำได้ในปริมาณมาก จึงเข้ากันได้ยาก (incompatible) กับพอลิเมอร์ชนิดไม่มีขี้ เช่น พอลิเอทิลีน และ พอลิโพรพิลีน จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างผิวหน้า (interface) ของพอลิเมอร์และเส้นใยและเพื่อลดปริมาณการดูดน้ำ [2, 24-26] การที่พอลิเมอร์มีการยึดติดที่ดีกับผิวหน้าเส้นใยจะส่งผลต่อการกระบวนการส่งผ่านความเค้น (stress transfer) ระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยซึ่งทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีประสิทธิภาพเชิงกลที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวที่ดีของเส้นใยในเมทริกซ์ ซึ่งจะส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ

โครงสร้างและคุณภาพของบริเวณ "ระหว่างผิวหน้า" และ/หรือ "อินเทอร์เฟส (interphase)" มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยลิกโนเซลลูโลสมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพลาสติก อินเทอร์เฟส คือ เฟสหรือเนื้อที่ระหว่างวัสดุเสริมแรงและเมทริกซ์ ส่วน interface คือพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุเสริมแรงและเมทริกซ์ การปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยธรรมชาติและพอลิเมอร์เป็นการเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ซึ่งอาจเป็นพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะโควาเลนต์ หรือเป็นการทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียว (miscible) ของโมเลกุลบนเส้นใยและโมเลกุลพอลิเมอร์ในอินเทอร์เฟส การเพิ่มอันตรกิริยาและการทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวจะทำให้เกิดการยึดติดที่ดี (adhesion) ระหว่างผิวหน้าของเส้นใยและเมทริกซ์ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งในประสิทธิภาพการถ่ายโอนความเค้น (stress transfer) ระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ การถ่ายโอนความเค้นที่ดีจะส่งผลทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงผิวหน้าของเส้นใยลิกโนเซลลูโลสจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการปรับปรุงความแข็งแรงเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำวิธีการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ (physical methods) และทางเคมี (chemical methods) มาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นใยลิกโนเซลลูโลสให้เหมาะสมที่สุดเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ วิธีการปรับปรุงเส้นใยแต่ละวิธีจะมีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มการยึดติดระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยที่แตกต่างกัน

1.3.3 การปรับปรุงเส้นใยลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Modification)

การปรับปรุงด้วยวิธีทางกายภาพได้แก่การทำ fibrillation และ electric discharge ตัวอย่างการทำ electric discharge ได้แก่ การทำพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำ (cold plasma), sputtering, และ corona discharge วิธีการทางกายภาพจะทำให้โครงสร้างและสมบัติที่ผิวหน้าของเส้นใยเปลี่ยนแปลงซึ่งจะช่วยปรับปรุงการยึดติดเชิงกล (mechanical bonding) กับเมทริกซ์ [27]

การทำพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำ (cold plasma หรือ low temperature discharge) จะทำให้เกิด chemical implantation, etching, พอลิเมอไรเซชัน, อนุมูลอิสระ (free radical formation) และโครงสร้างผลึก (crystallization) วิธีนี้จึงเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงลักษณะเฉพาะของพื้นผิวของเส้นใยและวัสดุพอลิเมอร์ สำหรับการทำให้ sputtering ส่วนมากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ความขรุขระของพื้นผิวซึ่งจะช่วยเพิ่มการยึดติดกับเมทริกซ์ การปรับปรุงผิวหน้าเส้นใยลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธี electrical discharge มีจุดประสงค์เพื่อลดความหนืดขณะหลอม และเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเส้นใยลิกโนเซลลูโลสและพอลิเอทิลีน การทำ corona discharge หรือ โคโรนาทรีทเมนต์ (corona treatment) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการกระตุ้นให้พื้นผิวเส้นใยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานพื้นผิวของเส้นใยลิกโนเซลลูโลส การเปลี่ยนแปลงนี้จะมีผลต่อความหนืดของวัสดุเชิงประกอบขณะหลอม

นอกจากนี้ได้มีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยเทคนิคทางกายภาพ เช่นการตัดแปรรพอลิเมอร์เอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากไม้ด้วยลำแสงอิเล็กตรอน [28] และการตัดแปรรพอลิเมอร์โพรพิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยผงซีลี้อยู่ด้วยการฉายรังสีแกมมา[29]

1.3.4 การปรับปรุงเส้นใยลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Modification)

วิธีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งคือการปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมี (chemical modification) ได้แก่ อัลคาไลเซชัน (alkalization) [9] และ การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน $[R-Si(OR')_3]$ นอกจากสองวิธีดังกล่าวนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกเช่น การกราฟต์เส้นใยด้วยวิธีโคพอลิเมอไรเซชัน (graft copolymerization) [9-14] การทำอิมเพกเนชัน (impregnation) [9] การทำไซยาโนเอทิลเลชัน (cyanoethylation) [15] การทำอะเซทิลเลชัน (acetylation) [9] และการทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟอสฟอเนต [16]

การปรับปรุงเส้นใยลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมี เป็นการใช่วัสดุตัวที่สามช่วยเพิ่มการเข้ากันได้ของวัสดุสองชนิดแรกด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งวัสดุชนิดที่สามหรือสารเคมีที่ใช้จะต้องมีสมบัติอยู่ระหว่างสมบัติของสองวัสดุแรก

1.3.5 การตัดแปรเส้นใยลิกโนเซลลูโลสด้วยความร้อน (Heat Treatment)

สำหรับผงไม้ที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้มีการศึกษาผลของการตัดแปรผงไม้ด้วยความร้อนต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยผงไม้ โดยใช้พอลิเอทิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ (recycled polyethylene) การตัดแปรผงไม้ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยส่งผลต่อการปรับปรุงให้สมบัติทางกล เช่น ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงดัด และความทนต่อแรงดกกระแทก ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผงไม้ที่ไม่ผ่านการตัดแปร [30, 31]

ผงไม้เป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสเช่นเดียวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ การตัดแปรผงไม้ด้วยความร้อนในช่วง 220-250 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ขบ้น้ำมากที่สุดแตกตัว และมีกรดอะซิดิกเป็นผลพลอยได้ซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชันของคาร์โบไฮเดรต ในขณะที่เดียวกันการเกิดโครงสร้างร่างแหระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเหล่านี้เป็นผลทำให้จำนวนหมู่ไฮดรอกซิลลดลงและพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการตัดแปรผงไม้ด้วยความร้อนส่งผลโดยรวมทำให้การดูดซับน้ำได้น้อยลง ขนาดและรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของการดูดน้ำ และลดความขบ้น้ำ [30]

จากการศึกษาผลของการตัดแปรไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 6-56 ชั่วโมง [17, 18] แสดงให้เห็นว่าเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบจะเกิดการเสื่อมสลายส่งผลทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นโดยผลึกส่วนใหญ่เป็นผลึกแบบโมโนคลินิกมากกว่าไตรคลินิก

สำหรับเส้นใยธรรมชาติได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการตัดแปรเส้นใยด้วยความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศปกติเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าความเป็นผลึกของเส้นใยเพิ่มขึ้นอาจเป็นผลเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลเซลลูโลส นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระมากขึ้นเนื่องจากผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิได้สูญเสียไป และโมดูลัสของยังก็ลดลง [32]

การตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ทอเป็นผืนด้วยความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ส่งผลทำให้ความทนต่อแรงดึงและยังก็มอดูลัสของยางคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยผืนผ้าป่านศรนารายณ์สูงกว่าคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยผืนผ้าที่ตัดแปรด้วยเทคนิคอัลคาไลน์เซชันและการทำคู่ควบด้วยสารประสานไซเลน อย่างมีนัยสำคัญ [33]

ผลของความร้อนต่อการตัดแปรเส้นใยไผ่และเส้นใยปอมนิลา (manila hemp) [34-36] ต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใย พบว่าถ้าตัดแปรเส้นใยที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ความทนต่อแรงดึงของเส้นใยปอมนิลาจะสูงขึ้นประมาณร้อยละ 5 แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 160 องศาเซลเซียส ความทนต่อแรงดึงจะลดลง และถ้าอุณหภูมิของการตัดแปรเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และระยะเวลาของการตัดแปรเท่ากับ 7.5 ks ความทนต่อแรงดึงของเส้นใยทั้งสองจะลดลงถึงร้อยละ 60 อย่างไรก็ตามยังก็มอดูลัสของเส้นใยทั้งสองไม่แปรผันตามสภาวะของการตัดแปรด้วยความร้อน

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อให้ได้สถานะที่เหมาะสมในการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยความร้อนให้มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในเชิงพาณิชย์
- เพื่อใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ ได้วัสดุเสริมแรงทางเลือกหรือทดแทนได้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และใช้แล้วไม่หมดไป
- เพื่อส่งเสริมการพึ่งพาตนเองจากการใช้วัตถุดิบจากทรัพยากรภายในประเทศ
- เพื่อตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ของชาติในการพัฒนาศักยภาพการแข่งขันทางอุตสาหกรรม และเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้องค์ความรู้ในการปรับปรุงเส้นใยป่านศรนารายณ์ซึ่งสามารถใช้เป็นวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และใช้แล้วไม่หมดไป ที่สามารถใช้เป็นวัสดุเสริมแรงหรือสารตัวเติมสำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต และสามารถต่อยอดนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์
- เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เส้นใยป่านศรนารายณ์ และใช้วัตถุดิบจากที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยแก้ว เส้นใยเคพลา (Kevlar)
- เป็นการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุของประเทศอย่างต่อเนื่อง
- เป็นการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ที่สามารถเริ่มการวิจัยและพัฒนาได้ และดำเนินการวิจัยต่อไปได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว

1.6 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- ตรวจสอบประสิทธิภาพการดัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ และ เป็นระยะเวลาต่าง ๆ
- ตรวจสอบคุณลักษณะจำเพาะเชิงเปรียบเทียบของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ระเบียบวิธีวิจัย

เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ใช้ในการศึกษาจะอยู่ในรูปของเส้นใยยาว โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยความร้อนและดัดแปรด้วยความร้อน

2.2 วัตถุประสงค์

เส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เส้นใยที่ซื้อจากกลุ่มแม่บ้าน ตำบลบ้านเก่า อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการดัดแปรด้วยความร้อน

ก่อนที่จะเริ่มต้นขั้นตอนต่างๆ นั้น นำเส้นใยป่านที่อยู่ในรูปเส้นใยยาวประมาณ 2 เมตร มาตัดให้มีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร โดยตัดเอาเฉพาะส่วนโคนประมาณ 2 ใน 3 ของความยาวทั้งหมด

2.3.2 การดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยความร้อน

นำเส้นใยจาก 2.3.1 ไปดัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 120 นาที โดยใช้เตาอบลมร้อน (Hot Air Oven, Binder model VD53)

นำเส้นใยจาก 2.3.1 ไปดัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 นาที โดยใช้เตาเผา (Furnace, Carbolite model CWF)

เมื่อกระบวนการดัดแปรสิ้นสุด จึงนำเส้นใยที่ดัดแปรแล้วเก็บในโถดูดความชื้นก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่อไป

2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านครนารายณ์

2.4.1 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยโดยใช้เทคนิคไมโครสโคปีแบบใช้แสง (Optical Microscopy, Nikon model Eclipses E600 POL) ที่กำลังขยายเลนส์ตา 10 เท่า เลนส์วัตถุ 5 เท่า โดยเส้นใยที่นำมาวัดมีจำนวน 100 เส้น วัดขนาดโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย 3 จุดต่อหนึ่งเส้นคือ บริเวณปลายทั้งสองด้าน และบริเวณตรงกลางของเส้นใยและนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านครนารายณ์ใช้วิธี detergent method [37] เป็นวิธีการวิเคราะห์หา neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) และ acid detergent lignin (ADL) ปริมาณของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน เทียบกับน้ำหนักแห้ง (dry weight) ของเส้นใยคำนวณได้จากสมการ (2.1) (2.2) และ (2.3) ตามลำดับ

$$\text{Hemicellulose (\%)} = \text{NDF} - \text{ADF} \quad (2.1)$$

$$\text{Cellulose (\%)} = \text{ADF} - \text{ADL} \quad (2.2)$$

$$\text{Lignin} = \text{ADL} \quad (2.3)$$

2.4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของพื้นผิวเส้นใย

วิเคราะห์พื้นผิวเส้นใยโดยใช้เทคนิค ATR FTIR microspectroscopy ด้วยเครื่อง Bruker Hyperion 2000, Infrared Microscope ในช่วงเลขคลื่น (wavenumber) $4000 - 600 \text{ cm}^{-1}$ ความละเอียด (resolution) 4 cm^{-1} และ 64 co-added scans

2.4.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน

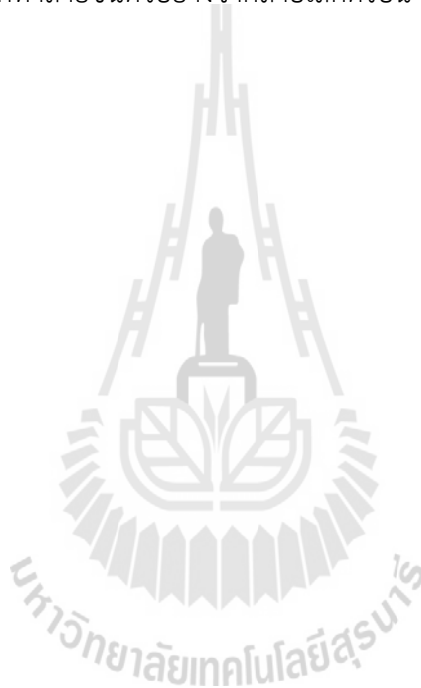
ตรวจสอบสมบัติทางความร้อนโดยการวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (Thermogravimetric Analysis: TGA) ด้วยเครื่อง Thermal Analyzer (TA Instrument model SD2960) โดยให้ความร้อนแก่เส้นใยในอัตราเร็วคงที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน จากอุณหภูมิห้องจนถึง 800 องศาเซลเซียส ก่อนการตรวจสอบนำเส้นใยไปอบไล่ความชื้น ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.4.5 การทดสอบสมบัติทางกล

ทดสอบความทนต่อแรงดึง (tensile test) ของเส้นใยโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM, Instron model 5569) หัววัดแรง (load cell) 10 นิวตัน (N), ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3822-07 ระยะระหว่างหัวจับเส้นใย (grip distance) 5 เซนติเมตร และ อัตราเร็วของการดึง (cross head speed) 5 มิลลิเมตรต่อนาที จำนวนเส้นใยทดสอบ 100 เส้นใย

2.4.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา

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



บทที่ 3

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

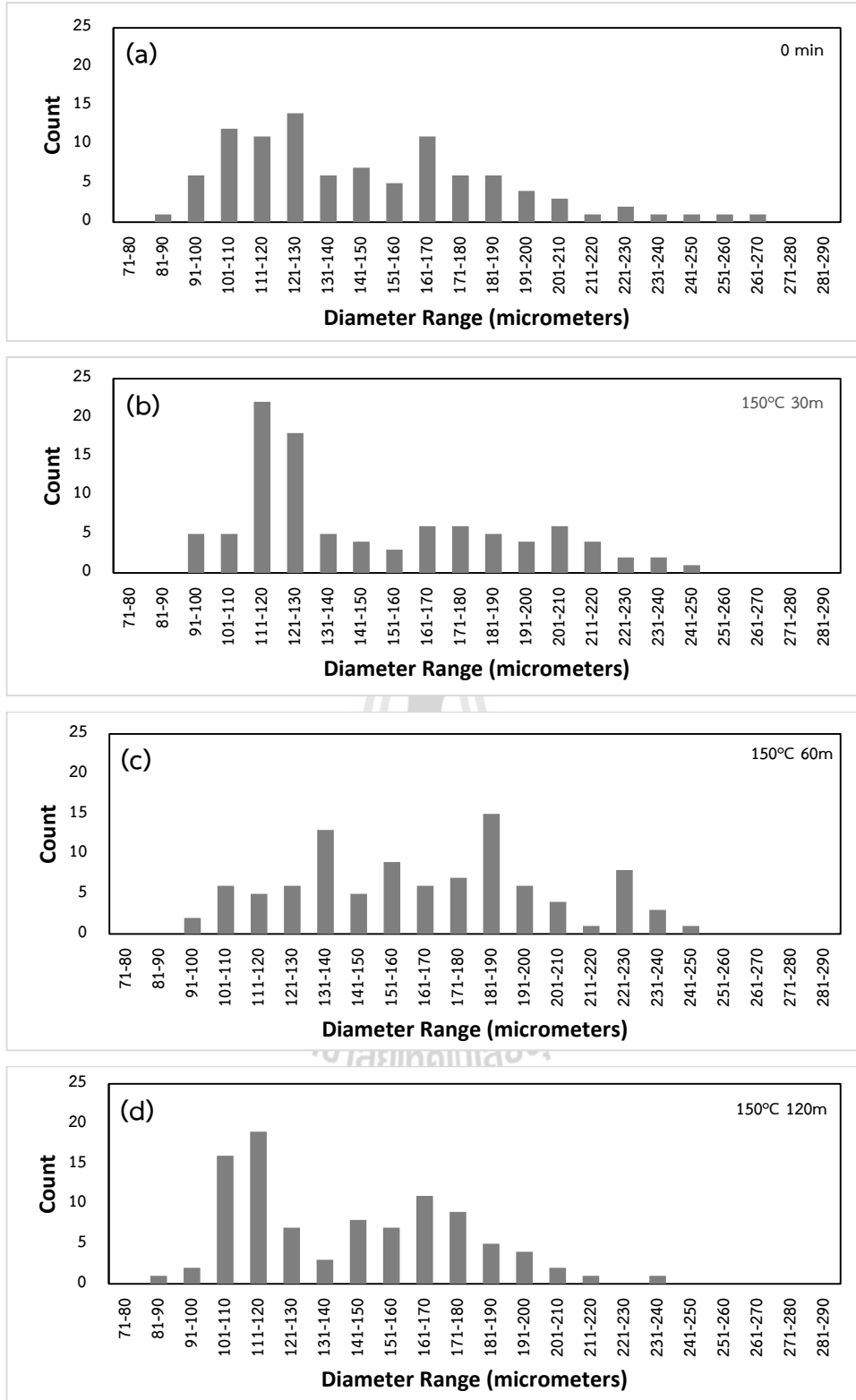
3.1.1 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์

เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส มีการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เส้นใยป่านที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 85-262 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 147 ± 38 ไมโครเมตร สำหรับเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 95-242 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 149 ± 40 ไมโครเมตร เมื่อตัดแปรเป็นเวลา 60 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 91-245 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 165 ± 38 ไมโครเมตร และ เมื่อตัดแปรเป็นเวลา 120 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 90-232 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 143 ± 33 ไมโครเมตร ข้อมูลโดยสรุปของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการตัดแปรและหลังการตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 3.1

จากข้อมูลในตารางที่ 3.1 ไม่อาจสรุปได้ว่าการตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-120 นาที มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นใยในระดับไมโครเมตร

ตารางที่ 3.1 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

Treatment Conditions	Fiber Diameter (micrometers)		
	Range	Average \pm SD	Median
0 min	85 – 262	147 \pm 38	136
150°C 30 min	95 - 242	149 \pm 40	130
150°C 60 min	91 - 245	165 \pm 38	165
150°C 120 min	90 - 232	143 \pm 33	140

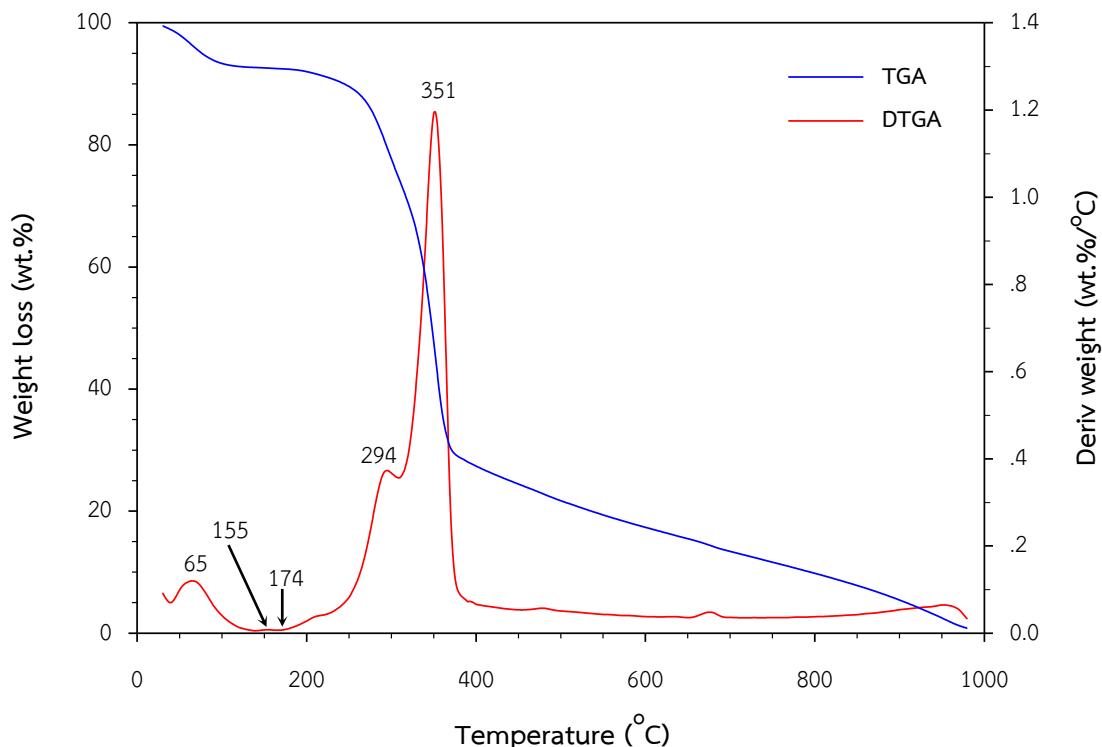


รูปที่ 3.1 กราฟแสดงการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (a) และ เส้นใยที่ผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (b) 60 นาที (c) และ 120 นาที (d)

3.1.2 สมบัติทางความร้อน

กราฟแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลาย (TGA) และอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใยป่านศรนารายณ์ (DTGA) ที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน แสดงในรูปที่ 3.2 เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปรแสดงทรานซิชันที่ 1 (first transition) เนื่องจากการระเหยออกของความชื้นในเส้นใย ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกประมาณร้อยละ 7 ทรานซิชันที่ 2 (second transition) เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 174 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นเสื่อมสลายของลิกนิน (lignin) ทรานซิชันที่ 3 (third transition) ที่อุณหภูมิ 294 องศาเซลเซียส เกิดจากการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ทรานซิชันที่ 4 (forth transition) ที่อุณหภูมิ 351 องศาเซลเซียส เป็นผลจากการเสื่อมสลายของอัลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) อุณหภูมิการเกิดทรานซิชันของเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการดัดแปรด้วยความร้อนแสดงในตารางที่ 3.2

นอกจากนี้มีการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 155 องศาเซลเซียส เนื่องจากการสลายตัวของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่อ เช่น ไชหรือแว็กซ์ (wax) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ปกคลุมพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ [9]



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (TGA) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (DTGA) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน

กราฟแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลาย และอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่ผ่านการดัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 - 120 นาที แสดงในรูปที่ 3.3 (a) และ (b) ตามลำดับ เส้นใยที่ผ่านการดัดแปรเส้นใยเกิดทรานซิชั่นที่ 1 เนื่องจากการระเหยออกของความชื้น ในช่วง 65 - 70 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกเท่ากับร้อยละ 5 - 6 เมื่อดัดแปรด้วยความร้อนเป็นเวลา 30 - 120 นาที ในขณะที่เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปรปริมาณความชื้นที่ระเหยออกเท่ากับร้อยละ 7

กราฟอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ดัดแปรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (b) ไม่แสดงทรานซิชั่นเนื่องจากการเสื่อมสลายของไฮและแว็กซ์ ซึ่งให้เห็นว่องค์ประกอบเหล่านี้ได้ถูกกำจัดไปโดยการดัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

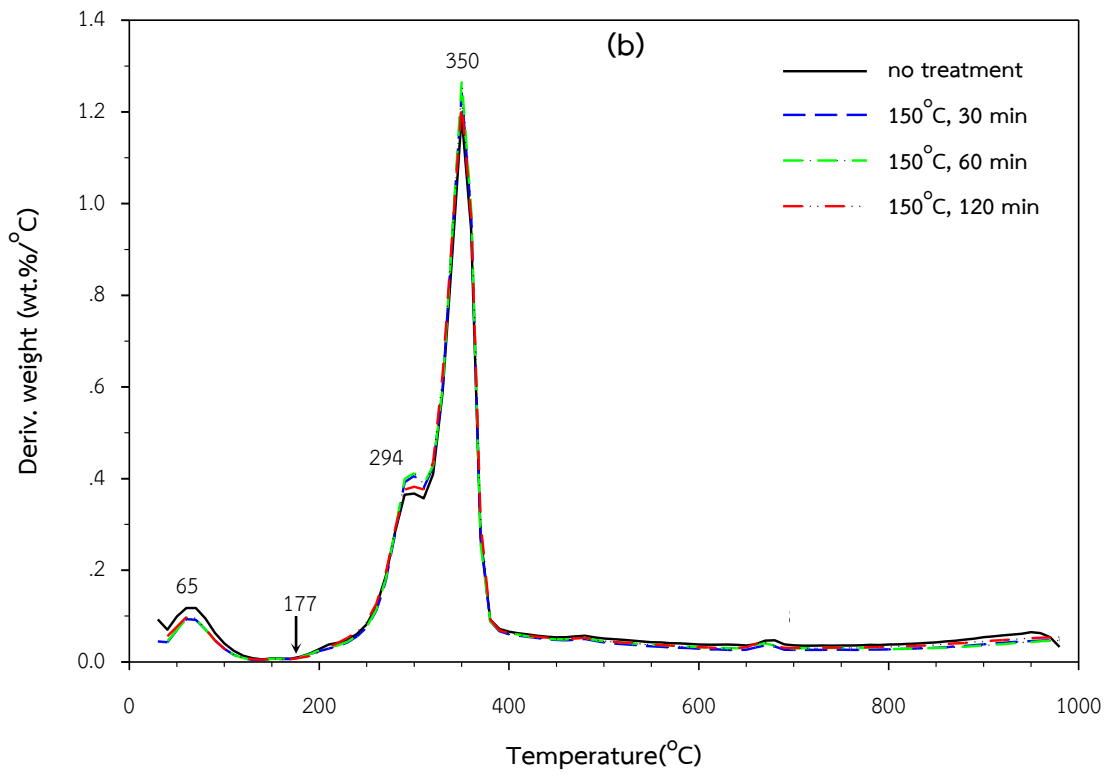
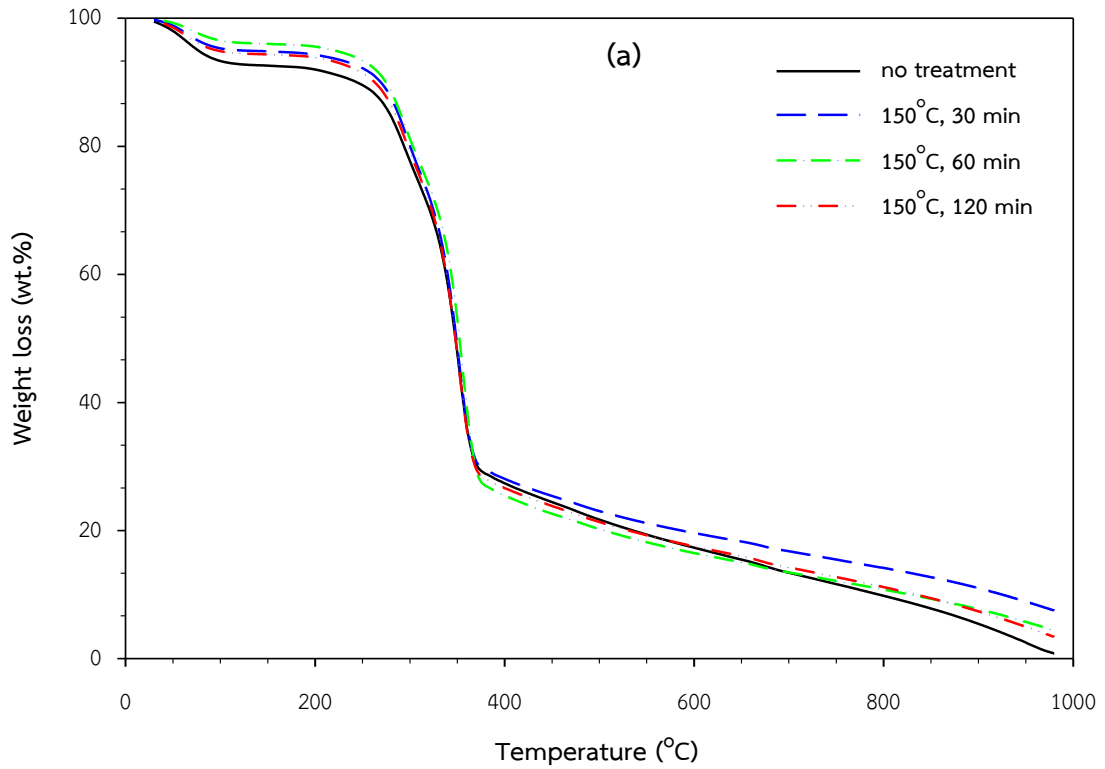
ทรานซิชั่นที่ 2 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นน้อยมาก ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสังเกตได้จากอุณหภูมิเริ่มต้นของทรานซิชั่นที่ 2 อุณหภูมิเริ่มต้นของทรานซิชั่นที่ 2 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ดัดแปรด้วยความร้อน จะขยับไปที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของทรานซิชั่นที่ 2 ของเส้นใยก่อนการดัดแปรด้วยความร้อน (174 องศาเซลเซียส) คือ ทรานซิชั่นที่ 2 เริ่มต้นที่ 177 179 และ 177 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการดัดแปรเป็น 30 60 และ 120 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (b) ลักษณะเช่นนี้ชี้ให้เห็นว่าส่วนน้อยของโครงสร้างโมเลกุลของลิกนินได้เสื่อมสลายไประหว่างการดัดแปรด้วยความร้อน ได้มีรายงานเกี่ยวกับช่วงอุณหภูมิการเสื่อมสลายของลิกนิน คือ 100 - 900 องศาเซลเซียส [38]

การเกิดทรานซิชั่นที่ 3 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ดัดแปรด้วยความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส อันเป็นผลเนื่องจากการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลส ปรากฏที่ 295 293 และ 294 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการดัดแปรด้วยความร้อน เป็น 30 60 และ 120 นาที ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากอุณหภูมิการเกิดทรานซิชั่นที่ 3 ของเส้นใยก่อนการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (b)

สำหรับการเกิดทรานซิชั่นที่ 4 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ดัดแปรด้วยความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส อันเป็นผลเนื่องจากการเสื่อมสลายของอัลฟาเซลลูโลส ปรากฏที่ 351 351 และ 352 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการดัดแปรด้วยความร้อน เป็น 30 60 และ 120 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (b) ซึ่ง กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลายและอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลายในช่วงการเกิดทรานซิชั่นที่ 4 ของเส้นใยที่ผ่านการดัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-120 นาที ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟในช่วงดังกล่าวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 3.3 (a) และ 3.3 (b) ตามลำดับ

การดัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นของเส้นใยป่านศรนารายณ์ลดลงประมาณร้อยละ 1-2 เมื่อระยะเวลาดัดแปรไม่น้อยกว่า 30 นาที และการดัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ไฮและแว็กซ์ถูกกำจัดและทำให้ลิกนินเสื่อมสลายเล็กน้อย

อุณหภูมิการเกิด ทรานซิชั่นและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร และที่ผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

Treatment Conditions	1 st Transition		2 nd Transition Initial Temp (°C)	3 rd Transition Temp (°C)	4 th Transition Temp (°C)
	Water Evaporation Peak (°C)	Weight Loss (%)			
0 min	65	7.4	174	294	350
150°C, 30 min	64	6.3	177	295	351
150°C, 60 min	65	4.8	179	293	351
150°C, 120 min	64	6.4	177	294	352



3.1.3 สมบัติทางกล

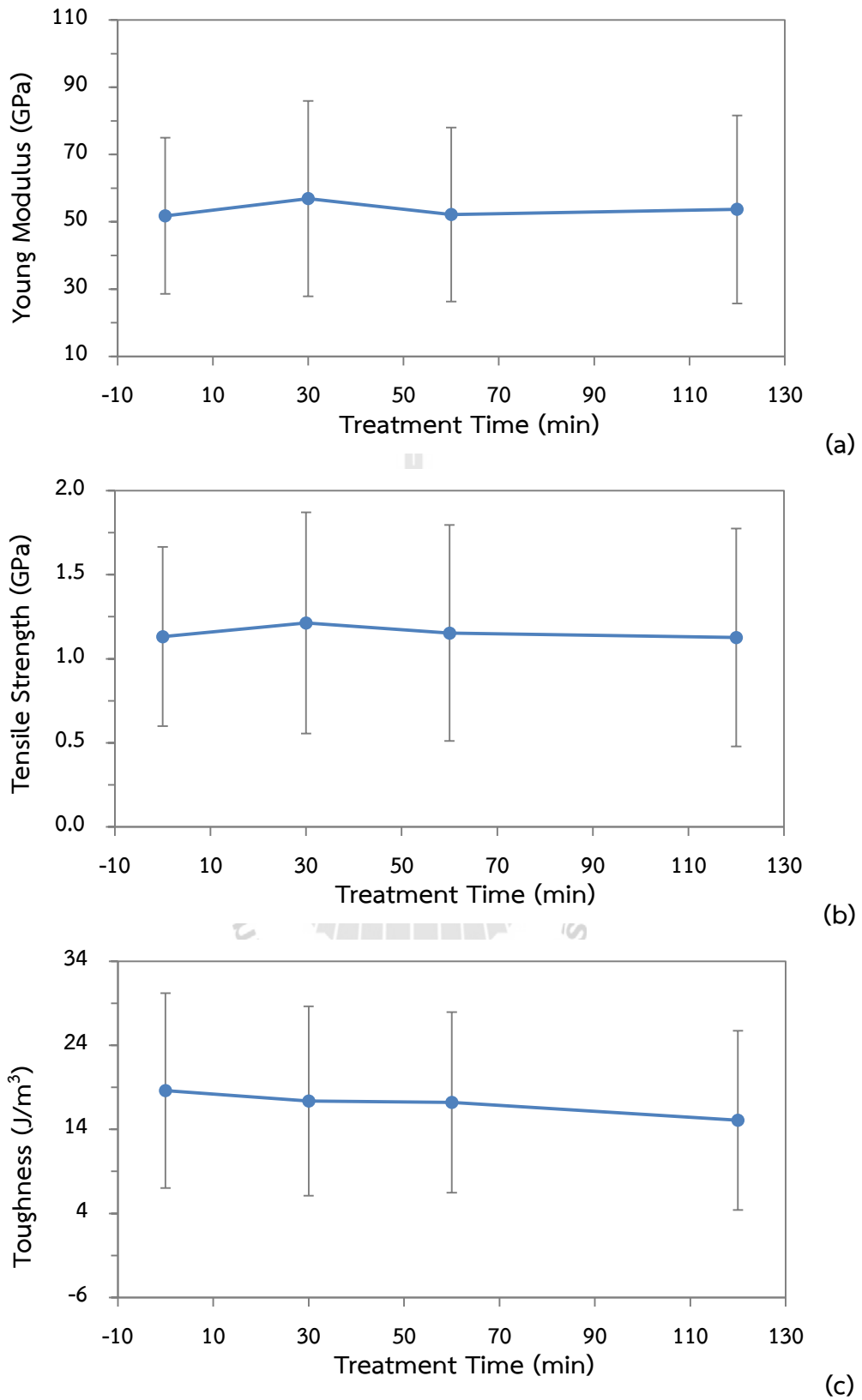
เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่าอดูลัสของยังก์ (Young's modulus) เท่ากับ 52 GPa ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) เท่ากับ 1.1 GPa และ ความเหนียว (toughness) เท่ากับ 18.6 J/m^3

เส้นใยปานศรนาทรายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มอดูลัสของยังก์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 57 GPa เมื่อเวลาการดัดแปรด้วยความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 60 และ 120 นาที มอดูลัสของยังก์ของเส้นใย เท่ากับ 52 และ 54 GPa ซึ่งแตกต่างจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปรเพียงเล็กน้อย

เมื่อดัดแปรเส้นใยปานศรนาทรายณ์ที่ 150 องศาเซลเซียส ความทนต่อแรงดึงของเส้นใยเท่ากับ 1.1 – 1.2 GPa ซึ่งไม่แตกต่างจากความทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปร และระยะเวลาการดัดแปรมีผลน้อยมากต่อความทนต่อแรงดึง

การดัดแปรเส้นใยปานศรนาทรายณ์ที่ 150 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ความเหนียวของเส้นใยลดลง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการดัดแปรเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามลักษณะการลดลงนี้ยังไม่อยู่ในช่วงของจุดเปลี่ยนพฤติกรรมแบบเหนียวเป็นแบบเปราะ

จากตารางที่ 3.3 จะเห็นว่าช่วงของสมบัติความทนต่อแรงดึงจะกว้างมาก ลักษณะเช่นนี้พบในผลการทดสอบความทนต่อแรงดึงของเส้นใยปานศรนาทรายณ์ที่ดัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 และ 200 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นผลจากการกระจายที่กว้างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ดังแสดงในตารางที่ 3.1 สมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยธรรมชาติเป็นสมบัติที่ขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดของเส้นใย [9] ดังนั้นในการดำเนินการวิจัยต่อยอดต่อไปต้องควบคุมปัจจัยของขนาดเส้นใยให้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.4 กราฟระหว่างสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านศรนารายณ์และระยะเวลาการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส: มอดูลัสของยังก์ (a) ความทนต่อแรงดึง (b) และ ความเหนียว (c)

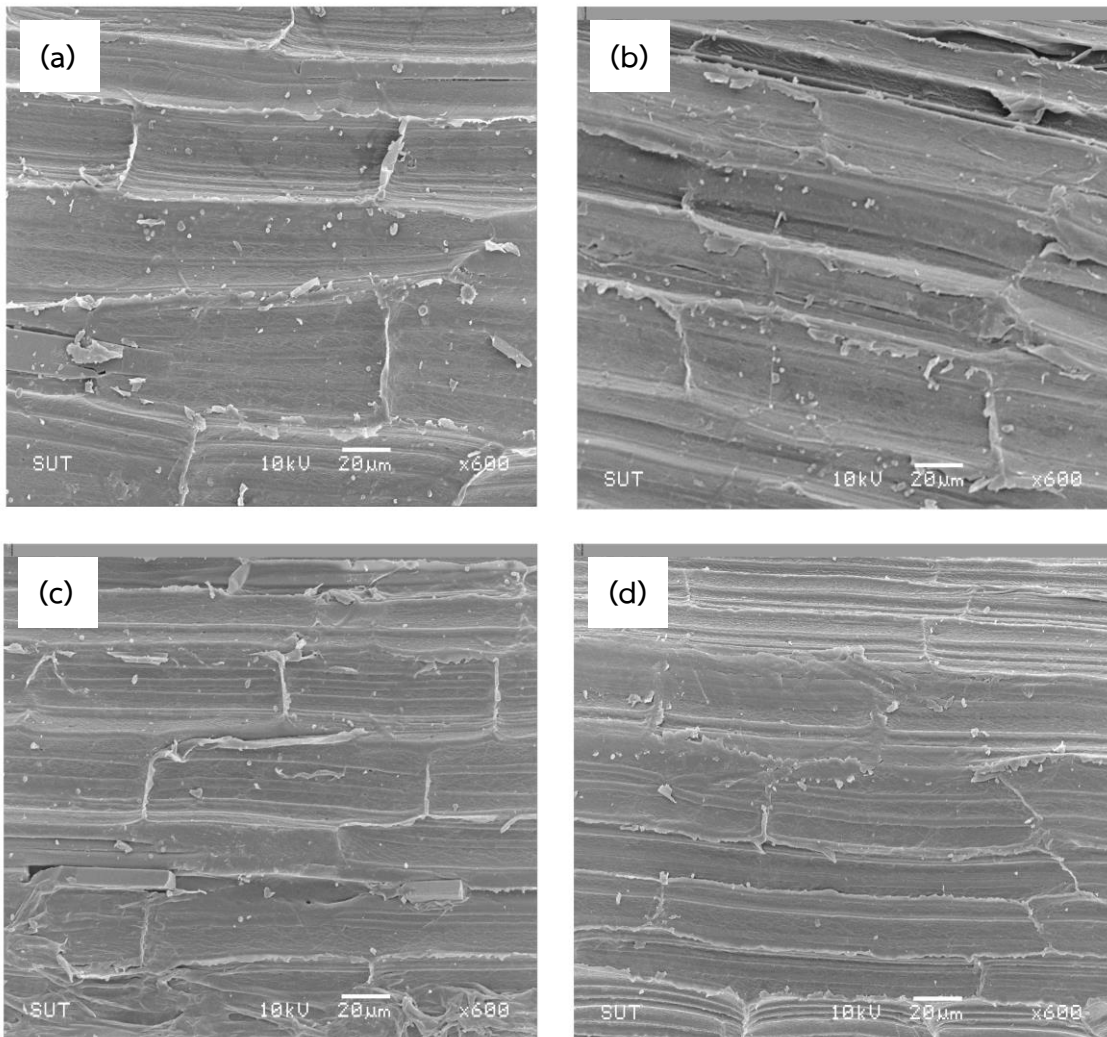
ตารางที่ 3.3 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

Treatment Conditions	Young's Modulus (GPa)		Tensile Strength (GPa)		Toughness (J/m ³)	
	Range	Average \pm SD	Range	Average \pm SD	Range	Average \pm SD
0 min	16.7 – 100.5	51.8 \pm 23.2	0.4 – 2.5	1.1 \pm 0.5	3.0 – 73.5	18.6 \pm 11.6
150°C, 30 min	19.3 - 141.3	56.9 \pm 29.1	0.4 - 2.9	1.2 \pm 0.7	2.5 – 49.6	17.4 \pm 11.3
150°C, 60 min	19.1 – 114.8	52.2 \pm 25.9	0.4 – 2.7	1.2 \pm 0.6	3.0 - 42.3	17.2 \pm 10.7
150°C, 120 min	17.6 – 112.2	53.7 \pm 28.0	0.3 – 2.6	1.1 \pm 0.6	4.4 – 29.3	15.1 \pm 10.7



3.1.4 สันฐานวิทยา

ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าการตัดแปรเส้นใยเป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที ทำให้ส่วนที่เป็น binders ที่ปกคลุมพื้นผิวเส้นใยแยกออกจากกันเผยให้เห็นผิวหน้าเส้นใยมากขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยในหัวข้อ 3.1.2 จากภาพถ่าย SEM จะเห็นว่าลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และไม่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างแม็คโครไฟบริล (macrofibrils) อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3.5 ภาพถ่าย SEM (x600) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปร (a) และเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (b) 60 นาที (c) และ 120 นาที (d)

3.2 ผลการตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยวิธี detergent method พบว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรประกอบด้วย ลิกนินร้อยละ 8 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 19 และเซลลูโลสร้อยละ 66

การตัดแปรด้วยความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส มีผลต่อการลดลงของ ลิกนิน (lignin) อย่างมีนัยสำคัญส่งผลทำให้ภายหลังจากการตัดแปรด้วยความร้อนเส้นใยมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเซลลูโลส (cellulose) เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

Treatment Conditions	Fiber Composition				
	Lignin (%)	Hemice-llulose (%)	Cellulose (%)	Ash (%)	others (%)
0 min	8.5	19.0	66.2	1.6	4.7
180°C 30 min	4.7	24.2	68.9	1.6	0.6
180°C 60 min	5.2	26.0	66.9	1.7	0.2
180°C 120 min	5.2	23.9	67.1	1.7	2.1

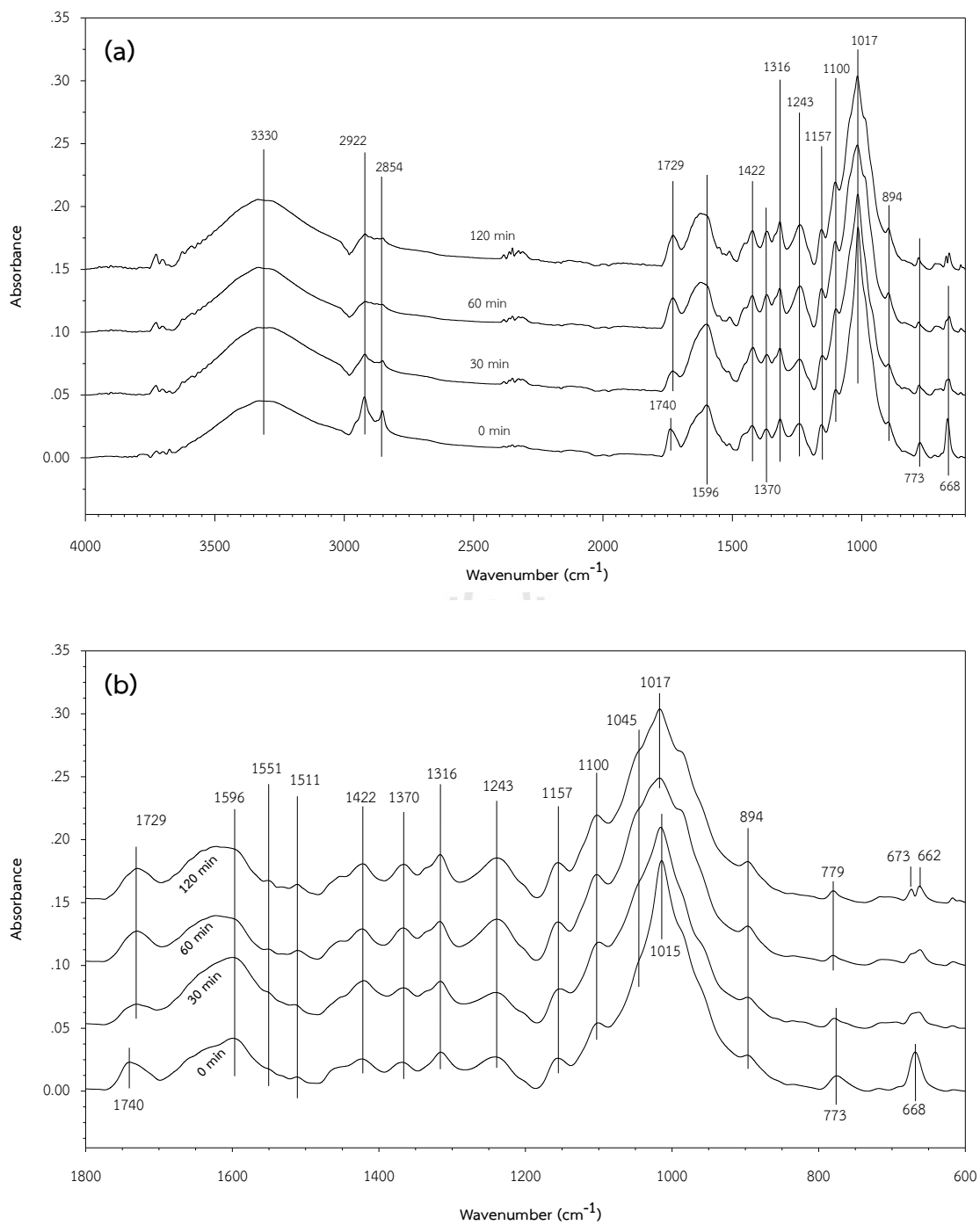
3.2.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเคมีที่พื้นผิวเส้นใยป่านครนารายณ์

สเปกตรัมจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวเส้นใยป่านครนารายณ์ด้วยเทคนิค FTIR microspectroscopy ของเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3.6 สำหรับ band assignment ของเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปร แสดงในตารางที่ 3.5 จากสเปกตรัมแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน ดังนี้

พีคที่ 1740 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) จากหมู่เอเซทิล (acetyl group) ของเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เลื่อนไปที่ตำแหน่ง 1729 cm^{-1} การเลื่อนไปที่ตำแหน่งที่เลขคลื่น (wavenumber) ต่ำลงแสดงให้เห็นว่า มีหมู่คาร์บอนิลอิสระ (free carbonyl group) เพิ่มขึ้นเนื่องจากพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ระหว่างหมู่คาร์บอนิลของเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และโมเลกุลของน้ำลดลง จากการที่โมเลกุลของน้ำที่ถูกดูดซับไว้ได้ระเหยออกไปบางส่วนจากการตัดแปรด้วยความร้อน

พีคที่ตำแหน่ง 773 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่ H-C ของวงแหวนอะโรมาติก เลื่อนไปที่ตำแหน่ง 779 cm^{-1} การเลื่อนไปที่ตำแหน่งที่เลขคลื่น (wavenumber) อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเคมีของลิกนิน

พีคที่ตำแหน่ง 668 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่แอลกอฮอล์ (alcohol group) ของอัลฟาเซลลูโลส แยกออกเป็นสองพีคที่ตำแหน่ง 673 และ 662 cm^{-1} ซึ่งแยกออกเป็นสองพีคอย่างชัดเจนที่ระยะเวลาการตัดแปรเท่ากับ 60 นาที แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของอัลฟาเซลลูโลส อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโครงร่างสายโซ่โมเลกุล (chain conformation) [39] หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (intermolecular hydrogen bonding) และพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล (intramolecular hydrogen bonding) [40]



รูปที่ 3.6 FTIR spectra ของเส้นใยปอนครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

ตารางที่ 3.5 FTIR Band Assignment [40-44, 45]

Band Position (cm^{-1})	Band Assignment	ผลจากการดัดแปร
3330	O-H stretching of H-bonded hydroxyl group	-
2924	C-H stretching	-
2854	C-H stretching	-
1740	C=O stretching of acetyl groups of hemicellulose	shift to lower wave no.
1596	aromatic skeletal vibrations of lignin	shift to higher wave no.
1511	aromatic C=C stretching of lignin	-
1422	C-H deformation of methoxyl group in lignin	-
1370	symmetric C-H deformation /bending	-
1316	in-plane O-H bending of CO-H, alcoholic groups of cellulose	-
1243	C-O bond of the acetyl group in xylan and hemicellulose	-
1157	antisymmetric bridge C-O-C stretching of cellulose	-
1100	C-O-C pyranose ring skeletal vibration involving stretching of the β -glycosidic linkage of cellulose	-
1045	C-O-C pyranose ring skeletal vibration	-
1015	C-O-C pyranose ring skeletal vibration	-
894	antisymmetrical stretching of β -glycosidic linkage between glucose unit.	-
773	C-H vibration of aromatic ring	shift to higher wave no.
668	out-of-plane O-H bending of CO-H, alcoholic groups of cellulose	split into 2 peaks

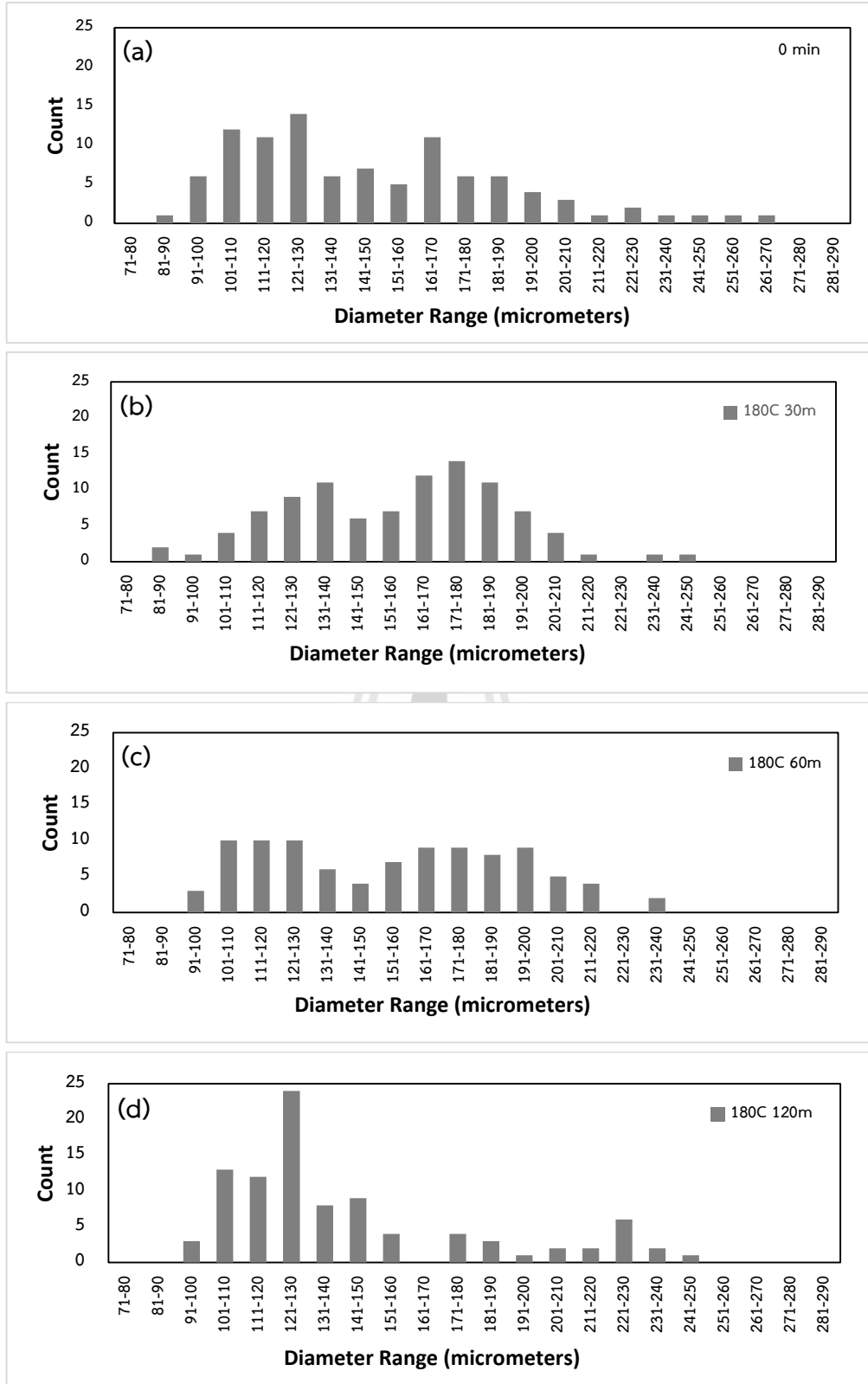
3.2.3 ขนาดของเส้นใยป่านครนารายณ์

เส้นใยป่านครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เส้นใยป่านที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 85-262 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 147 ± 38 ไมโครเมตร สำหรับเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 88-244 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 158 ± 33 ไมโครเมตร เมื่อตัดแปรเป็นเวลา 60 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 98-236 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 155 ± 37 ไมโครเมตร และ เมื่อตัดแปรเป็นเวลา 120 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 94-250 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 143 ± 39 ไมโครเมตร ข้อมูลโดยสรุปของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านครนารายณ์ก่อนการตัดแปรและหลังการตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 3.6

จากข้อมูลในตารางที่ 3.6 ไม่อาจสรุปได้ว่าการตัดแปรเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-120 นาที มีผลต่อขนาดของเส้นใย

ตารางที่ 3.6 ขนาดของเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

Treatment Conditions	Fiber Diameter (micrometers)		
	Range	Average \pm SD	Median
0 min	85 - 262	147 ± 38	136
180°C 30 min	88 - 244	158 ± 33	162
180°C 60 min	98 - 236	155 ± 37	160
180°C 120 min	94 - 250	143 ± 39	128



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (a) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (b) 60 นาที (c) และ 120 นาที (d)

3.2.4 สมบัติทางความร้อน

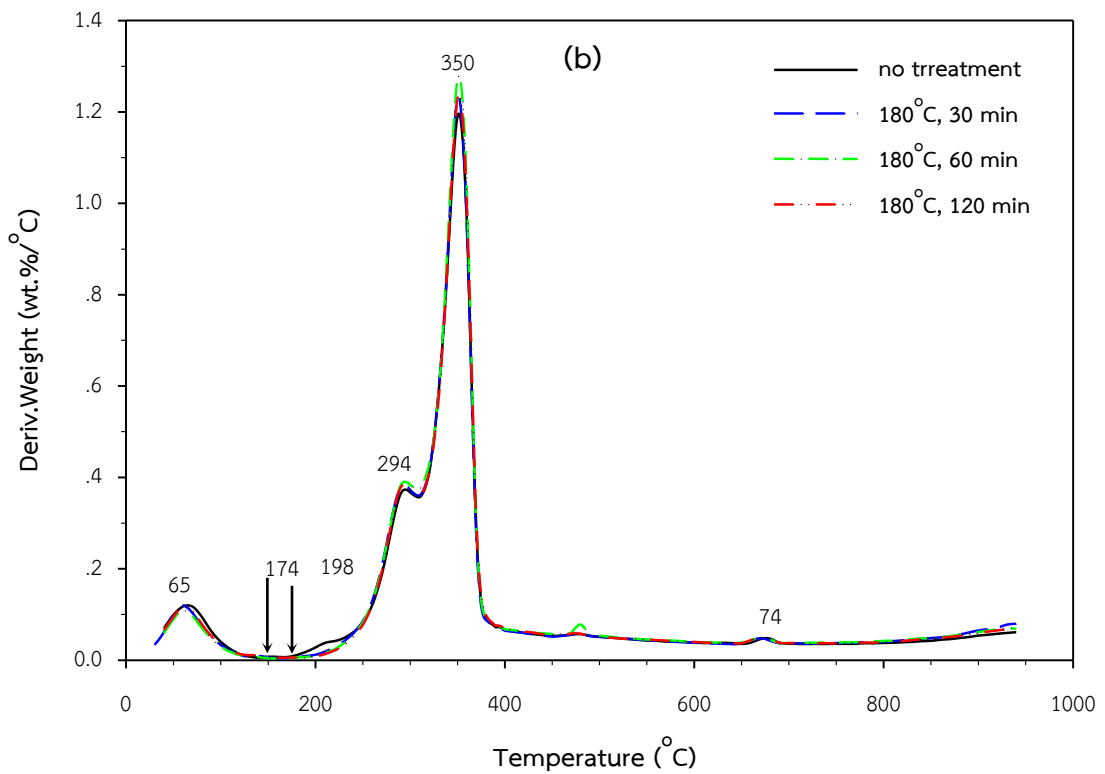
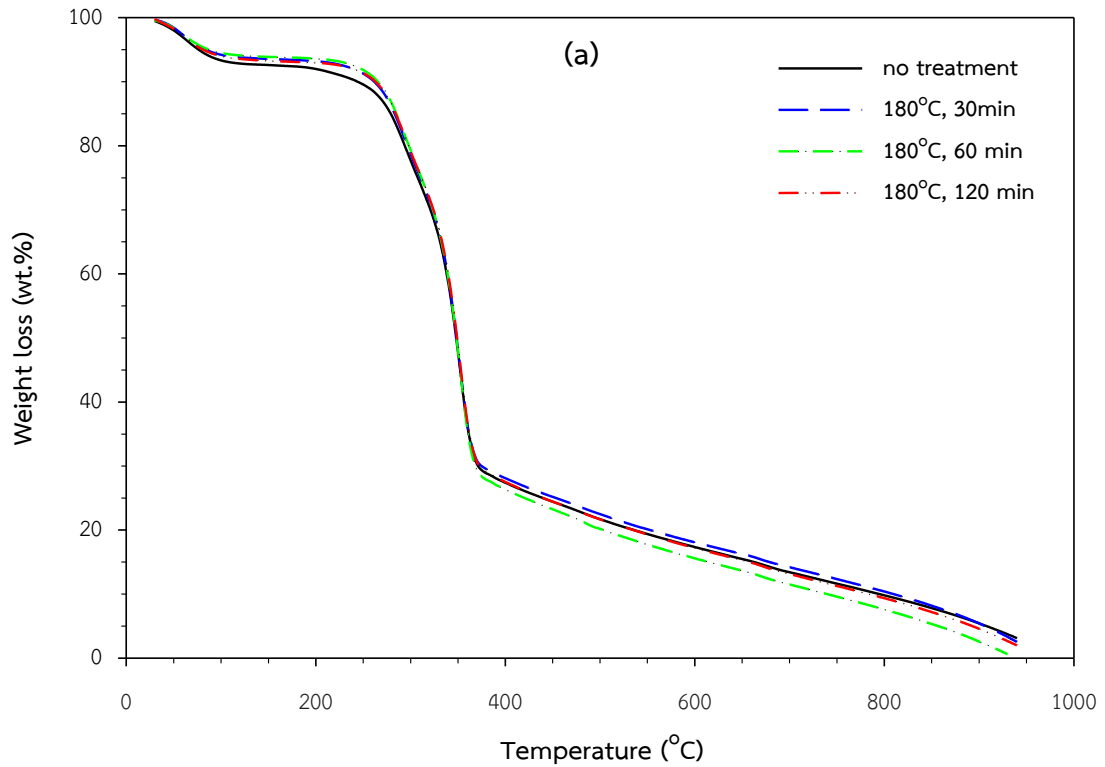
กราฟแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลาย และอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่ผ่านการดัดแปรเส้นใยที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที เปรียบเทียบกับ กราฟของเส้นใยไม่ผ่านการดัดแปร แสดงในรูปที่ 3.8 (a) และ รูปที่ 3.8 (b) ตามลำดับ เส้นใยป่าน ศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลายที่ 1 ที่ 65 องศาเซลเซียส เนื่องจากการระเหย ออกของความชื้นในเส้นใย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 180 องศา เซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ จะเห็นว่า เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปร จะมีปริมาณความชื้นน้อยกว่า เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรเล็กน้อย ปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปของเส้นใยเมื่อผ่านการดัด แปรด้วยความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส เท่ากับร้อยละ 6-7

กราฟอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ดัดแปรที่อุณหภูมิ 180 องศา เซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (b) ไม่แสดงทรานซิชันเนื่องจากการเสื่อมสลายของไซและแว็กซ์ ซึ่งให้เห็นว่า องค์ประกอบเหล่านี้ได้ถูกกำจัดไปโดยการดัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

ทรานซิชันเนื่องจากการเสื่อมสลายที่ 2 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 180 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 177 188 และ 198 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ทรานซิชันที่ 2 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรเส้นใย เริ่มต้นที่ 174 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการดัดแปรเส้นใยที่ 180 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณลิกนินได้บางส่วน และเมื่อเวลาที่ใช้ในการดัดแปรเส้นใยเพิ่มขึ้นทรานซิชันที่ 2 จะเริ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อเทียบกับใน กรณีกการดัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส เริ่มต้น ณ เวลา 60 และ 120 นาที ทรานซิชันที่ 2 ของเส้นใย ที่ดัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส จะเริ่มที่อุณหภูมิที่สูงกว่า

ทรานซิชันที่ 3 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นที่ อุณหภูมิประมาณ 293-294 องศาเซลเซียส สำหรับทรานซิชันที่ 4 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 350-351 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (b) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิทรานซิชันที่ 3 และ 4 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน

อุณหภูมิการเกิดทรานซิชันและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร และที่ผ่านการดัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 3.7



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และ อนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรเส้นใยและผ่านการดัดแปรเส้นใยที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

ตารางที่ 3.7 อุณหภูมิการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

Treatment conditions	1 st Transition		2 nd Transition Initial Temp (°C)	3 rd Transition Temp (°C)	4 th Transition Temp (°C)
	Water evaporation peak (°C)	Weight Loss (%)			
0 min	65	7.4	174	294	350
180°C, 30 min	60	6.4	177	293	351
180°C, 60 min	60	6.3	188	293	351
180°C, 120 min	62	6.9	198	294	350

3.2.5 สมบัติทางกล

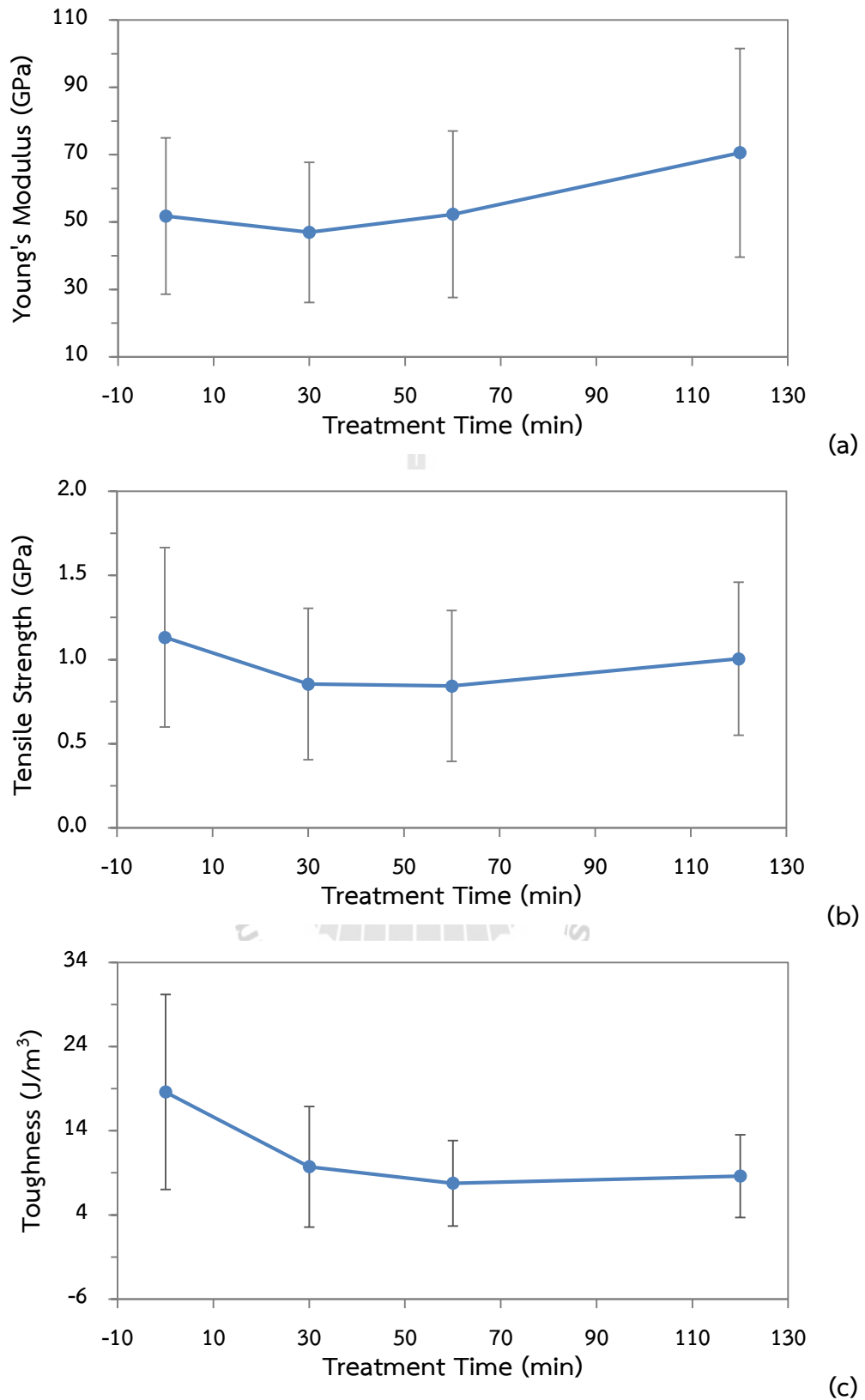
เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่ามอดูลัสของยังก์ (Young's modulus) เท่ากับ 52 GPa ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) เท่ากับ 1.1 GPa และ ความเหนียว (toughness) เท่ากับ 18.6 J/m³

เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มอดูลัสของยังก์ลดลงเหลือ 47 GPa เมื่อเวลาการดัดแปรเพิ่มขึ้นเป็น 60 และ 120 นาที มอดูลัสของยังก์ของเส้นใยเพิ่มขึ้นเป็น 52 และ 71 GPa ตามลำดับ

เมื่อดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 180 องศาเซลเซียส ความทนต่อแรงดึงของเส้นใย เท่ากับ 0.9 0.8 และ 1.0 GPa เมื่อเวลาการดัดแปรเท่ากับ 30 60 และ 120 นาที ตามลำดับ ซึ่งลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปร และระยะเวลาการดัดแปรมีผลต่อการลดลงของความทนต่อแรงดึงเมื่อระยะเวลาการดัดแปรเท่ากับ 30-60 นาที

การดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 180 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ความเหนียวของเส้นใยลดลงเมื่อระยะเวลาการดัดแปรเพิ่มขึ้น และความเหนียวของเส้นใยภายหลังการดัดแปรคงเหลือประมาณร้อยละ 50 ของความเหนียวเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการดัดแปร และมีแนวโน้มคงที่เมื่อระยะเวลาการดัดแปรมากกว่า 60 นาที

อย่างไรก็ตามการดัดแปรเส้นใยที่ 180 องศาเซลเซียส ทำให้สมบัติความทนต่อแรงดึง คือมอดูลัสของยังก์ ความทนต่อแรงดึง และความเหนียว ต่ำกว่าสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.9 กราฟระหว่างสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านศรนารายณ์และระยะเวลาการดัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส: มอดูลัสของยังก์ (a) ความทนต่อแรงดึง (b) และ ความเหนียว (c)

ตารางที่ 3.8 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 120 นาที

Treatment Conditions	Young's Modulus (GPa)		Tensile Strength (GPa)		Toughness (J/m ³)	
	Range	Average±SD	Range	Average±SD	Range	Average±SD
0 min	16.7 – 100.5	51.8 ± 23.2	0.4 – 2.5	1.1 ± 0.5	3.0 – 73.5	18.6 ± 11.6
180°C, 30 min	19.8 - 109.2	46.9 ± 20.8	0.3 – 2.2	0.9 ± 0.4	2.5 – 36.4	9.7 ± 7.2
180°C, 60 min	23.5 – 110.9	52.3 ± 24.7	0.3 - 1.9	0.8 ± 0.4	2.2 – 23.2	7.8 ± 5.1
180°C, 120 min	17.3 – 151.3	70.6 ± 31.0	0.2 - 1.9	1.0 ± 0.5	1.6 – 22.6	8.6 ± 4.9



3.3 ผลการตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยวิธี detergent method พบว่าการตัดแปรด้วยความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส มีผลต่อการลดลงของ ลิกนิน (lignin) อย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที

Treatment Condition	Fiber Composition				
	Lignin (%)	Hemice-llulose (%)	Cellulose (%)	Ash (%)	others (%)
0 min	8.5	19.0	66.2	1.6	4.7
200°C 10 min	5.8	23.5	67.3	1.5	1.9
200°C 20 min	5.5	23.7	67.3	1.6	1.9
200°C 30 min	5.7	21.5	70.1	1.6	1.1
200°C 40 min	5.0	25.6	67.5	1.6	0.3
200°C 50 min	8.6	24.5	63.4	1.4	2.1
200°C 60 min	5.9	21.9	69.0	1.5	1.7

3.3.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเคมีที่พื้นผิวเส้นใยป่านครนารายณ์

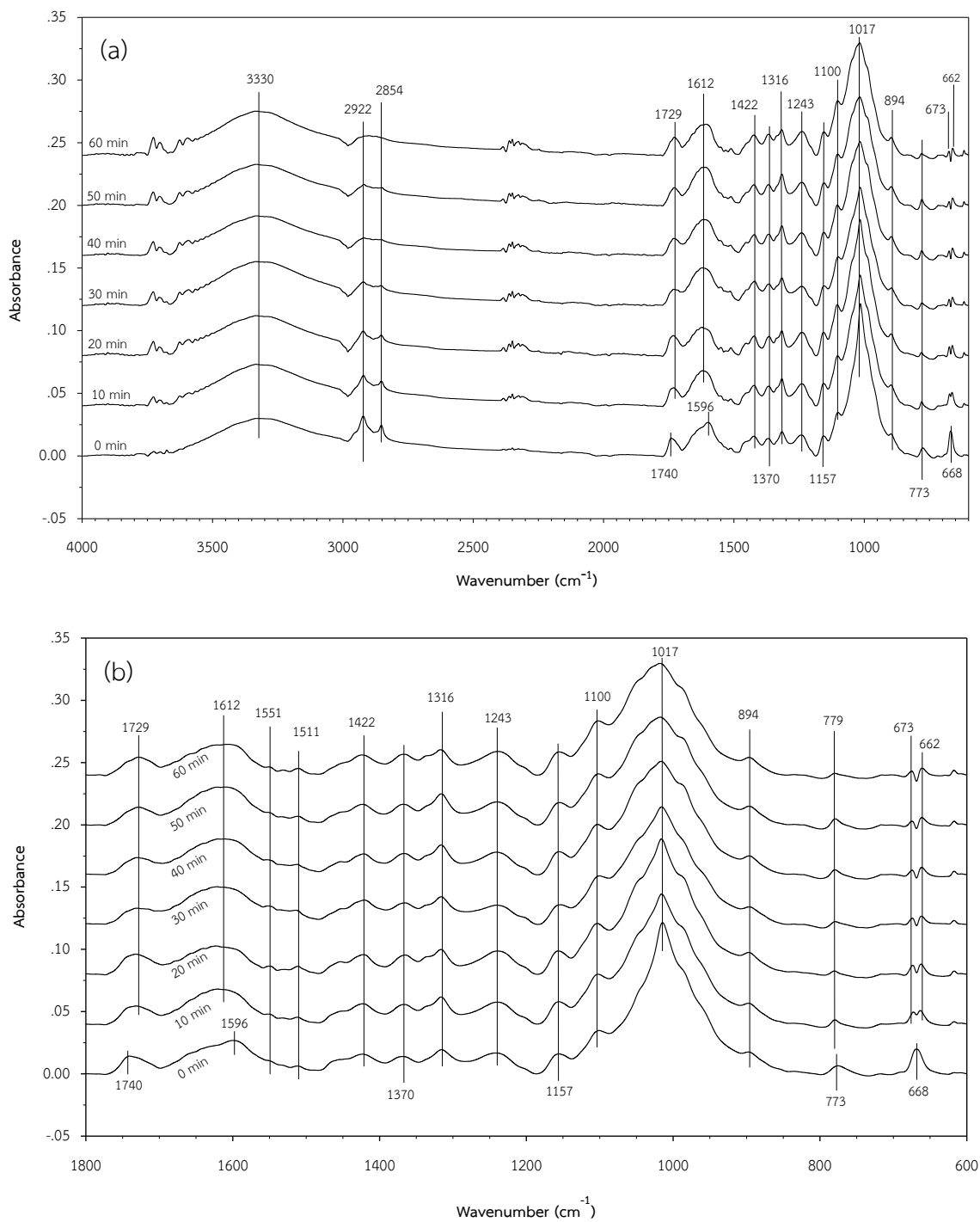
สเปกตรัมจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวเส้นใยป่านครนารายณ์ด้วยเทคนิค FTIR microspectroscopy ของเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3.10 สำหรับ peak assignment ของเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปร แสดงในตารางที่ 3.5 จากสเปกตรัมแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส ดังนี้

พีคที่ตำแหน่ง 1740 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) จากหมู่เอเซทิล (acetyl group) ของเฮมิเซลลูโลสเลื่อนไปที่ตำแหน่ง 1729 cm^{-1} การเลื่อนไปที่ตำแหน่งที่เลขคลื่น (wavenumber) ต่ำลงแสดงให้เห็นว่า มีหมู่คาร์บอนิลอิสระ (free carbonyl group) เพิ่มขึ้น เนื่องจากพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ระหว่างหมู่คาร์บอนิลของเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และโมเลกุลของน้ำลดลง เนื่องจากน้ำที่ถูกดูดซับไว้ได้ระเหยออกไปบางส่วนจากการตัดแปรด้วยความร้อน

พีคที่ตำแหน่ง 1596 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดจากการสั่น (vibration) ของหมู่ aromatic skeletal ของลิกนิน เลื่อนไปที่เลขคลื่นที่สูงขึ้น และรูปร่างพีคมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ตั้งแต่การตัดแปรด้วยความร้อนที่ 200°C เป็นเวลา 10 นาที เมื่อเวลาการตัดแปรด้วยความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 60 นาที ตำแหน่งพีค อยู่ที่ 1612 cm^{-1} การเลื่อนไปที่ตำแหน่งที่เลขคลื่น (wavenumber) สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่า มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างอะโรมาติก (aromatic skeletal structure) ของลิกนิน

พีคที่ตำแหน่ง 773 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่ H-C ของวงแหวนอะโรมาติก เลื่อนไปที่ตำแหน่ง 779 cm^{-1} การเลื่อนไปที่ตำแหน่งที่เลขคลื่น (wavenumber) อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเคมีของลิกนิน

พีคที่ตำแหน่ง 668 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่แอลกอฮอล์ (alcohol group) ของอัลฟาเซลลูโลส แยกออกเป็นสองพีคที่ตำแหน่ง 673 และ 662 cm^{-1} ซึ่งแยกออกเป็นสองพีคอย่างชัดเจนตั้งแต่ระยะเวลาการตัดแปรเท่ากับ 10 นาที อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโครงร่างสายโซ่โมเลกุล (chain conformation) [39] หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (intermolecular hydrogen bonding) และพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล (intramolecular hydrogen bonding) [40]



รูปที่ 3.10 FTIR spectra ของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที

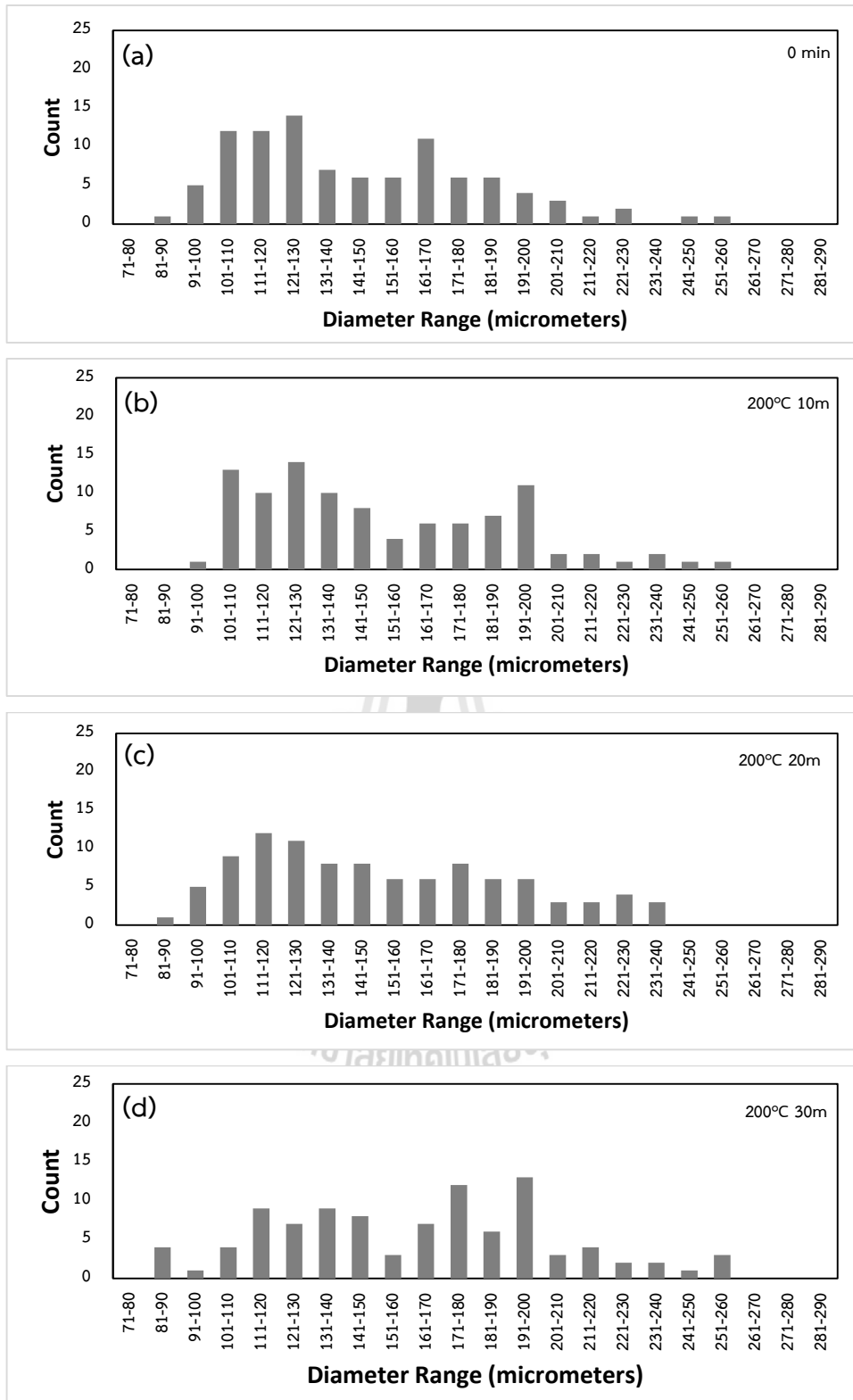
3.3.3 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์

เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.11 เส้นใยป่านที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 85-262 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 147 ± 38 ไมโครเมตร สำหรับเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เมื่อตัดแปรเป็นเวลา 10 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 99-254 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 158 ± 38 ไมโครเมตร เมื่อตัดแปรเป็นเวลา 30 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 81-258 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 163 ± 42 ไมโครเมตร และ เมื่อตัดแปรเป็นเวลา 60 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 86-236 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 147 ± 31 ไมโครเมตร ข้อมูลโดยสรุปของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการตัดแปรและหลังการตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 3.10

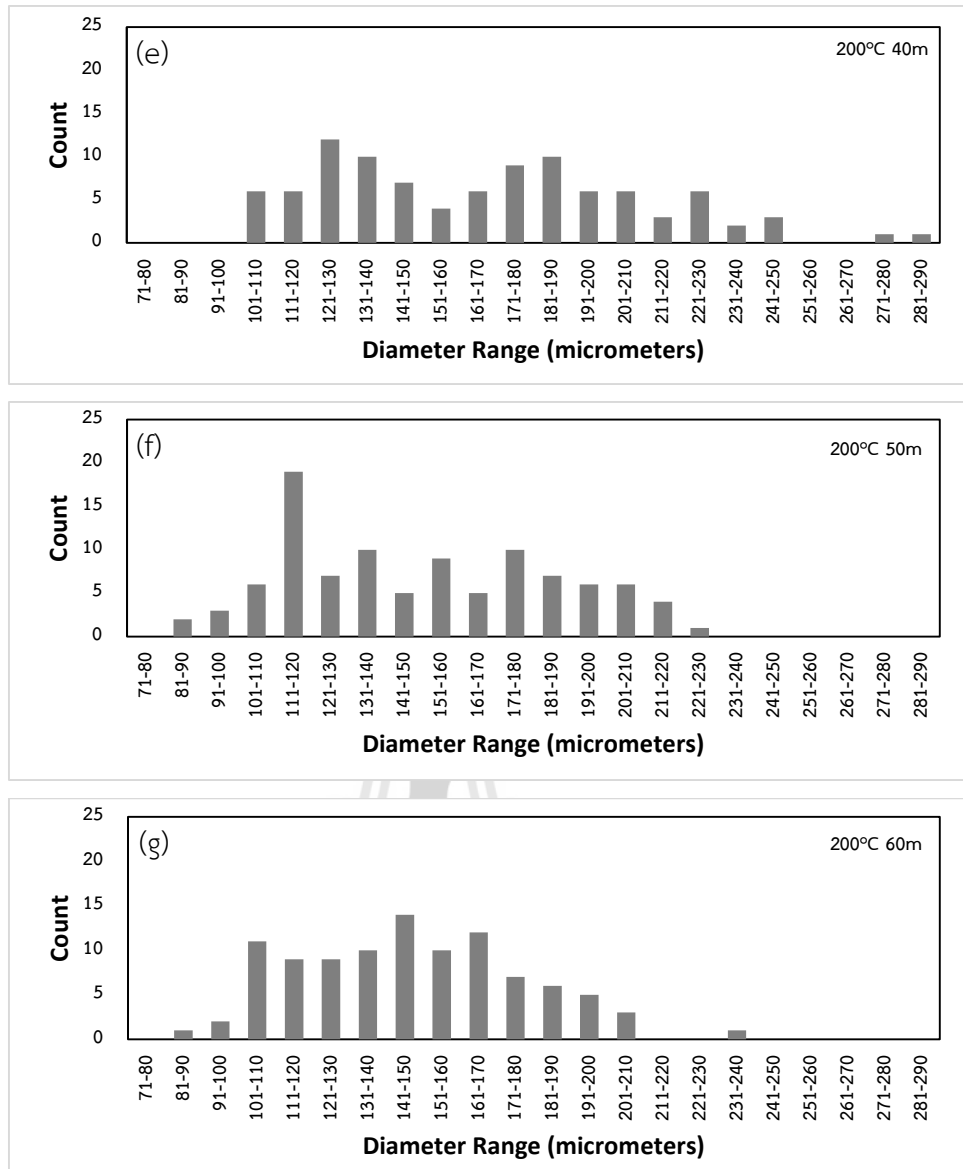
จากข้อมูลในตารางที่ 3.10 ไม่อาจสรุปได้ว่าการตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-60 นาที มีผลต่อขนาดของเส้นใย

ตารางที่ 3.10 ขนาดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที

Treatment Condition	Fiber Diameter (micrometers)		
	Range	Average \pm SD	Median
0 min	85 - 262	147 ± 38	136
200°C 10 min	99 - 254	158 ± 38	141
200°C 20 min	86 - 238	152 ± 40	147
200°C 30 min	81 - 258	163 ± 42	165
200°C 40 min	102 - 291	168 ± 42	169
200°C 50 min	82 - 225	150 ± 36	145
200°C 60 min	86 - 236	147 ± 31	145



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (a) และ เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (b) 20 นาที (c) 30 นาที (d) (continued)



รูปที่ 3.11 (Continued) กราฟแสดงการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที (e) 50 นาที (f) และ 60 นาที (g)

3.3.4 สมบัติทางความร้อน

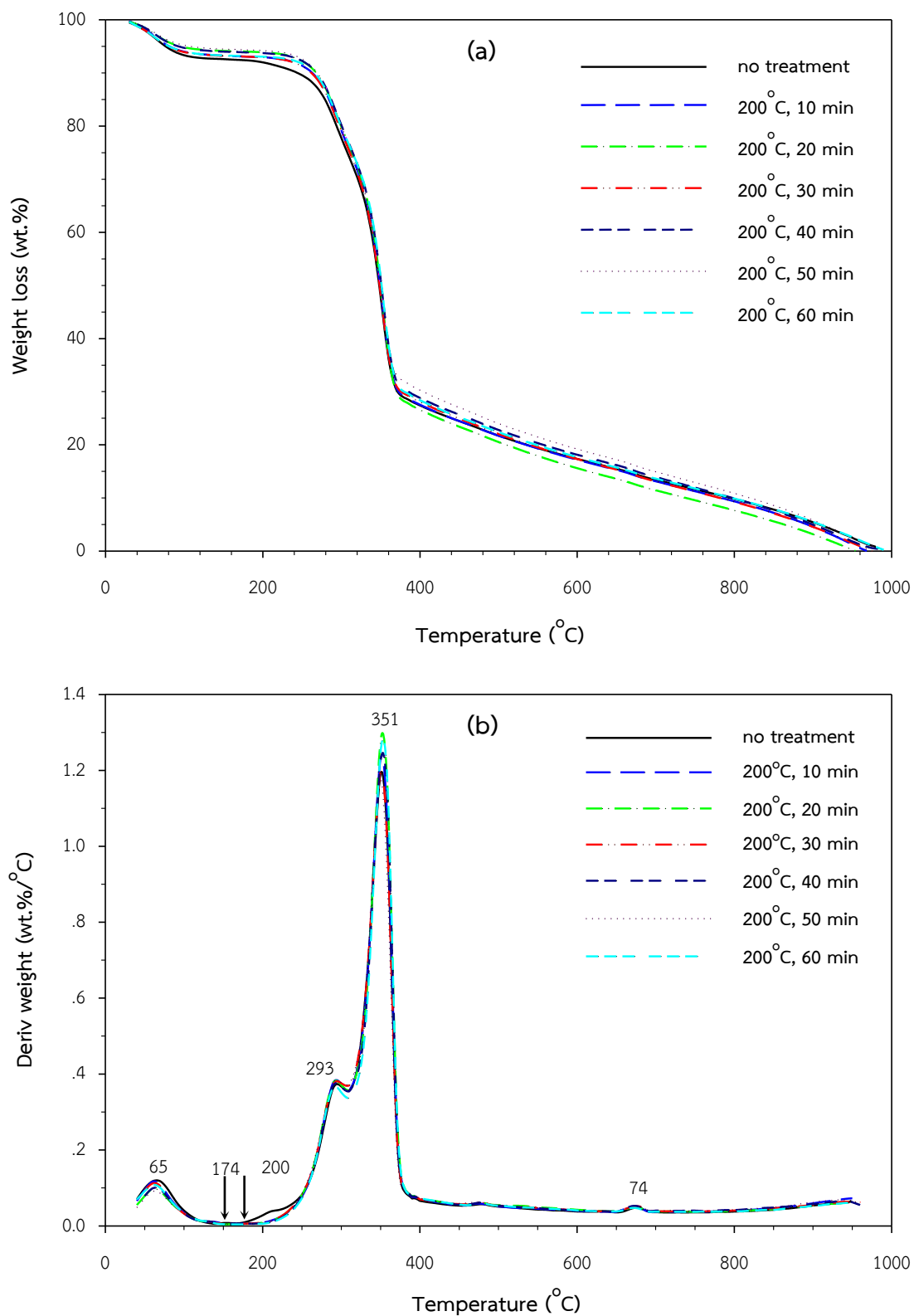
กราฟแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลาย และอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลาย ของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 - 60 นาที แสดงในรูปที่ 3.12 (a) และรูปที่ 3.12 (b) เส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ จะเห็นว่า จะมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 6-7 เส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรเล็กน้อย

กราฟอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ดัดแปรที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (b) ไม่แสดงทรานซิชันเนื่องจากการเสื่อมสลายของไฮโดรเจนและแวกซ์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบเหล่านี้ได้ถูกกำจัดไปโดยการดัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

สำหรับการเกิดทรานซิชันที่ 2 ของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการดัดแปรเส้นใยที่ 200 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดลิกนินออกไปบางส่วนได้ และเมื่อเวลาที่ใช้ในการดัดแปรเส้นใยมากขึ้น พบว่ามีผลต่อ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดทรานซิชันน้อยมาก

กราฟแสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลาย และกราฟแสดงอนุพันธ์อุณหภูมิการเสื่อมสลายในช่วงการเกิดทรานซิชันที่ 3 และ 4 ของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

อุณหภูมิการเกิดทรานซิชันและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและที่ผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 3.11



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงอุณหภูมิเสื่อมสลาย (a) และอนุพันธ์ของอุณหภูมิเสื่อมสลาย (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 200°C ระยะเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที

ตารางที่ 3.11 อุณหภูมิการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนและน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที

Treatment Conditions	1 st Transition		2 nd Transition Initial Temp (°C)	3 rd Transition Temp (°C)	4 th Transition Temp (°C)
	Water Evaporation Peak (°C)	Weight Loss (%)			
0 min	65	7.4	174	294	350
200°C, 10 min	62	6.7	198	293	352
200°C, 20 min	62	5.8	198	293	352
200°C, 30 min	63	6.9	199	293	352
200°C, 40 min	63	6.0	200	293	352
200°C, 50 min	62	5.6	203	293	350
200°C, 60 min	62	6.5	204	293	353

3.3.5 สมบัติทางกล

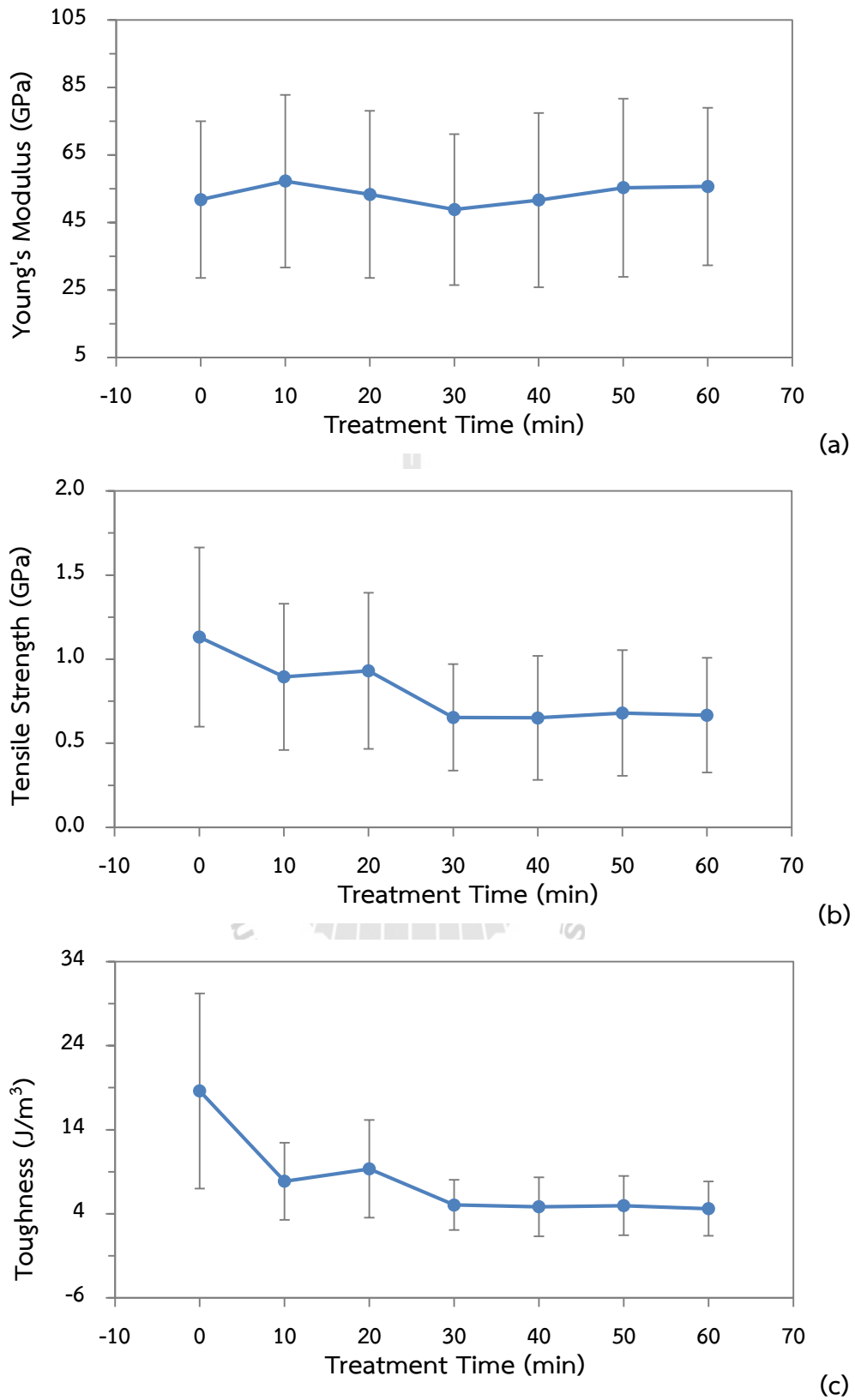
เส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีค่ามอดูลัสของยังก์ (Young's modulus) เท่ากับ 52 GPa ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) เท่ากับ 1.1 GPa และ ความเหนียว (toughness) เท่ากับ 18.6 J/m³

เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มอดูลัสของยังก์เพิ่มขึ้นเป็น 57 GPa เมื่อเวลาการตัดแปรด้วยความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 20 และ 30 นาที ปรากฏว่า มอดูลัสของยังก์ของเส้นใยลดลงเหลือ 53 และ 49 GPa ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการตัดแปรความร้อนเพิ่มขึ้น เป็น 40 50 และ 60 นาที มอดูลัสของยังก์กลับเพิ่มขึ้นเป็น 52 55 และ 57 GPa ตามลำดับ

เมื่อตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 200 องศาเซลเซียส ความทนต่อแรงดึงของเส้นใยลดลงเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่เวลาการตัดแปรเท่ากับ 10 – 20 และ 30 – 60 นาที เมื่อระยะเวลาการตัดแปรเท่ากับ 10 – 20 นาที ความทนต่อแรงดึงของเส้นใยลดลงเป็น 0.9 GPa และเมื่อระยะเวลาการตัดแปรเป็น 30 – 60 นาที ความทนต่อแรงดึงของเส้นใยลดลงเหลือ 0.7 GPa

การตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 200 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ความเหนียวของเส้นใยลดลงเป็น 2 ช่วงเช่นเดียวกัน คือช่วงที่เวลาการตัดแปรเท่ากับ 10 – 20 และ 30 – 60 นาที เมื่อระยะเวลาการตัดแปร 10 – 20 นาที ความเหนียวของเส้นใยลดลงเป็น 8 – 9 J/m³ และเมื่อระยะเวลาการตัดแปรเป็น 30 – 60 นาที ความเหนียวของเส้นใยลดลงเหลือ 5 J/m³





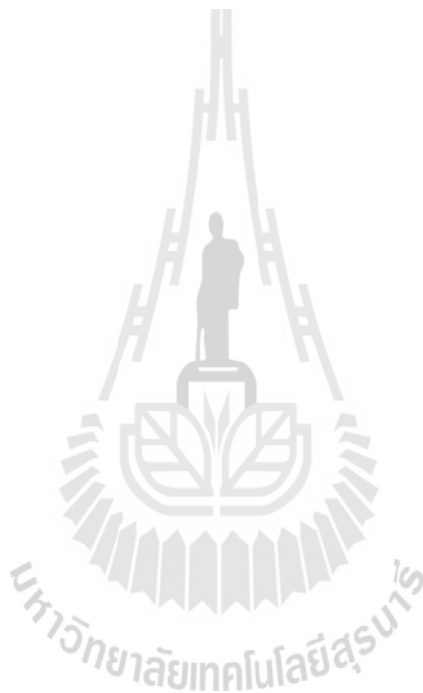
รูปที่ 3.13 กราฟระหว่างสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยปานครนารายณ์และระยะเวลาการดัด-แปรที่ 200 องศาเซลเซียส: มอดูลัสของยังก์ (a) ความทนต่อแรงดึง (b) และ ความเหนียว (c)

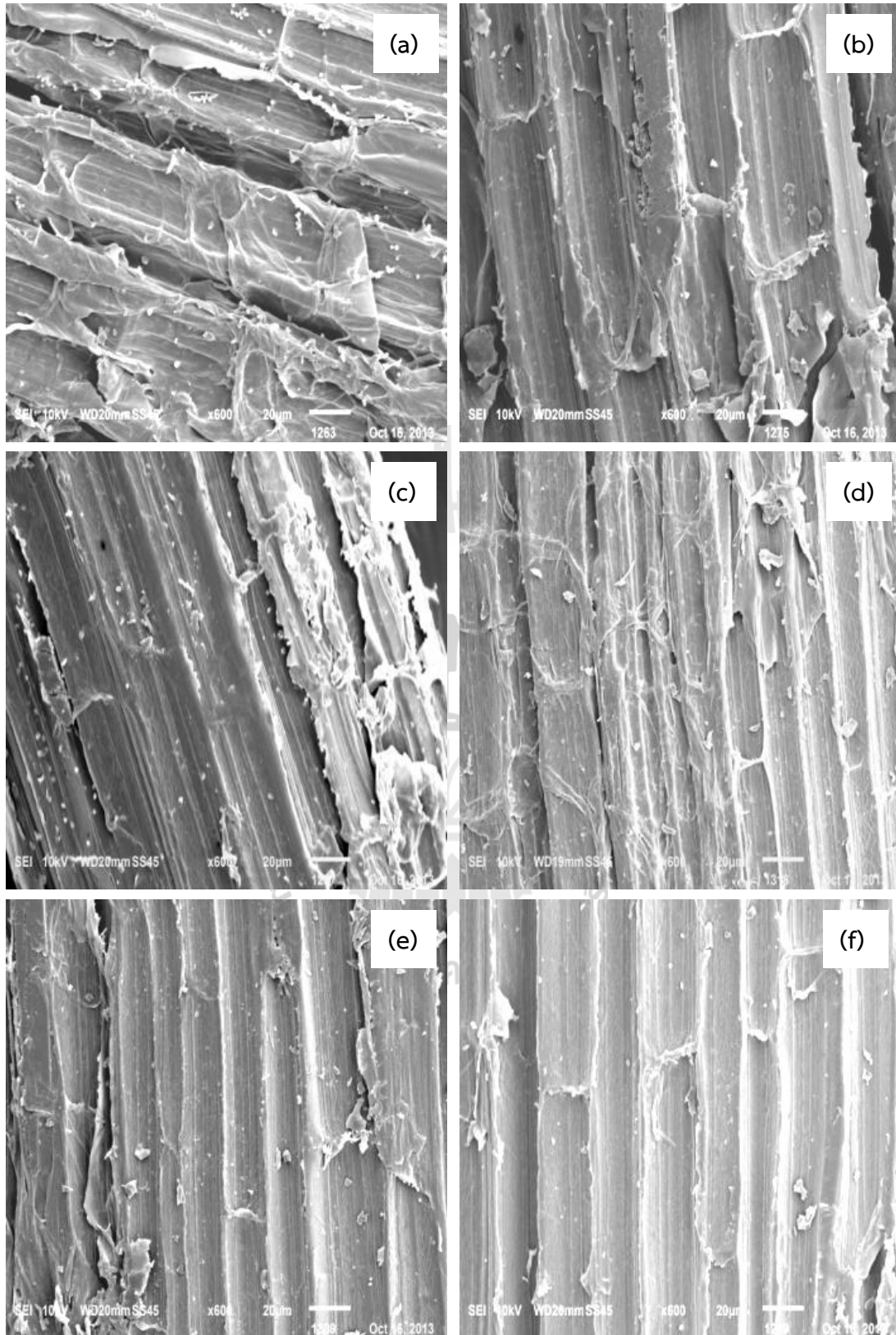
ตารางที่ 3.12 สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 40 นาที 50 นาที และ 60 นาที

Treatment Conditions	Young's Modulus (GPa)		Tensile Strength (GPa)		Toughness (J/m ³)	
	Range	Average±SD	Range	Average±SD	Range	Average±SD
0 min	16.7 – 100.5	51.8 ± 23.2	0.4 – 2.5	1.1 ± 0.5	3.0 – 73.5	18.6 ± 11.6
200°C, 10 min	18.3 – 110.1	57.2 ± 25.6	0.3 – 1.9	0.9 ± 0.4	1.9 – 19.5	7.9 ± 4.6
200°C, 20 min	18.0 – 111.9	53.3 ± 24.8	0.3 – 2.1	0.9 ± 0.5	2.0 – 28.2	9.3 ± 5.8
200°C, 30 min	20.7 – 101.1	48.8 ± 22.4	0.3 – 1.6	0.7 ± 0.3	1.4 – 13.4	5.1 ± 3.0
200°C, 40 min	23.3 – 108.1	51.6 ± 25.8	0.2 – 1.7	0.7 ± 0.4	1.2 – 16.4	4.8 ± 3.5
200°C, 50 min	15.2 – 112.8	55.3 ± 26.4	0.2 – 1.6	0.7 ± 0.4	0.8 – 17.8	5.0 ± 3.5
200°C, 60 min	17.7 – 102.4	55.6 ± 23.3	0.2 – 1.6	0.7 ± 0.3	0.8 – 17.4	4.6 ± 3.2

3.3.6 สันฐานวิทยา

จาก ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบเคมีของเส้นใยที่เป็น binders ที่ปกคลุมพื้นผิวเส้นใยหลุดออกจากพื้นผิวเส้นใยเผยให้เห็น ผิวหน้าเส้นใยมากขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยใน หัวข้อ 3.3.4 และลักษณะของแม็คโครไฟบริล (macrofibril) จะแยกออกจากกัน เนื่องจากองค์ประกอบ เคมีจำพวกลิกนินที่เป็น binder material ส่วนหนึ่งได้เสื่อมสลายด้วยการตัดแปรด้วยความร้อน





รูปที่ 3.14 ภาพถ่าย SEM (x600) แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ผ่านการดัดแปรที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (a) 20 นาที (b) 30 นาที (c) 40 นาที (d) 50 (e) นาที และ 60 นาที (f)

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรประกอบด้วย ความชื้นประมาณร้อยละ 7 เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อบแห้งแล้วพบว่าประกอบด้วยลิกนินร้อยละ 8 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 19 และเซลลูโลสร้อยละ 66 และมีค่ามอดุลัสของยังก์ เท่ากับ 52 GPa ความทนต่อแรงดึงเท่ากับ 1.1 GPa และความเหนียวเท่ากับ 18.6 J/m^3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยมีชั้นเยื่อบาง ๆ ปกคลุมผิวหน้าสันนิษฐานว่าเป็นสารประกอบจำพวกไซและแว็กซ์

การตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นของเส้นใยป่านศรนารายณ์เหลือประมาณร้อยละ 5-6 เมื่อระยะเวลาตัดแปรไม่น้อยกว่า 30 นาที ปริมาณความชื้นของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร และการตัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ไซและแว็กซ์ถูกกำจัดและทำให้ลิกนินเสื่อมสลายเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อการยึดติดกันของโครงสร้างแม้โครไฟบริล การตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 150 องศาเซลเซียส ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อมอดุลัสของยังก์และความทนต่อแรงดึง (tensile strength) แต่มีผลทำให้ความเหนียวของเส้นใยลดลง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้น

การตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นของเส้นใยร้อยละ 6-7 มีผลทำให้ไซและแว็กซ์ถูกกำจัด และทำให้ลิกนินเสื่อมสลายมากขึ้นเมื่อเทียบกับการตัดแปรเส้นใยที่ 150 องศาเซลเซียส การตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 180 องศาเซลเซียส มีผลต่อมอดุลัสของยังก์และมีผลต่อการลดลงเล็กน้อยของความทนต่อแรงดึง (tensile strength) แต่มีผลทำให้ความเหนียวของเส้นใยลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้น มอดุลัสของยังก์เพิ่มขึ้นใน 30 นาทีของการตัดแปร แต่เมื่อเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้นมอดุลัสของยังก์จะลดลง อย่างไรก็ตามการตัดแปรเส้นใยที่ 180 องศาเซลเซียสทำให้สมบัติความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าสมบัติของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส

การตัดแปรด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้นของเส้นใยร้อยละ 6-7 มีผลทำให้ไซและแว็กซ์ถูกกำจัด และทำให้ลิกนินเสื่อมสลายมากขึ้นเมื่อเทียบกับการตัดแปรเส้นใยที่ 150 และ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลทำให้โครงสร้างแม้โครไฟบริลแยกออกจากกัน การตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 200 องศาเซลเซียส มีผลต่อการลดลงของมอดุลัสของยังก์ ความทนต่อแรงดึง และความเหนียวของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อระยะเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้นสมบัติความทนต่อแรงดึงจะลดลง และสมบัติความทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียสจะต่ำกว่าของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรเส้นใยที่ 150 และ 180 องศาเซลเซียส

การตัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยความร้อนที่ 150 180 และ 200 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นใยในระดับไมโครเมตร

เอกสารอ้างอิง

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. M. W. Sabaa, *Polym. Degrad. Stab.*, **32**, 209, 1991.
11. J. I. Kroschwitz, *Polymer: Fibres and Textiles*, Wiley Interscience, New York, 1990.
12. S. C. O. Ugbohue, *Text. Inst.*, **20**, 41, 1900.
13. P. Ghosh, S. Biswas, and C. Datta, *J. Mater. Sci.*, **24**, 205, 1989.
14. D. Maldas, B. V. Kokta, and C. Daneaulf, *J. Appl. Polym. Sci.*, **37**, 751, 1989.
15. A. K. Saha, S. Das, R. K. Basak, D. Bhatta, and B. C. Mitra, *J. Appl. Polym. Sci.*, **78**, 495, 2000.
16. M. G. S. Yap, Y. T. Que, L. H. Chia, and H. S. O. Chan, *J. Appl. Polym. Sci.*, **43**, 2057, 2000.
17. H. Wikberg and S.L. Maunu, *Carbohydr. Polym.*, **58**, 461, 2004.
18. S. Yildiz and E. Bümüskaaya, *Build. Environ.*, **42**, 62, 2007.
19. บุรฉัตร ฉัตรวีระ พิชัย นิมิตรยงสกุล และ S. O. Ogunlana. *สภาพลักษณะและคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเส้นใยธรรมชาติในประเทศกำลังพัฒนา*. ม.ป.ก.
20. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. *วิทยาศาสตร์เส้นใย*. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ 2543.
21. เอกสารวิชาการพันธุ์พืชไร่. สถาบันวิจัยพืชไร่. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2539.
22. M. K. Kompella and J. Lambros, *Polym. Test.*, **21**, 524, 2002.
23. C. Howell, A. Christine S. Hastrup and J. Jellison, *The 38 Annual Meeting of The International Research Group on Wood Preservation*, Jackson Lake Lodge, Wyoming, USA, 20-24 May, 2007.

24. A. D. Beshay, B. V. Kokta, and C. Daneault, *Polym. Compos.*, **6**, 261, 1985.
25. R. G. Raj, B. V. Kokta, and C. Daneault, *J. Adhes. Sci. Technol.*, **3**, 55, 1989.
26. Y. H. Zang and S. Sapiuha, *Polymer*, **32**, 489, 1991.
27. J. Jayamol, M. S. Sreekala, and S. Thomas, *Polym. Eng. Sci.*, **41**, 1471, 2001.
28. T. Czvikovszky, *Radiat. Phys. Chem.*, **47**, 425, 1996.
29. M. Peesan, R. Sooksakulrat, S. Chalermboon, A. Thongchai, and P. Supaphol, *Proceeding of the 2nd Internation Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers*, BC-O11, 2007
30. J. J. Robin and Y. Breton, *J. Reinf. Plast. Compos.*, **20**, 1253, 2001.
31. J. Dutkiewicz, K.A. Szymonski, and T. Sun, *US Patent: 5834095*.
32. M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu, G. C. Yang, and H. M. Zeng, *Compos. Sci. Technol.*, **61**, 1437, 2001.
33. M. Jacob and S. Thomas, and K. T. Varughese, *J. Compos. Mater.*, **40**, 1471, 2006.
34. S. Ochi, H. Takagi, and R. Niki, *Zairyo*, **51**, 1164, 2002.
35. S. Ochi and H. Takagi, *Zairyo*, **53**, 673, 2004.
36. S. Ochi, *Composites: Part A*, **37**, 1879, 2006.
37. H. K. Goering, and P.J. Van Soest, Forage Fiber Analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA Agricultural Handbook No. 379, 1970.
38. H. Yang, R. Yan, H. Chen, D. H. Lee, and C. Zheng, *Fuel*, **82**, 1781, 2007.
39. R. G. Elenga, P. Djemia, D. Tingaud, T. Chauveau, J. G. Maniongui, and G. Dirras, *BioResources*, **8**, 2934, 2013.
40. T. Kondo and C. Sawatari, *Polymer*, **37**, 393, 1996.
41. J. Abeza and J. Freer, Chemical Characterization of Wood and Its Components, in *Wood and Cellulose Chemistry 2nd Ed.*, edited D. N.-S. Hon N. Shiraishi, Marcel Dekker, New York, 2001.
42. G. Cantero, A. Arbelaiz, R. L.-Ponte, and I. Mondragon, *Compos. Sci. Technol.*, **63**, 1247, 2003.
43. J. X. Sun, x. F. Sun, H. Zhao, and R. C. Sun, *Polym. Degrad. Stab.*, **84**, 331, 2004.
44. A. Alemdar and M. Sain, *Compos. Sci. Technol.*, **68**, 557, 2008.
45. Y. Maréchal and H. Chanzy, *J. Mol. Struct.*, **523**, 183, 2000.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

นางวิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2532 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2536 และ จบการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขา Macromolecular Science จาก Case Western Reserve University มลรัฐโอไฮโอ ประเทศสหรัฐอเมริกา พ.ศ. 2543 สาขาวิชาการที่มีความสนใจ สเปกโทรสโกปีของพอลิเมอร์ (spectroscopy of polymers) และ คอมโพสิทอินเทอร์เฟซ (composite interface/interphase) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 31 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวกษมา จารุกำจร ดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2534 จบการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขา Polymer Engineering จาก University of Akron มลรัฐโอไฮโอ ประเทศสหรัฐอเมริกา พ.ศ. 2542 มีความชำนาญพิเศษในสาขา Polymer Characterization และ Polymer Composites มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติ ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 34 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ

ผู้ร่วมวิจัย

นางยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ ดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วัสดุศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2536 และ จบการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขา Polymer Engineering จาก University of Akron มลรัฐโอไฮโอ ประเทศสหรัฐอเมริกา พ.ศ. 2542 สาขาวิชาการที่มีความสนใจ กระบวนการขึ้นรูปและตรวจสอบพอลิเมอร์ (polymer processing and characterization) และพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิท (polymer blends and composites) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 36 บทความ และ รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ