

รหัสโครงการ SUT7-710-52-12-75



รายงานการวิจัย

**ผลของการดัดแปรทางความร้อนและสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติของ
พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านศรนารายณ์**

**(Effect of heat treatment and compatibilizer on properties of
polypropylene /sisal fiber composites)**

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

ผลของการตัดแปรทางความร้อนและสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติของ
พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านศรนารายณ์

(Effect of heat treatment and compatibilizer on properties of
polypropylene /sisal fiber composites)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษมา จารุกัจจร

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2552

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง ผลของการตัดแปรทางความร้อนและสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านสรนารายณ์ ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2552 ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นางสาวสุลาวัลย์ แก้วกุก นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทเคมีคอล อินโนเวชั่น จำกัด (Chemical innovation Co., Ltd) ที่ให้ความอนุเคราะห์ Fusabond[®] P MZ109D ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบการทนต่อแรงดึง



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการผลของการตัดแปรทางความร้อนและสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ชนิดสั้นกับพอลิโพรพิลีน พอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีนถูกเตรียมโดยเครื่องบดผสมภายใน และชิ้นงานทดสอบถูกขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดขึ้นรูป ปริมาณเส้นใยคือ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การตัดแปรเส้นใยด้วยความร้อน และการเติมสารช่วยให้เข้ากัน (พอลิโพรพิลีนกราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์) ถูกใช้ในการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์ ปริมาณพอลิโพรพิลีนกราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์คือ 3 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของพอลิเมอร์

การตัดแปรด้วยความร้อนทำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 15 30 45 60 90 และ 120 นาที 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 15 30 45 60 90 และ 120 นาที และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 15 30 45 และ 60 นาที พบว่าที่การตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ค่าการทนแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่เวลาการตัดแปรต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียสได้ค่าการทนแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรสูงสุดที่เวลาการตัดแปร 5 นาที ความเสถียรต่อความร้อนของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนดีกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและเวลาในการตัดแปรแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของการเสื่อมสลายของส่วนประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ น้ำแข็ง และบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสที่อยู่บนพื้นผิวของเส้นใย ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นถึงการหลุดออกของวัสดุเชื่อมติด และลักษณะภายนอกของพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน

อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลสและพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีการตัดแปรด้วยความร้อนกับพอลิโพรพิลีนสูงกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรกับพอลิโพรพิลีน อย่างไรก็ตาม การเติมพอลิโพรพิลีนกราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ไม่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลส และพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีน การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลสแต่อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีนไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ การตัดแปรทางความร้อนและการเติมสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณผลึกของพอลิโพรพิลีน เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่อุณหภูมิการตกผลึก และปริมาณผลึกของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น การตัดแปรทางความร้อนของเส้นใยและการ

เดิมสารช่วยให้เข้ากันส่งผลในการปรับปรุงความต้านทานต่อการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีนขณะอุณหภูมิการบดงอและความหนืดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของ นอกจากนี้การตัดแปรทางความร้อนของเส้นใยและการเติมสารช่วยให้เข้ากันปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีน การเพิ่มขึ้นของค่าการทนแรงดึงและค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีนเกิดขึ้นเมื่อพอลิโพรพิลีนกร้าฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ถูกเติมลงในพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีน



Abstract

This research aimed to study effect of heat treatment and compatibilizer on properties of short sisal fiber/polypropylene (PP) composites. The sisal/PP composites were prepared using an internal mixer and test specimens were molded using an injection molding machine. The fiber contents were 10, 20, and 30 wt%. Fiber heat treatment and adding the compatibilizer (maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) were used to enhance the compatibility between the sisal fiber and PP matrix. MAPP content was 3 phr.

Heat treatment was performed at 150 °C for 10, 15, 30, 45, 60, 90, and 120 min, 170 °C for 5, 15, 30, 45, 60, 90, and 120 min, and 200 °C for 5, 15, 30, 45, and 60 min. For the treatment at 150 and 170°C, the tensile strength of the treated fibers at different treatment times insignificant changed whereas for the treatment at 200°C, the maximum tensile strength of the treated fiber was obtained at 5 min treatment. Thermal stability of the heat treated fibers was better than that of untreated fiber. Increasing treatment temperature and treatment time showed significant increase in degradation of the low molecular weight composition, wax, and some hemicellulose covering the fiber surface. SEM micrograph showed some removal of binding materials and showed rougher surface topology of heat treated fiber.

The decomposition temperature of cellulose and PP of heat treated sisal/PP composites were higher than that of untreated sisal/PP composite. However, adding MAPP did not affect the decomposition temperature of cellulose and PP of sisal/PP composites. Increasing fiber content led to a decrease in decomposition temperature of cellulose and an insignificant change of decomposition temperature of PP of sisal/PP composites. Heat treatment and adding compatibilizer did not significantly affect crystallization temperature and crystallinity of PP. With increasing fiber content, melting temperature of PP insignificantly changed while crystallization temperature and crystallinity of PP increased. Heat treatment and adding compatibilizer resulted in improved resistance of water absorption of sisal/PP composites while insignificant change in HDT and viscosity of sisal/PP composites. In addition, heat treatment and adding compatibilizer enhanced mechanical properties of sisal/PP composites. An increase in tensile and impact strength was observed when MAPP was added into the sisal/PP composites.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ภูมิหลัง	5
2.1 ลักษณะเฉพาะของเส้นใยป่านศรนารายณ์	5
2.1.1 สมบัติทางความร้อน.....	6
2.1.2 สมบัติทางกล.....	7
2.2 การตัดแปรทางความร้อนของไม้และเส้นใยธรรมชาติ	8
2.3 การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ลิกโนเซลลูโลสและพอลิเมอร์	11
2.3.1 การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยการตัดแปร ทางความร้อน	11
2.3.2 การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยการเติม สารช่วยให้เข้ากัน	12
2.4 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยธรรมชาติและ พอลิเมอร์	13
2.4.1 สมบัติทางกล.....	13
2.4.2 สมบัติทางความร้อน	14
2.4.3 สมบัติทางกระแสวิทยา.....	15
2.4.4 สมบัติทางสัญญาณวิทยา.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.5 สมบัติการดูดน้ำ	17
บทที่ 3 วัสดุและการทดลอง	18
3.1 วัสดุ	18
3.2 การทดลอง	18
3.2.1 การเตรียมเส้นใย	18
3.2.2 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต	18
3.2.3 การทดสอบสมบัติของเส้นใย	19
3.2.4 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต	19
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	21
4.1 ผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใย ป่านศรนารายณ์	21
4.1.1 สมบัติทางกล	21
4.1.2 สมบัติทางสัญญาณวิทยา	24
4.1.3 สมบัติทางความร้อน	33
4.2 ผลของการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน	38
4.2.1 สมบัติทางความร้อน	38
4.2.2 สมบัติทางกระแสวิทยา	48
4.2.3 สมบัติทางกล	50
4.2.4 สมบัติทางสัญญาณวิทยา	57
4.2.5 สมบัติการดูดน้ำ	60
บทที่ 5 บทสรุป	63
บรรณานุกรม	65
ประวัติผู้วิจัย	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านสรนารายณ์.....	6
4.1 ค่าการทนต่อแรงดึง มอดุลัสของย้งก์ และเปอร์เซ็นต์การยี้ดของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการคัดแปรทางความร้อน	24
4.2 ลักษณะการเสื่อมสลายทางความร้อนของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการคัดแปรทางความร้อน	37
4.3 อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณของเส้นใยต่าง ๆ.....	39
4.4 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณของเส้นใยต่าง ๆ.....	44
4.5 อุณหภูมิการบิดงอของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณของเส้นใยต่าง ๆ.....	48
4.6 ค่าการทนต่อแรงดึง มอดุลัสของย้งก์ และเปอร์เซ็นต์การยี้ดของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ.....	54
4.7 ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ	56

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างองค์ประกอบของเส้นใยลิกโนเซลลูโลส	5
2.2 ภาพร่างของต้นป่านสรนารายณ์และภาคตัดขวางของใบของป่านสรนารายณ์.....	6
4.1 กราฟค่าการทนต่อแรงดึงและเวลาการตัดแปรของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน และผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน	22
4.2 กราฟมอดุลัสของยั้งก์และเวลาการตัดแปรของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน และผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน	23
4.3 กราฟเปอร์เซ็นต์การยืดและเวลาการตัดแปรของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่าน และผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน	23
4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของเส้นใยที่ ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 10 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที (g) 90 นาที และ (h) 120 นาที.....	25
4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของภาคตัดขวางของเส้นใย ที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 10 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที (g) 90 นาที และ (h) 120 นาที.....	26
4.6 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของเส้นใยที่ ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 10 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที (g) 90 นาที และ (h) 120 นาที.....	28
4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของภาคตัดขวางของเส้นใย ที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 10 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที (g) 90 นาที และ (h) 120 นาที.....	29
4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของเส้นใยที่ ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 5 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที	30
4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของภาคตัดขวางของเส้นใย ที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 5 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที	31

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิว (1) ภาคตัดขวาง (2) ของเส้นใยที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (b) 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (c) และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (d).....	32
4.11 กราฟ TGA และ DTGA ของเส้นใยป่านศรนารายณ์	33
4.12 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรทางความร้อน	36
4.13 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	40
4.14 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	41
4.15 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	42
4.16 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟส ที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (a) การให้ความร้อน และ (b) การหล่อเย็น	45
4.17 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟส ที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (a) การให้ความร้อน และ (b) การหล่อเย็น	46
4.18 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟส ที่ปริมาณเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (a) การให้ความร้อน และ (b) การหล่อเย็น	47
4.19 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่าง ๆ ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	49

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่าง ๆ ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	49
4.21 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่าง ๆ ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	50
4.22 แบบจำลองของอินเทอร์เฟสระหว่างมาเล็กแอนไฮโดรด์ (MAPP) และเส้นใยปอกระเจา (jute fiber)	51
4.23 ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ	52
4.24 มอดูลัสของยังก์ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ	53
4.25 เปอร์เซ็นต์การยึดของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ	53
4.26 ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ	56
4.27 ลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพื้นผิวของพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน UT/PP (a), HT150°C/PP (b), HT170°C/PP (c), HT200°C/PP (d) และ UT/PP/MAPP (e) ที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	58
4.28 ลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพื้นผิวของพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสและปริมาณเส้นใยต่างกัน คือ (a) 10 (b) 20 และ (c) 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	59
4.29 การดูดน้ำของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟส ที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	61

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 การดูน้ำของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยปานครนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก.....	62
4.31 การดูน้ำของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยปานครนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก.....	62



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันนี้มีการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงด้วยเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ และความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม การนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเส้นใยธรรมชาติอีกทางหนึ่งและยังเป็นการนำเอาสมบัติที่ดีของเส้นใยธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย การนำเส้นใยธรรมชาติมาผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตเป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเส้นใยธรรมชาติ ในต่างประเทศโดยเฉพาะกลุ่มประเทศในทวีปยุโรปและอเมริกา เช่น เยอรมันนี สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา ได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผลิตและใช้ประโยชน์ของคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติอย่างจริงจัง เช่น บริษัท Diamler Chrysler, Composites Product, Ford&Kafus และ Kline การใช้ประโยชน์ของคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติส่วนใหญ่จะเน้นไปที่อุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งได้แก่การนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนภายในรถยนต์ เช่น Benz, BMW, Volvo, Audi, Opel, Ford และ Volkswagen

เส้นใยธรรมชาติจากพืชชนิดต่าง ๆ จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก เส้นใยธรรมชาติมีข้อดีกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน ในแง่ที่เป็นวัสดุที่ปลูกทดแทนได้ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความแข็งแรงเฉพาะที่ยอมรับได้ โดยมีค่าการทนต่อแรงดึง (tensile strength) 511-635 เมกกะปาสกาล (MPa) [Bledzki และ Gassan, 1999] ราคาถูก ความหนาแน่นต่ำ ไม่เป็นอันตรายต่อเครื่องจักรและสุขภาพของคอนกรีต

ป่านสรนารายณ์ (sisal) เป็นเส้นใยธรรมชาติที่สามารถหาได้ในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย มีการปลูกมากในจังหวัดนครราชสีมา และจากสมบัติทางกลที่เด่นของเส้นใยป่านสรนารายณ์เมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ ทำให้เส้นใยป่านสรนารายณ์เป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีศักยภาพในการพัฒนามาใช้ในการผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งหากการวิจัยพัฒนาในการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ จะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์เกษตร เป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมโดยการลดปริมาณขยะพลาสติกและประหยัดพลังงาน และได้องค์ความรู้ใหม่ที่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืนที่เน้นการใช้ประโยชน์จากผลิตผลทางการเกษตรของประเทศ

ข้อจำกัดที่สำคัญในการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก คือ ความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่ต่ำและการดูดความชื้นที่สูงซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดในเส้นใย ประสิทธิภาพของคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยขึ้นกับอินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ (fiber-matrix interface) และความสามารถในการถ่ายโอนความเค้น (stress

transfer) จากเมทริกซ์ไปยังเส้นใย ซึ่งประสิทธิภาพการถ่ายโอนความเค้นมีส่วนสำคัญต่อสมบัติทางกลของคอมโพสิตและยังมีผลต่อความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง [Karnani, Krishnab และ Narayan, 1997] หลายกรณีพบว่าเส้นใยธรรมชาติที่นำมาใช้ในการเสริมแรงของพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน มีประสิทธิภาพที่ไม่ดี เนื่องจากการมีการยึดติด (adhesion) ที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่ต่ำ [Saheb และ Jog, 1999] สมบัติของอินเทอร์เฟซขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น องค์ประกอบทางเคมี (หมู่ฟังก์ชัน) ลักษณะของโครงสร้างทางโมเลกุล (โซ่กิ่ง การกระจายของน้ำหนักโมเลกุล การเกิดร่างแห) และรายละเอียดของสภาวะทางกายภาพ (สูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิทรานสิชันแก้ว, T_g ปริมาณของฟลัก) [Caulfield และคณะ, 1999]

การปรับปรุงอินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ สามารถทำได้โดยการตัดแปร (treatment) เส้นใย เช่น การฟอกขาว (bleaching) การกร้าฟด้วยมอนอเมอร์ (grafting of monomers) การทำอะเซทิลเลชัน (acetylation) การทำอัลคาไลน์เซชัน (alkalization) [Joseph, Joseph และ Thomas, 1999] เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถทำได้โดยการใช้สารช่วยให้เข้ากัน (compatibilizer) เช่น พอลิเมอร์ที่มีการกร้าฟด้วยหมู่ฟังก์ชันหรือสารคู่ควบ (coupling agent) พวก tetrafunctional organometallic compounds ที่มี silicon, titanium หรือ zirconium เป็นองค์ประกอบ [Karnani, Krishnab และ Narayan, 1997] นอกจากนี้การตัดแปรทางความร้อน (heat treatment) แก่เส้นใยธรรมชาติ เป็นอีกทางเลือกในการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์และเส้นใยธรรมชาติ โดยนำเส้นใยไปอบที่อุณหภูมิ 200-250 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนแก่เส้นใย เป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่มีสารเคมีมาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการลดลงของการดูดซึมน้ำของเส้นใยและปรับปรุงความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นใย [Hakkou และคณะ, 2005]

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเปรียบเทียบผลของการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยการใช้สารช่วยให้เข้ากันและการตัดแปรทางความร้อนแก่เส้นใยธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อการยึดติดที่อินเทอร์เฟซและสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต เพื่อพัฒนาสู่อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อสมบัติทางกล สมบัติทางสัญญาณวิทยา และสมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์

1.2.2 เพื่อให้ทราบผลของการใช้สารช่วยให้เข้ากันและการตัดแปรทางความร้อนของเส้นใยต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล สมบัติทางกระแสวิทยา สมบัติทางสัญญาณวิทยาและสมบัติการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล สมบัติทางกระแสวิทยา สมบัติทางสัญญาณวิทยา และสมบัติการคูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาสมบัติทางกล สมบัติทางสัญญาณวิทยา และสมบัติทางความร้อนของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อน

1.3.2 เปรียบเทียบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล สมบัติทางกระแสวิทยาและสมบัติทางสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากันและและการตัดแปรทางความร้อนแก่เส้นใยของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยปานครนารายณ์

1.3.3 เปรียบเทียบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล สมบัติทางกระแสวิทยาและสมบัติทางสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิทที่มีการเปลี่ยนปริมาณของเส้นใย

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 การเตรียมเส้นใยปานครนารายณ์ เส้นใยปานครนารายณ์ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในรูปของเส้นใยสั้น

1.4.2 การตัดแปรทางความร้อน นำเส้นใยปานครนารายณ์ไปทำการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 15 30 45 60 90 และ 120 นาที 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 15 30 45 60 90 และ 120 นาที และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 15 30 45 และ 60 นาที ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ

1.4.3 การทดสอบสมบัติของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อน

1.4.3.1 สมบัติทางกล

- การทนต่อแรงดึง โดยใช้เครื่อง tensile testing machine

1.4.3.2 สมบัติทางความร้อน

- อุณหภูมิการเสื่อมสภาพโดยใช้เครื่อง thermogravimetric analyzer (TGA)

1.4.3.3 สมบัติทางสัญญาณวิทยา

- ลักษณะทางสัญญาณวิทยาโดยใช้ scanning electron microscope (SEM)

1.4.4 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิทจากพอลิโพรพิลีนและเส้นใยปานครนารายณ์ โดยเส้นใยอยู่ในรูปของเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปรและเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อน ทำโดยการผสมในเครื่องผสมภายใน (internal mixer) ปริมาณเส้นใยที่ใช้คือ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นต้น ในกรณีการศึกษาผลของสารช่วยให้เข้ากัน ในการวิจัยนี้ใช้ พอลิโพรพิลีนกราฟด้วย มาเลอิกแอนไฮดรายด์ (MAPP) เป็นสารช่วยให้เข้ากัน ในปริมาณ 3 ส่วนใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์ (part per hundred of resin, phr)

1.4.5 การเตรียมชิ้นทดสอบของพอลิเมอร์คอมโพสิต นำพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ไปขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีด (injection molding)

1.4.6 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

1.4.6.1 สมบัติทางความร้อน

- อุณหภูมิการเสื่อมสภาพโดยใช้เครื่อง thermogravimetric analyzer (TGA)
- อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC)
- อุณหภูมิการบิดงอ (heat distortion temperature, HDT) โดยใช้เครื่อง HDT testing machine

1.4.6.2 สมบัติทางกล

- การทนต่อแรงดึงโดยใช้เครื่อง universal testing machine
- การทนต่อแรงกระแทกโดยใช้เครื่อง impact tester

1.4.6.3 สมบัติทางสัญญาณวิทยา

- ลักษณะทางสัญญาณวิทยาโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (SEM)

1.4.6.4 สมบัติทางกระแสวิทยา

- ความหนืด (viscosity) ที่อัตราเฉือนต่าง ๆ ($10-1000 \text{ s}^{-1}$) โดยทดสอบด้วยเครื่อง capillary rheometer

1.4.6.5 สมบัติการดูดน้ำ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 เป็นพื้นฐานในการวิจัยในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์

1.5.2 วิธีการปรับปรุงอินเทอร์เฟสโดยการใช้สารช่วยให้เข้ากันและการตัดแปรทางความร้อนแก่เส้นใย

1.5.3 ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

1.5.4 เป็นการส่งเสริมการใช้วัตถุดิบภายในประเทศมาผลิตเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิต

1.5.5 เป็นการพัฒนา ส่งเสริมให้นักศึกษาสนใจในการทำวิจัย

1.5.6 เป็นการสร้างและพัฒนาแก่นักวิจัยรุ่นใหม่ที่สามารรถเริ่มการวิจัยและพัฒนาได้ และดำเนินการวิจัยต่อไปได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว

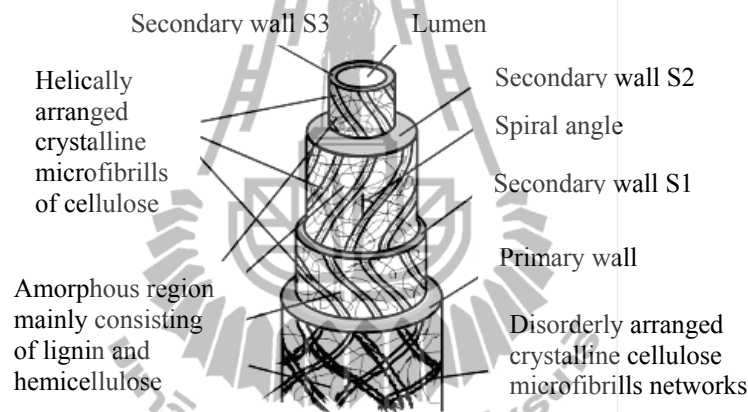
1.5.7 ได้เอกสารทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในระดับประเทศหรือระดับนานาชาติ

บทที่ 2

ภูมิหลัง

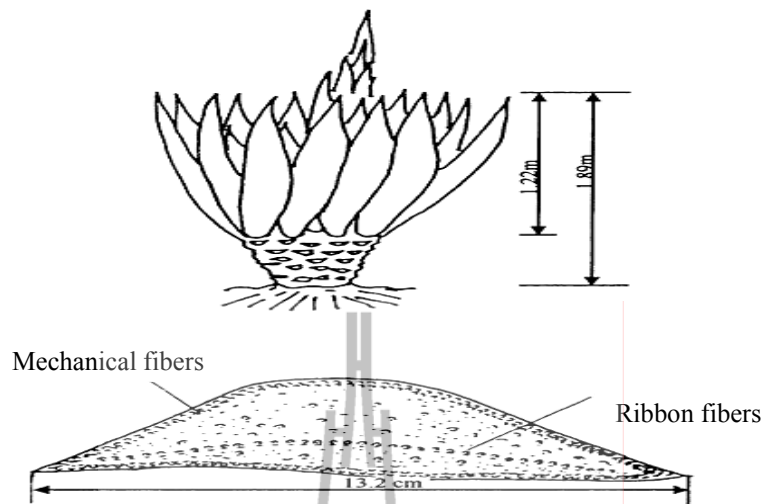
2.1 ลักษณะเฉพาะของเส้นใยป่านศรนารายณ์

วัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic materials) ประกอบด้วยแอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) ลิกนิน (lignin) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และอื่น ๆ รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างองค์ประกอบของเส้นใยลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic fiber) [Min และคณะ, 2001] โครงสร้างประกอบด้วยชั้นหลาย ๆ ชั้นจัดเรียงกัน สายโซ่เซลลูโลสเป็นส่วนเสริมแรงหลักรวมกันเป็นเส้นใยเล็ก ๆ (microfibrills) ยึดจับกันด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนินรวมกันเป็นเกลียวตามแนวยาวของเส้นใย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างองค์ประกอบของเส้นใยลิกโนเซลลูโลส [Min และคณะ (2001)]

เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นเส้นใยแข็งที่แยกออกมาจากส่วนของใบของต้นป่านศรนารายณ์ (*Agave sisalana*) ภาพร่างของต้นป่านศรนารายณ์และภาคตัดขวางของใบของต้นป่านศรนารายณ์แสดงในรูปที่ 2.2 เส้นใยนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ แอลฟาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์รายงานไว้โดยนักวิจัยหลายกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์มาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น แหล่งที่มา อายุ วิธีการวัด เป็นต้น [Yan, Yiu-Wing และ Lin, 2000]



รูปที่ 2.2 ภาพร่างของต้นป่านศรนารายณ์และภาคตัดขวางของใบของป่านศรนารายณ์
[Bisanda และ Ansell, 1992]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์

เซลลูโลส	ลิกนิน	เฮมิเซลลูโลส	อื่น ๆ	อ้างอิง
78%	8%	10%	2% of wax	Wilson (1971)
66-72 %	10-14%	8-12%		Chand และคณะ (1987)
73.0%	7.6%	10.1%	3.1% of ash	Sydenstriker, Mochnaz และ Amico (2003)
56.52%	10.62%	16.49%	16.36%	Ana, Francisco และ Sigbritt (2004)
47.6%	10.6%	17.8%	4.5% of ash	Baltazar-y-Jimenez และ Bismarck (2007)

2.1.1 สมบัติทางความร้อน

Chand และคณะ (1987) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์โดยใช้เครื่อง thermogravimetric analyzer (TGA) ในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 500 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 20 องศาต่อนาทีในอากาศ ผลที่ได้คือมีน้ำหนักที่หายไป (weight loss) ที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นของการหายไปของน้ำ น้ำหนักที่หายไปของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินจะเริ่มต้น

ที่ 200 ถึง 310 องศาเซลเซียส อัตราการเสื่อมสลายของเซลลูโลสเร็วมากเมื่ออุณหภูมิมาถึง 347 องศาเซลเซียส การเสื่อมสลายนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับการเสื่อมสลายของเซลลูโลสในกรณีของไม้

Yang, Zeng และ Zhang (1995) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์โดยใช้เครื่อง thermogravimetric analyzer (TGA) พบว่าน้ำหนักที่หายไปที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียสประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นของการหายไปของน้ำที่เส้นใยดูดซับไว้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสส่วนมากไม่ได้หายไป

Saikia (2008) ศึกษาความเสถียรต่อความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยใช้ thermogravimetric analyzer (TGA) อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 องศาต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนในช่วง 310 ถึง 760 องศาเซลวิน ผลที่ได้คือมีสามตำแหน่งของการเปลี่ยนแปลงเมื่อให้ความร้อน การเปลี่ยนแปลงลำดับแรกเกิดในช่วง 310 ถึง 382 องศาเซลวิน โดยน้ำหนักที่หายไปประมาณ 7.25 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นของการหายไปของน้ำซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) ของเส้นใย การเปลี่ยนแปลงลำดับที่สองเกิดขึ้นในช่วง 506 ถึง 613 องศาเซลวิน ช่วงนี้เป็นการหายไปของเฮมิเซลลูโลส บางส่วนของลิกนินและเซลลูโลส ซึ่งเซลลูโลสยังคงอยู่ การเปลี่ยนแปลงลำดับที่สามเกิดอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิประมาณ 710 องศาเซลวิน ซึ่งเป็นของการเสื่อมสลายไปของเซลลูโลส

Adriana และคณะ (2010) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์โดยใช้เครื่อง thermogravimetric analyzer (TGA) ในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 600 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 องศาต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน จากกราฟ TGA เส้นใยป่านศรนารายณ์แสดงน้ำหนักที่หายไปประมาณ 2.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิ 32 ถึง 110 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นของการหายไปของน้ำในเส้นใย เฮมิเซลลูโลสเริ่มเสื่อมสลายในช่วงอุณหภูมิ 186 ถึง 328 องศาเซลเซียส การเสื่อมสลายของเซลลูโลสเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่าเฮมิเซลลูโลสโดยเริ่มเสื่อมสลายที่ประมาณ 328 องศาเซลเซียสและเสร็จสมบูรณ์ที่ประมาณ 416 องศาเซลเซียส

2.1.2 สมบัติทางกล

Chand และคณะ (1987) ศึกษาสมบัติการทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านศรนารายณ์โดยใช้เครื่อง universal testing machine โดยใช้ความเร็วในการดึงเท่ากับ 20 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยที่ได้คือ 445 เมกกะปาสคาลและมอดุลัสของยังก็เท่ากับ 10 จิกกะปาสคาล (GPa)

Murherjee และ Satyanarayana (1984) ศึกษาผลของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย ความยาวของเส้นใย และความเร็วในการดึงต่อค่าการทนต่อแรงดึง มอดุลัสของยังก็และเปอร์เซ็นต์การยืดของเส้นใยป่านศรนารายณ์ พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของเส้นใย อย่างไรก็ตามค่าการทนต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดลดลงขณะที่มอดุลัสของยังก็

เพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของเส้นใยเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของความเร็วในการดึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของมอดูลัสของยังก์และค่าการทนต่อแรงดึงแต่เปอร์เซ็นต์การยืดไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

Flavio de Andrade, Nikhilesh และ Romildo (2008) ศึกษาสมบัติการทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านสนรายณ์ การทดสอบแรงดึงทำโดยใช้ความเร็วในการดึงเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที ความยาวของเกท (gauge length) 10 20 30 และ 40 มิลลิเมตร ผลที่ได้คือความยาวของเกทไม่มีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสของยังก์ของเส้นใย โดยเป็นเพราะความหลากหลายไม่เหมือนกันของโครงสร้างขนาดเล็ก (microstructure) และการเสียหายของเส้นใยที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแยก (extraction process) ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยไม่ขึ้นกับความยาวเกทเช่นกัน มอดูลัสของยังก์ที่ได้อยู่ระหว่าง 9 ถึง 19 จิกกะปาสคาลและค่าการทนต่อแรงดึงอยู่ระหว่าง 347 ถึง 547 เมกกะปาสคาล

2.2 การตัดแปรทางความร้อนของไม้และเส้นใยธรรมชาติ

การตัดแปรทางความร้อนเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีการเติมสารเคมี [Rezayati Charani และคณะ, 2007] การตัดแปรทางความร้อนของไม้มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด และสมบัติทางกล [Derya และคณะ, 2008] นอกจากนี้การตัดแปรทางความร้อนยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ (chemical and physical properties) ของไม้ได้เช่นกัน นอกจากนี้ไม้แล้วมีการใช้กับการตัดแปรทางความร้อนกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยป่านสนรายณ์ หรือ เส้นใยปอลิโนนิน (flax fiber) การตัดแปรทางความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติทางกล ความเป็นผลึกของเซลลูโลสและสมบัติทางความร้อนของไม้และเส้นใย

Akinori, Kiichi และ Hikaru (1984) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อสมบัติการดูดน้ำของผงไม้ (wood flour) ผงไม้ถูกให้ความร้อนที่ 100 120 150 170 190 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไนโตรเจน การดูดน้ำของผงไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนลดลงเมื่ออุณหภูมิการตัดแปรเพิ่มขึ้นเพราะความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของผงไม้เพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านการตัดแปรทางความร้อน การที่ความไม่ชอบน้ำของผงไม้เพิ่มมากขึ้นเป็นเพราะความเป็นขั้ว (polarity) ของผงไม้ลดลง

Yang, Zeng และ Zhang (1995) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อโครงสร้างทางเคมีและความเป็นผลึก (crystallinity) ของเซลลูโลสของเส้นใยป่านสนรายณ์โดยใช้เครื่อง Fourier transform infrared (FTIR) spectroscope อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างที่ตัดแปรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียสไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการตัดแปร ขณะที่ความเป็นผลึกของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยป่านสนรายณ์ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส แต่ความเป็นผลึกของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากมีการจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

Tjeerdsma และคณะ (1998) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของไม้ ความชอบน้ำ (hydrophilic) ของไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของโครงสร้างร่างแห (cross linking network) ภายในลิกนิน นอกจากนี้เฮมิเซลลูโลสมีการเปลี่ยนรูป (transform) ไปเป็นร่างแหที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic network) โดยกระบวนการสร้างหมู่เอสเทอร์ (esterification) ซึ่งนำไปสู่การมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน (carbon-carbon double bond) มากขึ้น

Wielage และคณะ (1999) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการตัดแปรทางความร้อนต่อสมบัติทางกลของเส้นใยพอลิโนน โดยเส้นใยพอลิโนนถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 200 และ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 30 45 และ 60 นาที ผลที่ได้คือ เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการตัดแปรเพิ่มขึ้นสมบัติทางกลของเส้นใยพอลิโนนลดลง เพราะว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาในการตัดแปรนานขึ้นทำให้เส้นใยเสื่อมสลาย อุณหภูมิการตัดแปรที่สูงกว่า 180 องศาเซลเซียสมีอิทธิพลมากกว่าเวลาในการตัดแปร

Weiland และ Guyonnet (2003) ศึกษาองค์ประกอบของไม้บีชและไม้สนมาริทาม (beech and maritime pine wood) ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Diffuse reflectance infrared fourier transform (DRIFT) spectroscope ไม้บีชและไม้สนมาริทามถูกให้ความร้อนที่ 239 ถึง 260 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะในโตรเจน ผลที่ได้คือการลดลงของแถบดูดกลืน C=O ที่ 1730 cm^{-1} ของหมู่อะเซทิล (acetyl group) ในเฮมิเซลลูโลสของไม้ที่ตัดแปรที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 240 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความไม่ชอบน้ำของไม้เพิ่มขึ้น

Pavlo และ Peter (2003) ศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดและสมบัติทางกลของไม้สน โดยไม้สนถูกตัดแปรทางความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 4 8 10 และ 24 ชั่วโมง ผลที่ได้คือความเสถียรต่อการเปลี่ยนขนาดของไม้ดีขึ้นขณะที่สมบัติทางกลลดลง การตัดแปรทางความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียสส่งผลต่อการลดลงของค่าการทนต่อการดัดโค้ง (bending strength) ประมาณ 44 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมอดูลัสของยังก็ลดลงประมาณ 4 ถึง 9 เปอร์เซ็นต์ การตัดแปรทางความร้อนมีอิทธิพลต่อค่าการทนต่อการดัดโค้งมากกว่ามอดูลัสของยัง

Mohammed และคณะ (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการทำให้เปียก (wettability) ของไม้บีชระหว่างที่ถูกตัดแปรทางความร้อน ชิ้นงานตัวอย่างไม้บีชถูกให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้องไปถึง 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะในโตรเจน ผลที่ได้คือมุมสัมผัส (contact angle) ของชิ้นงานตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงศูนย์องศาเมื่ออุณหภูมิการตัดแปรต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส และมุมสัมผัสของชิ้นงานตัวอย่างเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเป็น 90 องศาเมื่ออุณหภูมิการตัดแปรเพิ่มขึ้นจาก 120 ถึง 160 องศา จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น

Shinji (2006) ศึกษาสมบัติทางกลของเส้นใยกัญชงมะนิลา (manila hemp fiber) โดยเส้นใย ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 30 60 และ 120 นาที พบว่าการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยลดลงเมื่อเวลาในการตัดแปรเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีมีค่าใกล้เคียงกับค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร

Sibel, Engin และ Umit (2006) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงกดอัด (compression strength) ของไม้สน การตัดแปรทางความร้อนทำให้ความร้อนขึ้นงาน ตัวอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 150 180 และ 200 องศาเซลเซียสที่เวลา 2 6 และ 10 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไนโตรเจน ค่าความแข็งแรงต่อแรงกดอัดลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการตัดแปรเพิ่มขึ้น เนื่องจากการตัดแปรทางความร้อนส่งผลทำให้องค์ประกอบของไม้เปลี่ยนโดยเฮมิเซลลูโลสลดลง

Follrich, Müller และ Gindl (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของพื้นผิวของไม้สนที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 30 และ 60 นาที โดยการวัดมุมสัมผัส ผลที่ได้คือ มุมสัมผัสของไม้ที่ไม่ผ่านการตัดแปรเพิ่มขึ้นจาก 50 องศาเป็น 90 องศาเมื่อผ่านการตัดแปรทางความร้อน การตัดแปรทางความร้อนส่งผลทำให้ความชอบน้ำของไม้ลดลง

Boonstra และ Tjeerdsma (2006) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อน การตัดแปรทางความร้อนทำให้ความร้อนขึ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าหลังการตัดแปรทางความร้อนปริมาณของเฮมิเซลลูโลสลดลง เฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนที่เป็นอสัญฐานและเป็นโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ ด้วยเหตุนี้เฮมิเซลลูโลสจึงเสื่อมสลายง่ายที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้การตัดแปรทางความร้อนยังทำให้ลิกนินเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหเป็นผลทำให้การดูดน้ำของไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนลดลง

Gildas, Mathieu และ Phillippe (2007) ศึกษาความไวทางเคมี (chemical reactivity) ของผงไม้สนที่ไม่ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรทางความร้อนโดยการวัดปริมาณหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared (FTIR) spectroscope ขึ้นงานตัวอย่างถูกให้ความร้อนในตู้อบที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไนโตรเจน ผลที่ได้คือปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของตัวอย่างที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนน้อยกว่าของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการตัดแปร การลดลงของหมู่ไฮดรอกซิลส่งผลต่อการลดลงของความชอบน้ำของผงไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อน

Gildas, Mathieu และ Phillippe (2007) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่ออัตราส่วนระหว่างออกซิเจนและคาร์บอน (O/C ratio) ของไม้ โดยการมีอัตราส่วนระหว่างออกซิเจนและคาร์บอนต่ำแสดงถึงการมีความไม่ชอบน้ำสูง การตัดแปรทางความร้อนทำให้ความร้อนขึ้นงานในตู้อบที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไนโตรเจน อัตราส่วนระหว่างออกซิเจนและคาร์บอนหาโดยใช้เครื่อง X-ray photoelectron spectroscope (XPS) พบว่าอัตราส่วนระหว่าง

ออกซิเจนและคาร์บอนของไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนลดลง นั่นคือไม่มีความไม่ชอบน้ำสูงขึ้นเมื่อผ่านการตัดแปรทางความร้อน

Derya และ Bilgin (2008) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อการบวม (swelling) ของไม้เมเปิ้ล (red-bud maple wood) โดยชิ้นงานตัวอย่างถูกให้ความร้อนที่ 120 150 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 6 และ 10 ชั่วโมงภายใต้สภาวะบรรยากาศ ผลที่ได้คือ การบวมของไม้ลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการตัดแปรเพิ่มขึ้นเนื่องจากความชื้นในไม้ลดลง

Kaewkuk, Sutapun และ Jarukumjorn (2009) ศึกษาสมบัติทางกลของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 170 และ 200 องศาเซลเซียสในตู้อบที่เวลาต่างกัน ภายใต้สภาวะบรรยากาศ การทดสอบการทนต่อแรงดึงใช้ความเร็วในการดึงเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาทีและความยาวเกทเท่ากับ 5 เซนติเมตร ผลที่ได้คือ ที่เวลาในการตัดแปรเท่ากับ 30 นาที ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสสูงกว่าของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 และ 200 องศาเซลเซียส เพราะว่า 170 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลส การหลุดออกของสิ่งสกปรกและบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสส่งผลทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยเพิ่มขึ้น ในกรณีของการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิหลังอุณหภูมิเริ่มต้นของการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลส เป็นเวลา 30 นาทีทำให้สีของเส้นใยกลายเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากเส้นใยเสื่อมสลาย

2.3 การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยลิกโนเซลลูโลสและพอลิเมอร์

การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยลิกโนเซลลูโลสและพอลิเมอร์มีหลายวิธี ประกอบด้วย การปรับเปลี่ยนพื้นผิวเส้นใย การปรับเปลี่ยนเมทริกซ์ และการเติมสารช่วยให้เข้ากัน ในการวิจัยนี้นำเสนอการปรับเปลี่ยนพื้นผิวเส้นใยโดยการตัดแปรทางความร้อนและการเติมสารช่วยให้เข้ากัน

2.3.1 การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยการตัดแปรทางความร้อน

Akinori, Kiichi และ Hikaru (1984) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้และฟีนอลิก (phenolics) ผลที่ได้คือการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและฟีนอลิกต่ำกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและฟีนอลิก เนื่องจากการตัดแปรทางความร้อนทำให้ความไม่ชอบน้ำของผงไม้เพิ่มขึ้น

Robin และ Breton (2001) เตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้สน (spruce wood) ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) โดยผงไม้สนถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส นานข้ามคืน พบว่าเป็นผลึกของเซลลูโลสของไม้เพิ่มขึ้นหลังจากการตัดแปรทางความร้อน นอกจากนี้ยังทำให้บางส่วนของเฮมิ

เซลล์ulosหุดออก โดยการหุดออกนี้ทำให้ความไม่ชอบน้ำของผงไม้เพิ่มมากขึ้นทำให้มีความเข้ากันได้มากขึ้นกับพอลิเมอร์เมทริกซ์

Kaewkuk, Jarukumjorn และ Sutapun (2009) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและพอลิโพรพิลีนสูงกว่าค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและพอลิโพรพิลีน เนื่องจากการยึดติดที่อินเทอร์เฟสที่ดีกว่าโดยความชอบน้ำของเส้นใยลดลงเมื่อเส้นใยผ่านการตัดแปรทางความร้อนส่งผลให้ความเข้ากันได้ (compatible) ระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์เพิ่มมากขึ้น

2.3.2 การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสของพอลิเมอร์คอมโพสิทโดยการเติมสารช่วยให้เข้ากัน

สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยธรรมชาติและพอลิโพรพิลีน เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่าพอลิโพรพิลีนกราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) เป็นสารช่วยให้เข้ากันที่มีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงการยึดติดของเส้นใยธรรมชาติและพอลิโพรพิลีน

Rana และคณะ (1998) ศึกษาผลของสารช่วยให้เข้ากัน (MAPP) ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยปอแก้ว (rossells fiber) และพอลิโพรพิลีน เมื่อมีการเติมสารช่วยให้เข้ากัน สมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและการเติม MAPP ทำให้การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิทลดลง เป็นเพราะการปรับปรุงการยึดติดโดยการมีการเชื่อมต่อระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยและหมู่คาร์บอนิลของสารช่วยให้เข้ากัน ที่ปริมาณเส้นใย 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก MAPP เพียงแค่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักปรับปรุงค่าการทนต่อการดัดโค้ง (flexural strength) ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

Joseph และคณะ (2002) ศึกษาสมบัติการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนโดยใช้ MAPP เป็นสารช่วยให้เข้ากัน การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการเติม MAPP ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีการเติม MAPP เนื่องจากการยึดติดระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีนที่ดีกว่า สารช่วยให้เข้ากันนี้ทำให้เกิดพันธะเคมีและพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ระหว่างเส้นใยและ MAPP นอกจากนี้ส่วนของสายโซ่ของพอลิโพรพิลีนของ MAPP ยังแพร่กระจายไปในพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์โดยเป็นลักษณะของการพันกันของสายโซ่พอลิโพรพิลีน ส่งผลต่อการยึดติดที่อินเทอร์เฟสระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีนที่แข็งแรงขึ้น

Hristov, Lach และ Grellmann (2004) ศึกษาพฤติกรรมการแตกหัก (fracture behavior) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้และพอลิโพรพิลีน MAPP ถูกใช้เป็นส่วนช่วยให้เข้ากัน พบว่าการเติมสารช่วยให้เข้ากันทำให้พลังงานที่จะทำให้เกิดการเริ่มต้นแตกหัก (initiating a crack) สูงขึ้น การปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้และพอลิโพรพิลีนโดย MAPP นำไปสู่การกระจายความเค้น (stress distribution) ได้มากขึ้นซึ่งหน่วงการเกิดการเริ่มต้นแตกหัก แสดงให้เห็นว่า MAPP ทำให้พอลิโพรพิลีนคอมโพสิตเหนียวขึ้นพลังงานที่ทำให้แตกหัก (fracture energy) สูงขึ้น

Arbelaiz และคณะ (2005) ศึกษาผลของ MAPP ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน ผลที่ได้คือการใช้ MAPP ทำให้สมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูงขึ้น เนื่องจาก MAPP ส่งเสริมการยึดติดที่อินเทอร์เฟซให้ดีขึ้น นอกจากนี้การมีการยึดติดที่อินเทอร์เฟซดีนั้นยังส่งผลต่อการลดลงของการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตอีกด้วย

Doan, Gao และ Madar (2006) ศึกษาสมบัติทางกลและความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปอแก้วและพอลิโพรพิลีน การเติม MAPP เพียงแค่ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตในสถานะที่มีความชื้นได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจาก MAPP ปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยปอแก้วและพอลิโพรพิลีน ค่าการทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นและการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตลดลง

2.4 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยธรรมชาติและพอลิเมอร์

2.4.1 สมบัติทางกล

Robin และ Breton (2001) เตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้ที่ผ่านการคัดแปรทางความร้อนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง (two roll mill) ที่ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งงานทดสอบเตรียมโดยเครื่องฉีดขึ้นรูป ค่าการทนต่อแรงกระแทกและสมบัติด้านการดัดโค้ง (flexural properties) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้ที่ผ่านการคัดแปรทางความร้อนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงดีกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้ที่ไม่ผ่านการคัดแปรและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เนื่องจากการคัดแปรทางความร้อนทำให้ผงไม้และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีความเข้ากันได้ (compatible) มากขึ้น จากการวิเคราะห์สัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตแสดงให้เห็นว่ามีการยึดติดกันมากขึ้นระหว่างผงไม้และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เมื่อใช้ผงไม้ที่ผ่านการคัดแปรทางความร้อน

Arbelaiz และคณะ (2005) ศึกษาผลของการใช้สารช่วยให้เข้ากันคือ MAPP ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน พบว่าทั้งค่าการทนต่อแรงดึงและมอดุลัสของยังก็เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ MAPP เพิ่มขึ้น MAPP ปรับปรุงค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิ

เมอร์คอมโพสิตได้สูงสุดถึง 42 ถึง 58 เปอร์เซ็นต์ ค่าการทนต่อแรงดึงสูงสุดได้เมื่อมีการใช้ MAPP ที่ปริมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนลดลงเมื่อมีการเติมเส้นใยลงไป เนื่องจากมีบริเวณความเข้มแรงเค้น (stress concentration) เกิดขึ้นมากและใช้พลังงานในการทำให้เกิดการเริ่มแตกหักน้อย ค่าการทนต่อแรงกระแทกลดลงเมื่อปริมาณ MAPP เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การลดลงนี้เนื่องมาจากการย้ายที่ (migration) ของสารช่วยให้เข้ากันไปอยู่ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ เพราะสายโซ่พอลิโพรพิลีนของ MAPP เกิดพันกันเอง (self-entanglement) มากกว่าที่จะพันกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ จึงทำให้เกิดการรวมกันของสารช่วยให้เข้ากันแทนที่อยู่ที่ยินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ปริมาณ MAPP ที่ค่าการทนต่อแรงดึงสูงสุดคือ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Bourmaud และ Baley (2007) ศึกษาผลของการเติมสารช่วยให้เข้ากันคือ MAPP ต่อค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยกัญชง (hemp) การเติม MAPP ส่งผลต่อการปรับปรุงการยึดติดที่ยินเทอร์เฟซระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยกัญชงให้ดีขึ้น ทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการเติม MAPP สูงกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการเติม MAPP

Kim และคณะ (2008) ศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้และพอลิโพรพิลีนโดยใช้ MAPP เป็นสารช่วยให้เข้ากัน การใช้ MAPP ช่วยทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงและค่าการทนต่อการดัดโค้ง (flexural strength) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มสูงขึ้นอันเป็นผลมาจากการยึดติดที่ยินเทอร์เฟซระหว่างผงไม้และพอลิโพรพิลีนที่ดีขึ้นเมื่อมีการเติม MAPP

Dwivedi และ Navin (2009) ศึกษาผลของการเติมสารช่วยให้เข้ากันคือ MAPP ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านสรนารายณ์ พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการเติม MAPP ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่เติม MAPP การเพิ่มขึ้นของค่าการทนต่อแรงดึงนี้เนื่องมาจาก MAPP เพิ่มการยึดติดที่ยินเทอร์เฟซทำให้มีการส่งผ่านแรงจากเมทริกซ์ไปยังเส้นใยได้ดีขึ้น นอกจากนี้ การมีการยึดติดที่ดียังส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านทานการหลุดออก (pullout resistance) ของเส้นใยจากพอลิเมอร์เมทริกซ์อีกด้วย

2.3.2 สมบัติทางความร้อน

Ichazo และคณะ (2001) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงไม้แข็งโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) ภายใต้สภาวะไนโตรเจน และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าการเติมผงไม้ลงในพอลิโพรพิลีนส่งผลให้อุณหภูมิการตกผลึกของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเนื่องจากผงไม้ทำตัวเหมือนสารก่อผลึก (nucleating agent) การเติม MAPP ส่งผลให้อุณหภูมิการตกผลึกของพอลิโพรพิลีนสูงขึ้นเล็กน้อย

เนื่องจากมีการยึดติดกันระหว่างผงไม้และพอลิโพรพิลีนดีขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีน

Joseph และคณะ (2003) ศึกษาผลของการเติมสารช่วยให้เข้ากันคือ MAPP ต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านศรนารายณ์โดยใช้เครื่อง thermogravimetric analyzer (TGA) ภายใต้สภาวะไนโตรเจน ที่อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีการเติม MAPP สูงกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการเติม MAPP เนื่องจาก MAPP ปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ด้วยปฏิกิริยาเคมีสร้างหมู่เอสเตอร์ (esterification) ของหมู่ไฮดรอกซิลจากเส้นใยป่านศรนารายณ์และหมู่คาร์บอนิลจาก MAPP ขณะที่สายโซ่พอลิโพรพิลีนของ MAPP แพร่กระจายเข้าไปในพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์เพื่อเกิดการเกี่ยวพันกัน

Thi-Thu-Loan, Hanna, และ Edith (2007) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยปอกระเจาโดยใช้เครื่อง thermogravimetric analyzer (TGA) ภายใต้สภาวะไนโตรเจน และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าการเติมสารช่วยให้เข้ากันคือ MAPP ลงในพอลิเมอร์คอมโพสิตส่งผลทำให้อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนเลื่อนไปที่อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 10 องศาเซลเซียส การที่พอลิเมอร์คอมโพสิตมีความต้านทานต่อความร้อน (thermal resistance) มากขึ้นเนื่องมาจากการมีการยึดติดที่อินเทอร์เฟซที่ดีขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์

Araújo, Waldman และ De Paoli (2008) ศึกษาผลของสารช่วยให้เข้ากันคือ พอลิเอทิลีนกร้าฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride grafted polyethylene, MAPE) ต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยสับประดเล็ก (curaua fiber) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) การเติมเส้นใยลงในพอลิเอทิลีนทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการเกิดผลึกแบบข้าม (transcrystallization) อย่างไรก็ตามการเติมสารช่วยให้เข้ากันจะลดการเกิดผลึกแบบข้ามเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลที่ผิวของเส้นใยกับหมู่คาร์บอนิลของพอลิเอทิลีนกร้าฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์

2.3.3 สมบัติทางกระแสวิทยา

Schemenauer และคณะ (2000) ศึกษาสมบัติทางกระแสวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยปอกระเจาโดยใช้เครื่อง capillary rheometer วัดความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ($100-750 \text{ s}^{-1}$) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส โดยใช้ MAPP เป็นสารช่วยให้เข้ากัน

พบว่า การเติม MAPP ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนืดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยปอกระเจา

Ichazo และคณะ (2001) ศึกษาค่าดัชนีการไหล (melt flow index, MFI) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงไม้แข็งที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส น้ำหนักกดเท่ากับ 2.16 กิโลกรัม พบว่าการเติมผงไม้ลงในพอลิโพรพิลีนส่งผลทำให้ดัชนีการไหลลดลงเพราะว่าอนุภาคของผงไม้ขัดขวางการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิต อย่างไรก็ตามการเติม MAPP ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงไม้แข็ง

Beg และ Pickering (2008) ศึกษาผลของการเติม MAPP ต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงไม้ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส น้ำหนักกดเท่ากับ 3.80 กิโลกรัม พบว่าเมื่อเติมผงไม้ลงในพอลิโพรพิลีนปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าดัชนีการไหลลดลงจาก 29.4 เป็น 0.9 กรัมต่อ 10 นาที (g/10 min) เนื่องจากผงไม้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิโพรพิลีน ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงไม้ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเติม MAPP

2.3.4 สมบัติทางสัญญาณวิทยา

Hristov, Lach และ Grellmann, (2004) ศึกษาพื้นผิวการแตกจากแรงกระแทก (impact fracture) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้และพอลิโพรพิลีนที่มีการเติม MAPP ผลที่ได้คือพื้นผิวการแตกจากแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการเติม MAPP แสดงให้เห็นการหลุดออกของเส้นใย (fiber pull-out) และผิวที่แตกราบเรียบ เนื่องจากการมีการยึดติดไม่ดี เมื่อ MAPP ถูกเติมลงในพอลิเมอร์คอมโพสิตการยึดติดที่อินเทอร์เฟซดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีการเคลือบของพอลิเมอร์ที่ผิวของเส้นใย การมีการยึดติดที่ดีกว่านี้ส่งผลทำให้สมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการเติม MAPP ดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการเติม MAPP

Demir และคณะ (2006) ศึกษาผลของสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติทางแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยบวบ (luffa fiber) และพอลิโพรพิลีนโดย MAPP ถูกใช้เป็นสารช่วยให้เข้ากันเพื่อปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ ลักษณะทางสัญญาณวิทยาถูกศึกษาโดย Scanning electron microscope (SEM) กรณีพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการเติม MAPP พบการยึดติดกันดีที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์

Dwivedi และ Navin (2009) ศึกษาผลของการเติมสารช่วยให้เข้ากันคือ MAPP ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านสรนารายณ์ พบว่าพื้นผิวแตกหักของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการเติม MAPP มีการยึดติดต่ำ โดยมีการหลุดออกของเส้นใยจากพอลิเมอร์เมทริกซ์ และมองเห็นรูที่เกิดขึ้นจากการที่เส้นใยหลุดออกไปอย่างชัดเจน ในขณะที่พื้นผิว

แตกหักของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการเติม MAPP แสดงให้เห็นถึงการมีการยึดติดที่อินเทอร์เฟซ ดีกว่าคือ มีการหลุดออกของเส้นใยน้อยกว่าและช่องว่างระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์แคบกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการเติม MAPP

2.3.5 สมบัติการดูดน้ำ

Ichazo และคณะ (2001) ศึกษาผลของ MAPP ต่อการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงไม้แข็ง พบว่าการเติมผงไม้ลงในพอลิโพรพิลีนส่งผลทำให้การดูดน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากผงไม้มีความชอบน้ำสูง และการดูดน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น การเติม MAPP ส่งผลให้การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตลดลงเนื่องจากการยึดติดที่อินเทอร์เฟซดีขึ้น

Joseph และคณะ (2002) ศึกษาผลของ MAPP ต่อการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน โดยพอลิเมอร์คอมโพสิตถูกผสมด้วยเครื่องบดผสมภายในที่ 170 องศาเซลเซียสแล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีด อัตราการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการใช้ MAPP ต่ำกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่ไม่ใช้ MAPP เนื่องจาก MAPP ปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตทำให้การดูดน้ำลดลง

Arbelaz และคณะ (2005) ศึกษาการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปอลิโนนและพอลิโพรพิลีน การศึกษาการดูดน้ำทำโดยนำชิ้นงานตัวอย่างไปแช่ในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้อง ผลที่ได้คือการดูดน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการเติม MAPP มีการดูดน้ำที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการเติม MAPP เนื่องจากการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ที่ดีกว่า

บทที่ 3

วัสดุและการทดลอง

3.1 วัสดุ

พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) เกรด 700J ของบริษัทไทยพอลิโพรพิลีน จำกัด เส้นใย ป่านสรนารายณ์ (sisal fiber) อยู่ในรูปเส้นใยยาว มีความยาวประมาณ 1-1.5 เมตร ซึ่งซื้อจากกลุ่ม แม่บ้านหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ตำบลบ้านเก่า อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา สารช่วยให้ เข้ากันที่ใช้ในการศึกษาคือ พอลิโพรพิลีนกร้าฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP, Fusabond® P MZ109D, DuPont) ที่มีปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (wt%) ซึ่งได้รับมาจากบริษัทเคมีคอล อินโนเวชั่น จำกัด

3.2 การทดลอง

3.2.1 การเตรียมเส้นใย

นำเส้นใยป่านสรนารายณ์มาตัดให้สั้น โดยมีความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร คัดเอาเฉพาะ ส่วนโคนประมาณ 2 ใน 3 ของความยาวทั้งหมด นำเส้นใยไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 1 วัน ได้เส้นใยที่ยังไม่ผ่านการตัดแปร (untreated fiber, UT) จากนั้นนำเส้นใยนี้มาตัดแปรด้วย ความร้อน โดยการนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 15 30 45 60 90 และ 120 นาที 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 15 30 45 60 90 และ 120 นาที และ 200 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 5 15 30 45 และ 60 นาที ภายใต้สภาวะและความดันบรรยากาศ ได้เส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทาง ความร้อน (heat treated, HT) จากผลการทดสอบสมบัติทางกล เส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อน ที่ให้สมบัติทางกลที่ดีที่สุดที่แต่ละอุณหภูมิการตัดแปรจะถูกเลือกมาเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตกับ พอลิโพรพิลีน

3.2.2 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

พอลิเมอร์คอมโพสิตเตรียมโดยใช้เครื่องบดผสมภายใน (internal mixer, Hakke Rheomix 3000p) โดยใช้ปริมาณเส้นใย 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้คือ 170 องศาเซลเซียส โดยขั้นแรกใส่พอลิโพรพิลีนลงไปเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้น ใส่เส้นใย (UT หรือ HT) ในกรณีของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน ปริมาณสาร ช่วยให้อเข้ากันคือ 3 ส่วนใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์ เวลาในการผสมทั้งหมดของพอลิเมอร์คอมโพสิต ทุกระบบใช้เวลา 13 นาที หลังจากนั้นนำพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ไปบดและนำไปฉีดเป็นชิ้น ทดสอบโดยเครื่องฉีด (injection molding machine, Chuan Lih Fa, CLF 80T) ที่อุณหภูมิหลอม 170 องศาเซลเซียส ความเร็วในการฉีด 46 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วสกรู 130 รอบต่อนาที ความดันคง ค้าง 1400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอุณหภูมิแม่พิมพ์ 25 องศาเซลเซียส

3.2.3 การทดสอบสมบัติของเส้นใย

3.2.3.1 สมบัติทางกล

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (tensile properties) ทำโดยใช้เครื่อง tensile testing machine (Lloyds รุ่น LR-5K) โดยใช้เซลล์วัดแรง (load cell) 100 นิวตัน (N) ความยาวของเกท (gauge length) 50 มิลลิเมตร ความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที

3.2.3.2 สมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการเสื่อมสลายและน้ำหนักที่สูญเสียของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรทางความร้อนถูกวิเคราะห์โดย thermogravimetric analyzer (Perkin Elmer รุ่น TGA7) ที่อุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 600 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนคือ 10 องศาต่อนาที ภายใต้สภาวะไนโตรเจน

3.2.3.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิว และภาคตัดขวางของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรทางความร้อนถูกศึกษาโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (JEOL รุ่น JSM6400) ที่ 10 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) โดยเคลือบทองที่ผิวก่อนนำไปศึกษา

3.2.4 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

3.2.4.1 สมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการเสื่อมสลายถูกวิเคราะห์โดย thermogravimetric analyzer (TA รุ่น SDT 2960) ที่อุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนคือ 20 องศาต่อนาที ภายใต้สภาวะไนโตรเจน

อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกหาโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (Perkin Elmer รุ่น DSC-7) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การให้ความร้อนครั้งที่หนึ่ง จาก 30 ถึง 180 องศาเซลเซียสด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาต่อนาที แล้วทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อลบความทรงจำทางความร้อน หลังจากนั้นจึงทำให้เย็นลงกลับมาที่ 30 องศาเซลเซียสด้วยอัตรา 10 องศาต่อนาที ขั้นสุดท้าย ให้ความร้อนครั้งที่สองจาก 30 ถึง 180 องศาเซลเซียสด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาต่อนาที โดยทดสอบภายใต้สภาวะไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกคำนวณจากสมการ

$$\% \text{ crystallinity} = (\Delta H_{\text{sample}} / \Delta H_f^0 w) \times 100 \quad (3.1)$$

โดย ΔH_{sample} คือ heat of fusion ของตัวอย่าง (จุลต่อกรัม, J/g) ที่ได้จากการให้ความร้อนครั้งที่สอง ΔH_f^0 คือ heat of fusion ของพอลิโพรพิลีน และ w คือน้ำหนักของตัวอย่าง (g)

อุณหภูมิการบิดงอ (heat distortion temperature, HDT) ทดสอบโดยใช้ HDT testing machine (Atlas รุ่น HDV 1) ภายใต้แรง 0.455 เมกะปาสกาล (MPa) ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาต่อนาที

3.2.4.2 สมบัติทางกล

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (tensile properties) ทำโดยใช้เครื่อง universal testing machine (Instron รุ่น 5565) โดยใช้เซลล์วัดแรง (load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN) ความยาวของเกต (gauge length) 50 มิลลิเมตร ความเร็วในการดึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที

การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (unnotch izod impact strength) ใช้เครื่อง basic pendulum impact tester (Atlas รุ่น BPI) โดยใช้น้ำหนัก (load) 2.7 จูล (J)

3.2.4.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิตศึกษาโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (JEOL รุ่น JSM6400) ที่ 10 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) การเตรียมตัวอย่างทำโดยการนำชิ้นงานตัวอย่างไปแช่ในไนโตรเจนเหลว ทำการหักชิ้นงานตัวอย่างและนำส่วนพื้นผิวที่ได้จากการหัก (fracture surface) ไปทำการเคลือบด้วยทองคำก่อนนำไปศึกษา

3.2.4.4 สมบัติกระแสวิทยา

ความหนืด (viscosity) ที่อัตราเฉือนต่างๆ ($10-1000 \text{ s}^{-1}$) ทดสอบด้วยเครื่อง capillary rheometer (Kayeness รุ่น D5052m) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

3.2.4.4 สมบัติการดูดน้ำ

การศึกษาการดูดน้ำ (water absorption) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตทำได้โดยแช่ชิ้นทดสอบลงในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักระหว่างการแช่น้ำนั้นคำนวณตามสมการ

$$\text{Water absorption (\%)} = [(w - w_0)/w_0] \times 100 \quad (3.2)$$

โดย w น้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง และ w_0 คือน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์

4.1.1 สมบัติทางกล

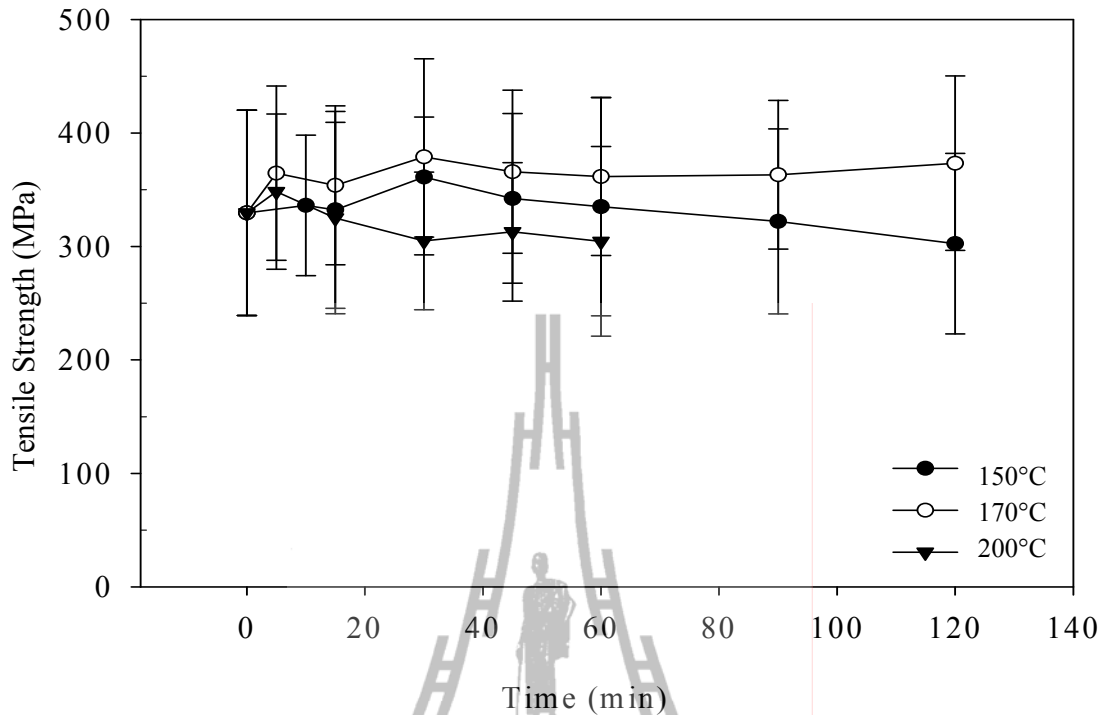
ค่าการทนต่อแรงดึง มอดุลัสของยังก์ และเปอร์เซ็นต์การยืดของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน แสดงในตารางที่ 4.1

ในกรณีของการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนสูงกว่าของเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร เมื่อเวลาของการตัดแปรเพิ่มขึ้นจนถึง 30 นาทีได้ค่าการทนต่อแรงดึงสูงที่สุดซึ่งแสดงในรูป 4.1 เมื่อเวลาในการตัดแปรมากกว่า 30 นาที ค่าการทนต่อแรงดึงค่อย ๆ ลดลง อาจเนื่องมาจากการเสื่อมสลาย (degradation) ของเส้นใย

ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่ 170 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการตัดแปรเพิ่มขึ้นจาก 5-30 นาที ค่าการทนต่อแรงดึงสูงที่สุดมีค่า 360 MPa ที่เวลาการตัดแปร 30 นาที เมื่อเวลาการตัดแปรมากกว่า 30 นาที ค่าการทนต่อแรงดึงไม่มีการไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส ที่เวลาการตัดแปร 5 นาทีให้ค่าการทนต่อแรงดึงสูงที่สุด หลังจากนั้นเมื่อเวลาในการตัดแปรเพิ่มขึ้น ค่าการทนต่อแรงดึงลดลง นอกจากนั้น สีของเส้นใยที่ถูกตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียสที่เวลาการตัดแปรมากกว่า 5 นาทีเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงของอุณหภูมิการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นการเสื่อมสลายของเส้นใยเกิดขึ้นเมื่อเวลาในการตัดแปรนานกว่า 5 นาที โดยสามารถยืนยันได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยา

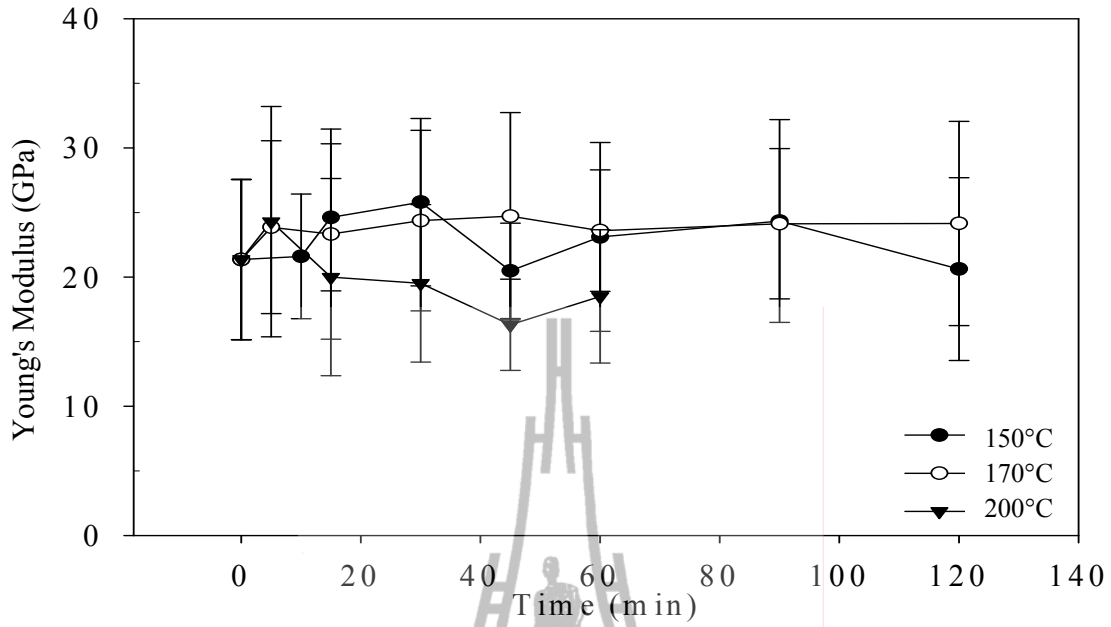
ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านศรนารายณ์หลังจากตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาการตัดแปร 0-15 นาทีไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเวลาการตัดแปรมากกว่า 30 นาที ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียสลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ตัดแปรที่ 170 องศาเซลเซียสไม่เปลี่ยนแปลง ในกรณีของการตัดแปรทางความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส ค่าการทนต่อแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจากเวลาการตัดแปรมากกว่า 5 นาที เนื่องจากเมื่อเวลานานขึ้นเส้นใยเกิดความเสียหาย



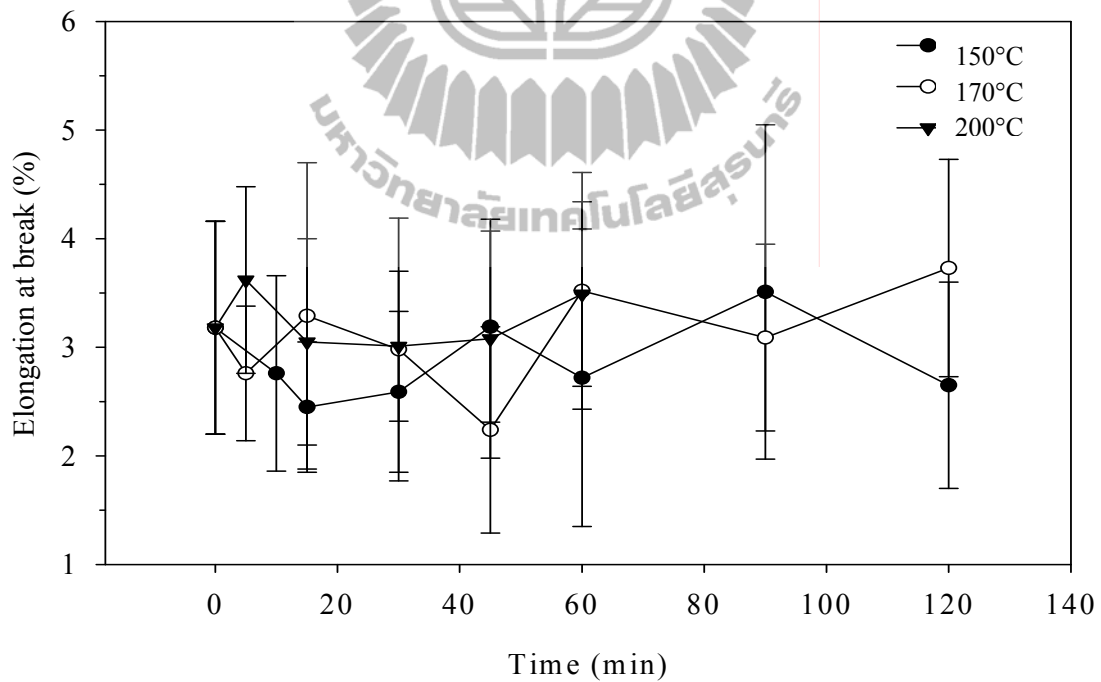
รูปที่ 4.1 กราฟค่าการทนต่อแรงดึงและเวลาการตัดแปรรองเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรรองทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

มอดูลัสของยั้งก์ของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรรองทางความร้อนที่ 150 และ 170 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นของเวลาในการตัดแปรรองไม่ส่งผลกระทบต่อมอดูลัสของยั้งก์ของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรรองทางความร้อนที่ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ขณะที่มอดูลัสของยั้งก์ของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรรองที่ 200 องศาเซลเซียสลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาในการตัดแปรรองเพิ่มขึ้น โดยแสดงในรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์การยืดยของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรรองทางความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน โดยแสดงในรูปที่ 4.3

จากสมบัติทางกล เส้นใยที่ผ่านการตัดแปรรองทางความร้อนที่ 150 และ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีและเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรรองทางความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ถูกเลือกมาเพื่อเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตกับพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 4.2 กราฟมอดูลัสของยังก์และเวลาการตัดแปรของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.3 กราฟเปอร์เซ็นต์การยืดและเวลาการตัดแปรของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 4.1 ค่าการทนต่อแรงดึง โมดูลัสของยังก์ และเปอร์เซ็นต์การยืดของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรทางความร้อน

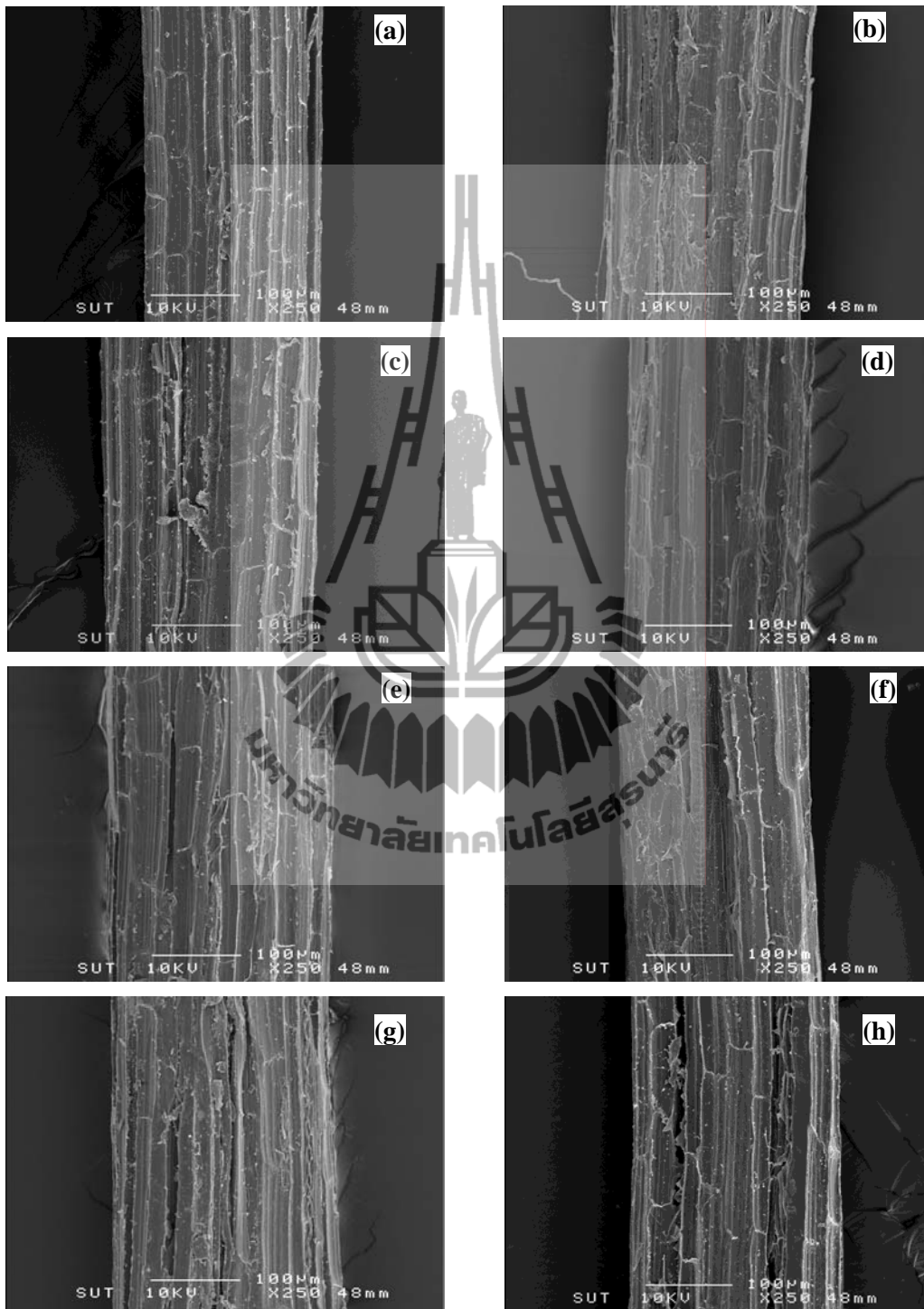
Treatment conditions	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
Untreated	329.54±90.46	21.36±6.20	3.18±0.98
150°C 10 min	336.27±61.95	21.60±4.83	2.76±0.90
150°C 15 min	332.25±86.74	24.62±5.69	2.45±0.60
150°C 30 min	361.14±52.79	25.80±6.48	2.59±0.74
150°C 45 min	342.36±74.72	20.48±3.69	3.19±0.88
150°C 60 min	335.09±96.28	23.11±7.31	2.72±1.37
150°C 90 min	322.08±81.57	24.34±7.85	3.51±1.54
150°C 120 min	302.49±79.56	20.62±7.07	2.65±0.95
170°C 5 min	364.59±76.83	23.86±6.69	2.76±0.62
170°C 15 min	353.91±69.99	23.33±8.14	3.29±1.41
170°C 30 min	378.98±86.37	24.37±6.99	2.98±1.21
170°C 45 min	365.86±71.89	24.71±8.03	3.24±0.95
170°C 60 min	361.62±69.51	23.60±4.70	3.52±1.09
170°C 90 min	363.20±65.51	24.13±5.82	3.09±0.86
170°C 120 min	373.38±76.83	24.15±7.90	3.73±1.00
200°C 5 min	348.33±68.37	24.29±8.92	3.62±0.86
200°C 15 min	325.10±84.43	20.00±7.63	3.05±0.95
200°C 30 min	304.90±60.72	19.52±6.10	3.01±0.69
200°C 45 min	312.90±61.00	16.31±3.53	3.08±1.10
200°C 60 min	304.53±83.59	18.50±5.16	3.49±0.85

4.1.2 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

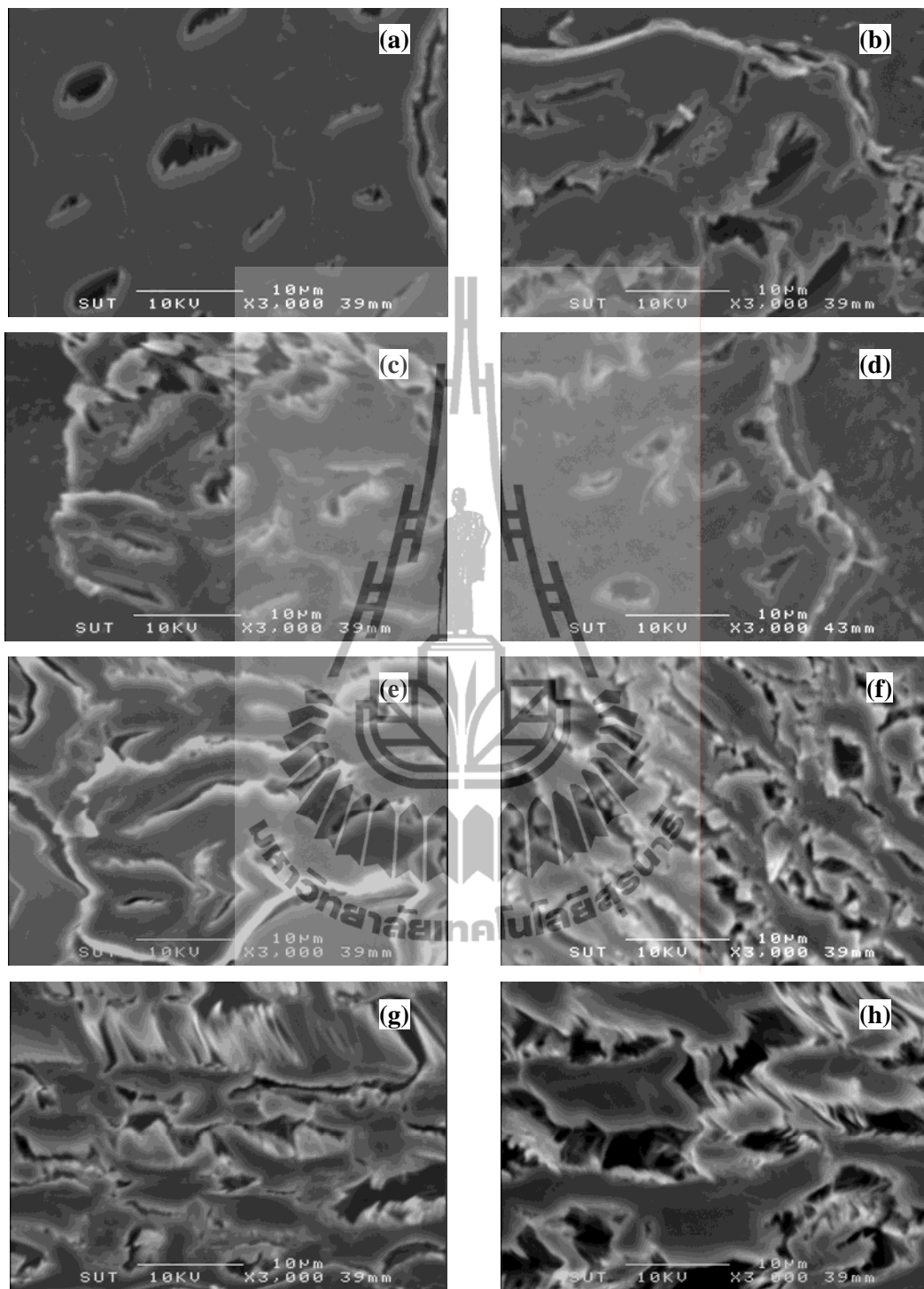
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลาการตัดแปรต่าง ๆ กันแสดงในรูปที่ 4.4 หลังจากการตัดแปรทางความร้อน พื้นผิวของเส้นใยมีความสะอาดและเรียบมากกว่าพื้นผิวของเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องมาจากการหลุดออกของวัสดุเชื่อมติด (binding materials) เช่น ขี้ผึ้ง (wax) เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เมื่อเวลาในการตัดแปรเพิ่มขึ้น พื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะขรุขระมากขึ้น เนื่องจากการหลุดออกของวัสดุเชื่อมติดมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการแยกออก (splitting) ของเส้นใย

รูปที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของภาคตัดขวางของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลาการตัดแปรต่าง ๆ พบว่ารูปร่างของเซลล์ของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เมื่อเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้น ขนาดและรูปร่างของลูเมน (lumen) เปลี่ยนแปลงจากวงกลมเป็นวงรีและเล็กลง เนื่องมาจากการหายไปของน้ำอิสระ (free water) ที่อยู่ในเซลล์ของเส้นใย [Tatsuko และ Hyoe, 2004] ยิ่งกว่านั้นพบว่าผนังเซลล์

ของเส้นใยแยกออกจากเซลล์ที่อยู่ติดกัน เนื่องมาจากการหลุดออกบางส่วน of วัสดุเชื่อมติดและการหายไปของน้ำ



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของเส้นใยที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 10 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที (g) 90 นาที และ (h) 120 นาที

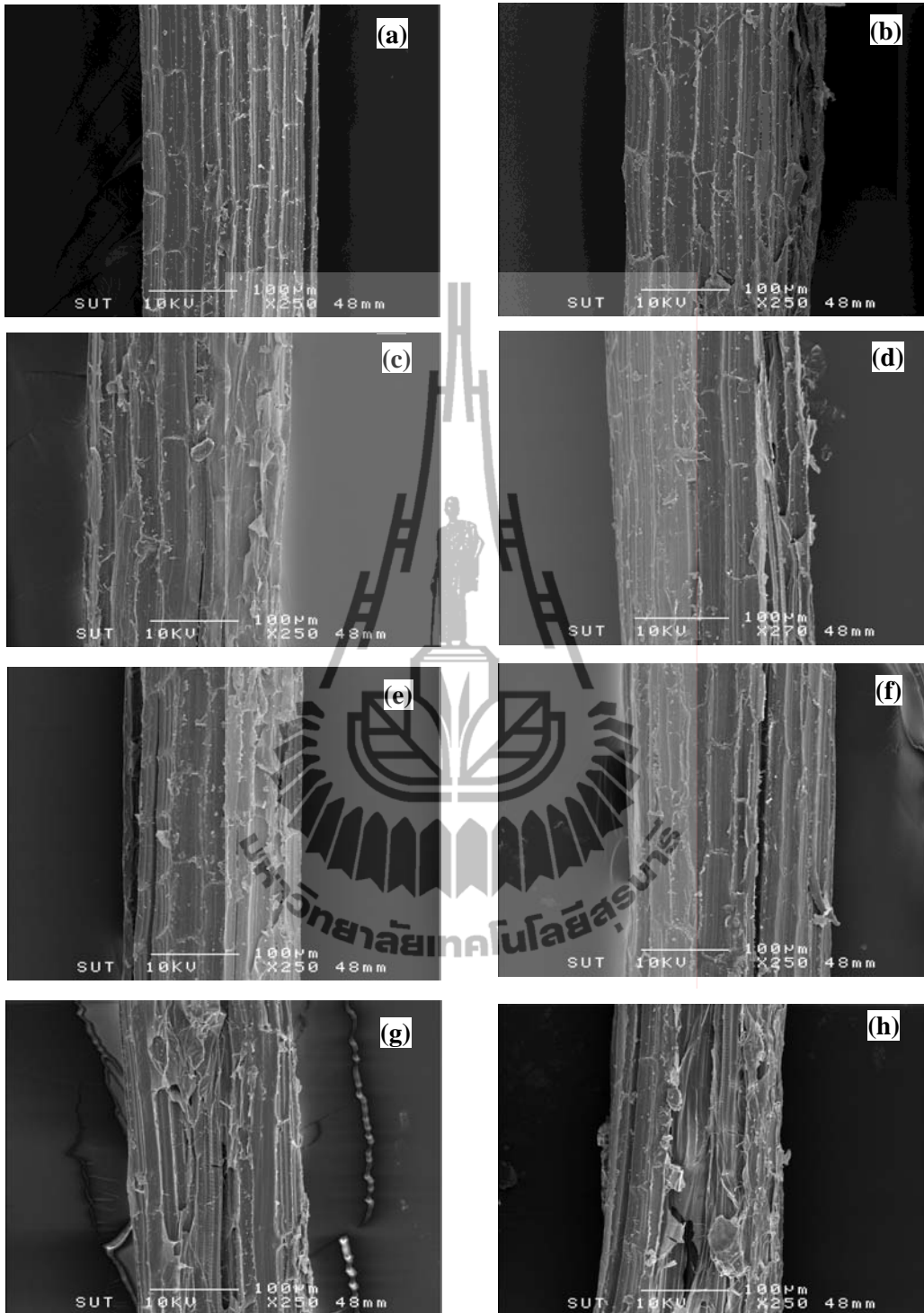


รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของภาคตัดขวางของเส้นใยที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการดัดแปรที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 10 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที (g) 90 นาที และ (h) 120 นาที

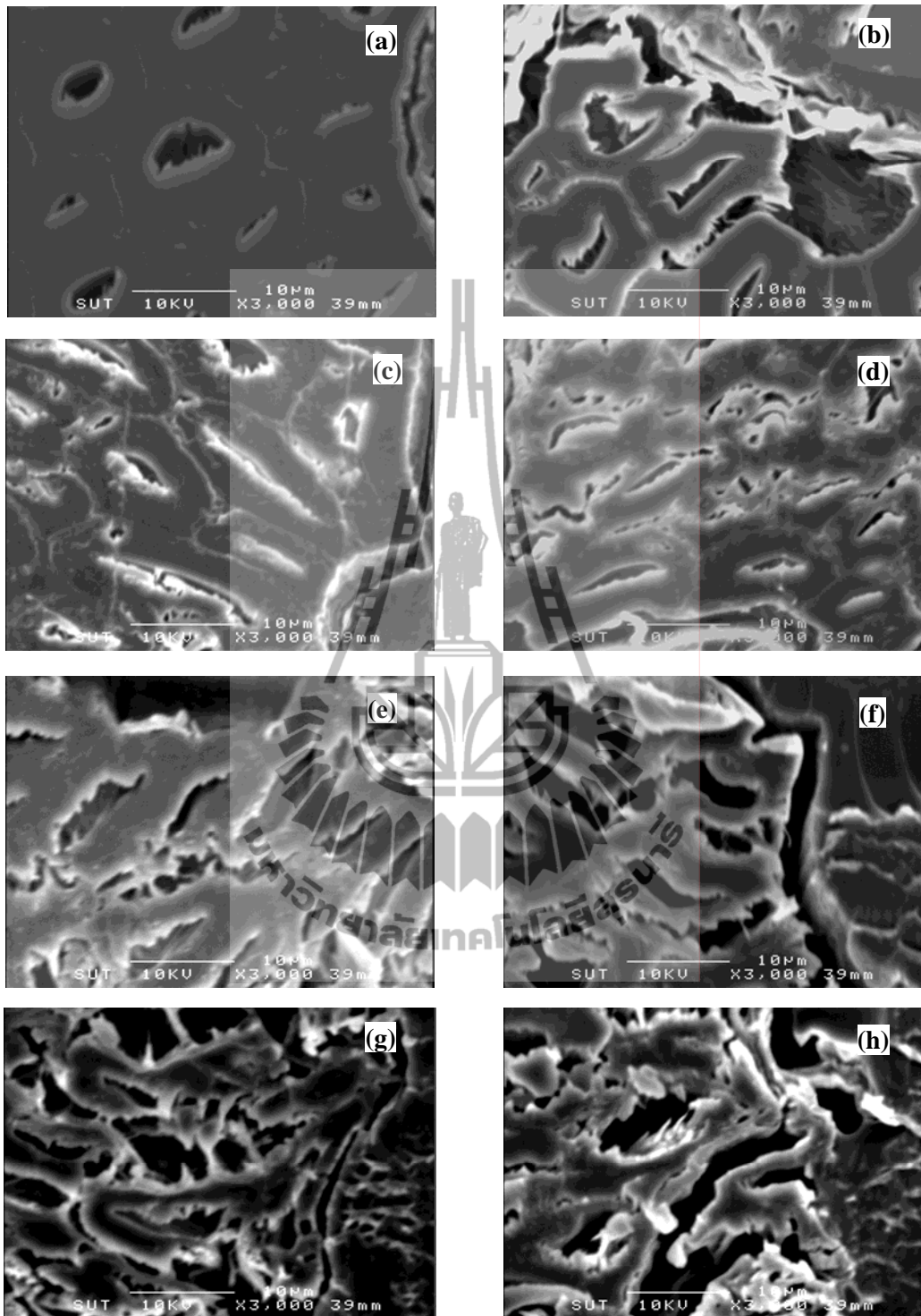
การตัดแปรทางความร้อนที่ 170 องศาเซลเซียสส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวและรูปร่างของเซลล์ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ เมื่อเวลาในการตัดแปรเพิ่มมากขึ้น พื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะขรุขระมากขึ้นและแยกออกมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 การเพิ่มขึ้นของเวลาการตัดแปรส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสลายของสารน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เคลือบพื้นผิวของเส้นใยอยู่ นอกจากนี้พบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ของเส้นใยและลูเมนของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 170 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.7 อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาในการตัดแปรมากกว่า 30 นาที พบการเสียหายบางส่วนของเส้นใย ซึ่งผลนี้สอดคล้องกับการลดลงของค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 170 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาการตัดแปรมากกว่า 30 นาที

รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส พื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรมีความสะอาดและเรียบมากกว่าพื้นผิวของเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร เมื่อเวลาการตัดแปรเพิ่มขึ้น พื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระมากขึ้น ที่เวลาของการของการตัดแปร 5 นาที ผันงเซลล์ของเส้นใยแยกออกอย่างชัดเจนเนื่องจากการหลุดออกของวัสดุเชื่อมติดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งส่งผลกระทบต่อลดลงของค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส หลังจาก 5 นาทีของเวลาการตัดแปร

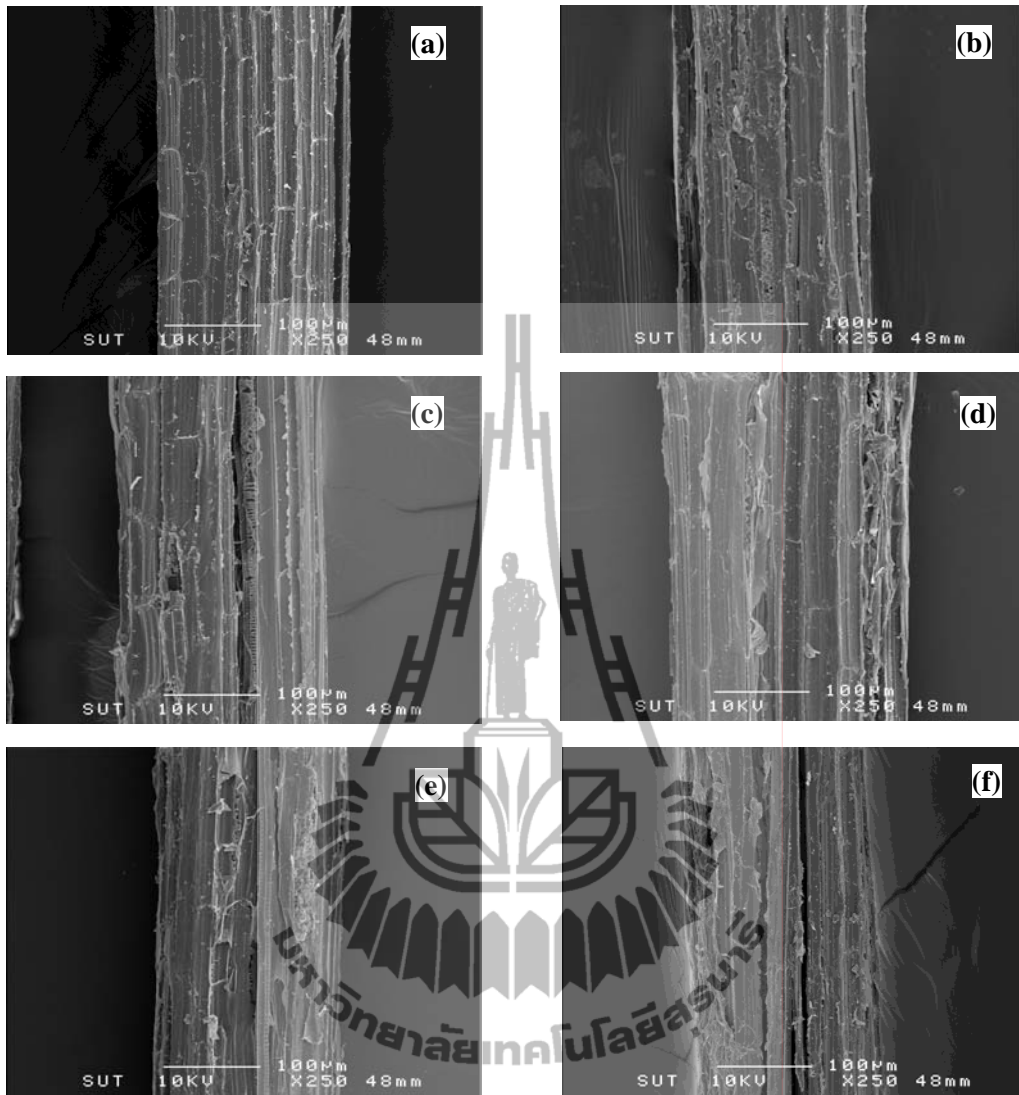
สำหรับกรณีเวลาการตัดแปรที่ 30 นาที การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อแตกแยกออกของเส้นใย การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของลูเมนของเซลล์ของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสลายของวัสดุเชื่อมติดบนพื้นผิวของเส้นใยและการหายไปของน้ำที่มากขึ้นจากลูเมนและผันงเซลล์



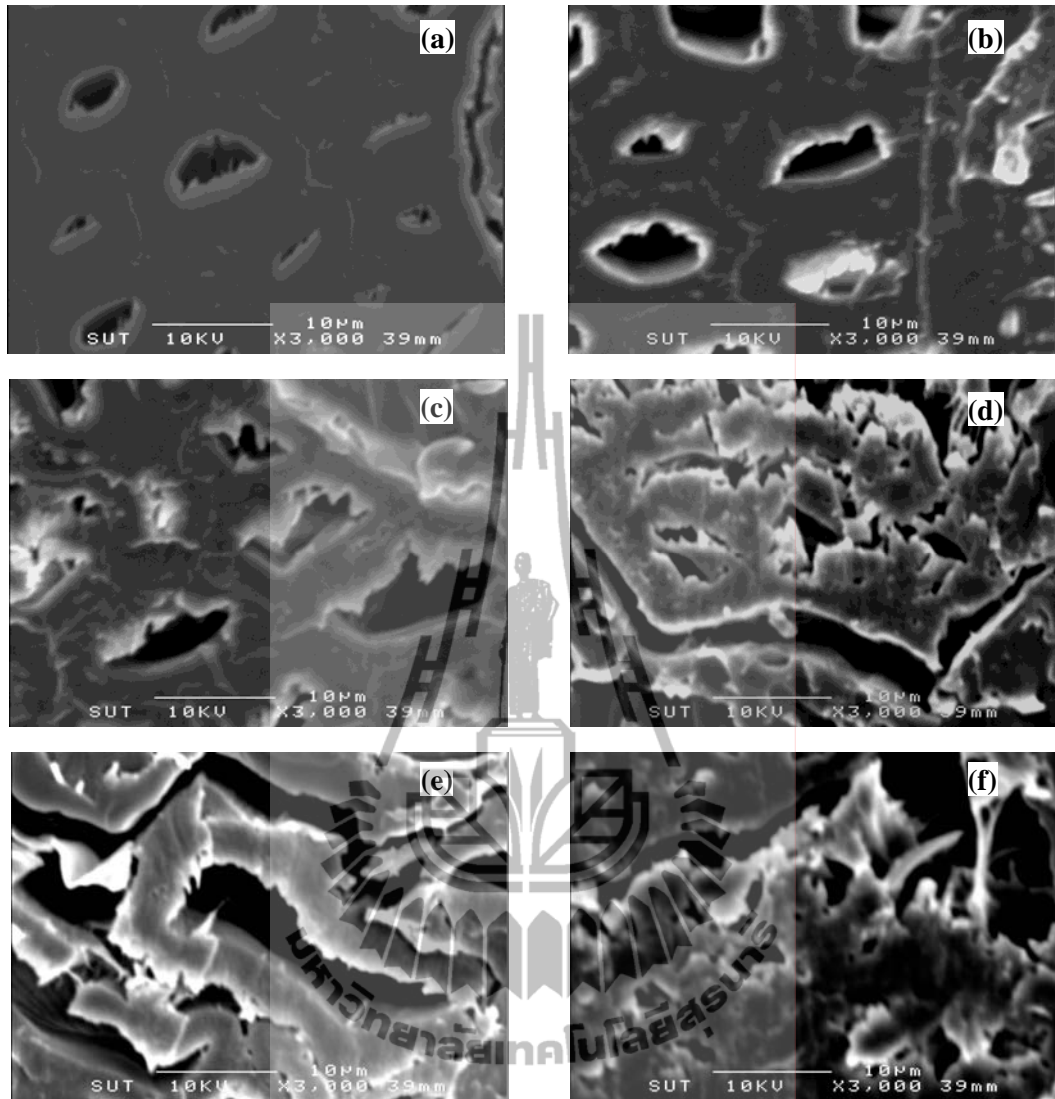
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของเส้นใยที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการดัดแปรที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 10 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที (g) 90 นาที และ (h) 120 นาที



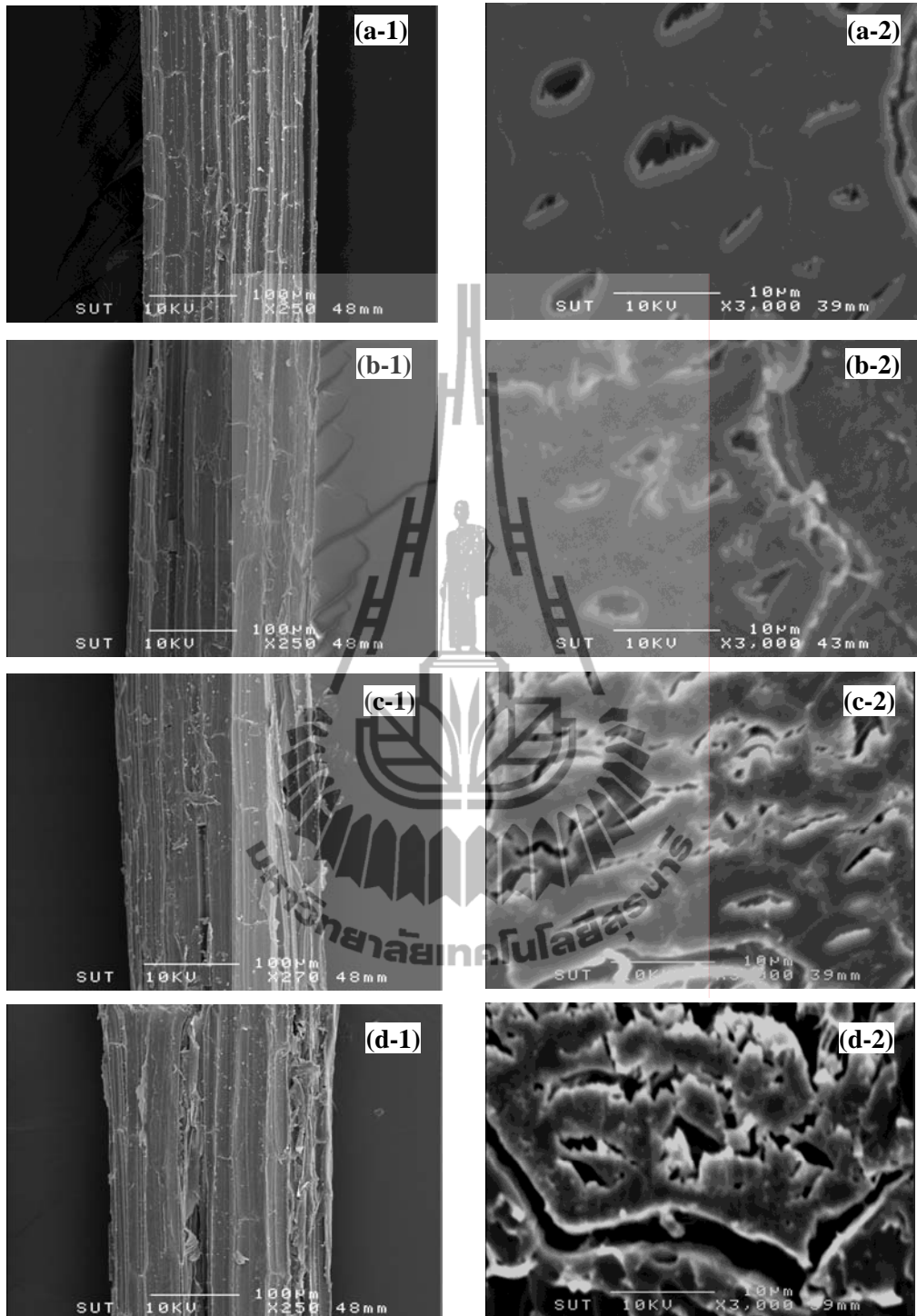
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของภาคตัดขวางของเส้นใยที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการดัดแปรที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 10 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที (g) 90 นาที และ (h) 120 นาที



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวของเส้นใยที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 5 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที



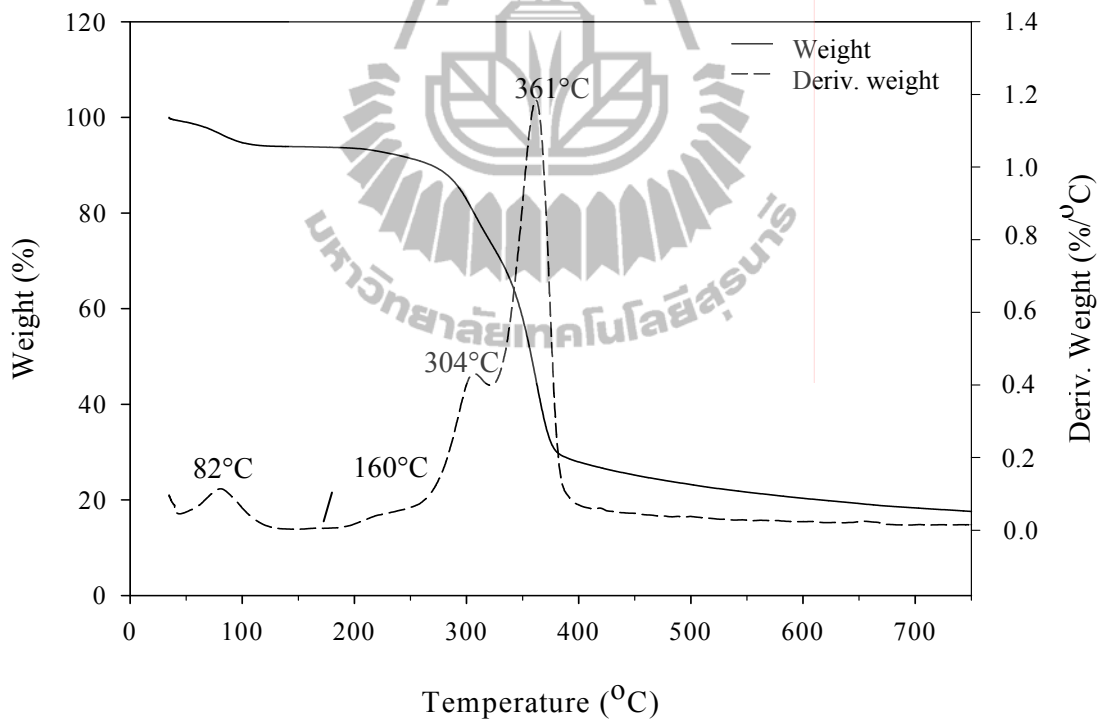
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของภาคตัดขวางของเส้นใยที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b) 5 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที (e) 45 นาที (f) 60 นาที



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิว (1) ภาคตัดขวาง (2) ของเส้นใยที่ไม่ผ่าน (a) และผ่านการดัดแปรที่ 150 มิลลิกรัมเชลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (b) 170 มิลลิกรัมเชลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (c) และ 200 มิลลิกรัมเชลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (d)

4.1.3 สมบัติทางความร้อน

กราฟ TGA และ DTGA ของเส้นใยป่านศรนารายณ์แสดงในรูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงลำดับที่หนึ่ง (1st transition) ที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสเป็นของการระเหยไของน้ำ การเปลี่ยนแปลงลำดับที่สอง (2nd transition) พบเป็นลักษณะบ่าพิก (shoulder peak) โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น (onset) ประมาณ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดเพราะการเสื่อมสลายขององค์ประกอบที่เป็นสารโมเลกุลต่ำ เช่น น้ำ ซึ่ง การเปลี่ยนแปลงลำดับที่สาม (3rd transition) ที่ 304 องศาเซลเซียสเป็นของการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลส สำหรับลิกนินนั้นมีช่วงการเสื่อมสลายกว้างและเกิดไปพร้อมกับการเสื่อมสลายขององค์ประกอบอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงลำดับที่สี่ (4th transition) ที่ 361 องศาเซลเซียสเป็นของการเสื่อมสลายของแอลฟาเซลลูโลส (α-cellulose) Choobuatong, Meksut และ Koochontara (2007) รายงานว่าเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินจะเสื่อมสลายในช่วงอุณหภูมิ 227-377 องศาเซลเซียส 277-427 องศาเซลเซียส และ 227-527 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 กราฟ TGA และ DTGA ของเส้นใยป่านศรนารายณ์

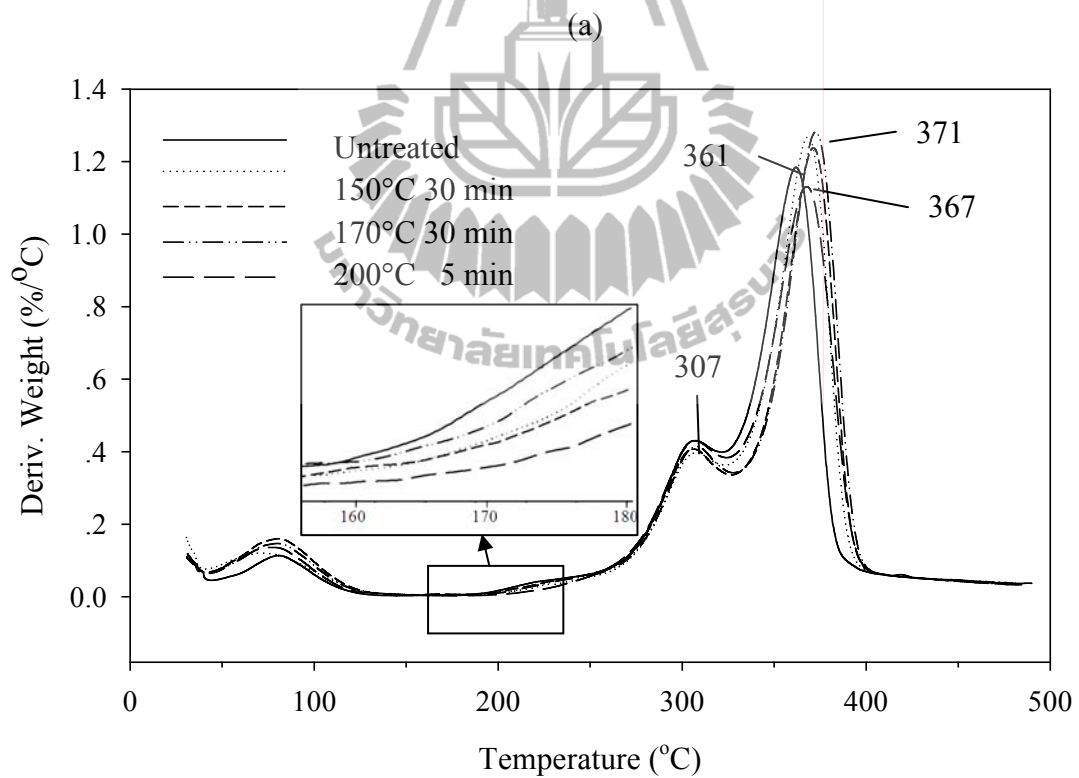
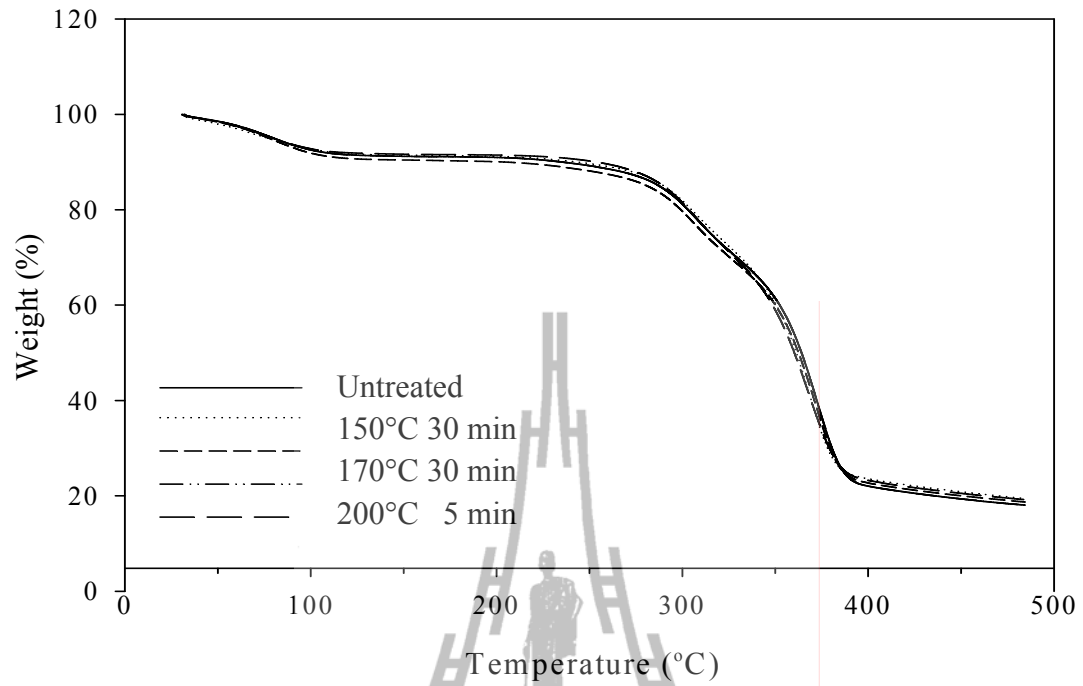
กราฟ TGA และ DTGA ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรทางความร้อนแสดงในรูปที่ 4.12 กราฟ TGA ของเส้นใยทั้งหมดแสดงการเปลี่ยนแปลงลำดับที่หนึ่งที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสเป็นการระเหยไปของความชื้น พบว่าน้ำหนักที่สูญเสียของการเปลี่ยนแปลงลำดับที่หนึ่งของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการตัดแปรทางความร้อนสามารถกำจัดน้ำในเส้นใยได้ 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 4.2 Katsuya, Tetsuya และ Satoru (2008) พบว่าปริมาณน้ำในไม้สน (spruce wood) ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนที่ 140 องศาเซลเซียสลดลงเช่นกัน

การตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิเริ่มต้นของอุณหภูมิการเสื่อมสลายขององค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ส่วนการตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิ 170 และ 200 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของอุณหภูมิการเสื่อมสลายขององค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ พบว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงลำดับที่สองของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนเลื่อนไปที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าการตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 170 และ 200 องศาเซลเซียสทำให้เกิดการหลุดออกขององค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งส่งผลให้เส้นใยมีความเสถียรต่อความร้อนดีขึ้น สำหรับที่เวลาการตัดแปร 30 นาที การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการตัดแปรส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 4.2 นอกจากนี้กรณีการตัดแปรที่ 200 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของเวลาการตัดแปรทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเริ่มต้นเพราะการเสื่อมสลายขององค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ Wielage และคณะ (1999) พบด้วยเช่นกันว่าการเพิ่มขึ้นของเวลาในการตัดแปรทางความร้อนจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเสถียรต่อความร้อนของเส้นใยปอกระเจา (jute fiber) สำหรับการเพิ่มขึ้นของช่วงเวลาของการตัดแปรส่งผลให้การหลุดออกของของเฮมิเซลลูโลสบางส่วนที่เคลือบผิวของเส้นใยอยู่หลุดออกมากขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงลำดับที่สามของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ซึ่งคืออุณหภูมิการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลส พบว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของเฮมิเซลลูโลสของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนสูงกว่าของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรเล็กน้อย แสดงว่าการตัดแปรทางความร้อนสามารถทำให้บางส่วนของเฮมิเซลลูโลสซึ่งมีความเสถียรต่อความร้อนต่ำหลุดออก Weiland และ Guyonnet (2003) พบว่าการตัดแปรทางความร้อนของไม้บีท (beech) และไม้สนมาริทาม (maritime pine) ที่ 230-260 องศาเซลเซียสภายใต้สถานะในโตรเจนสามารถทำให้เฮมิเซลลูโลสหลุดออกได้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงลำดับที่สี่คืออุณหภูมิการเสื่อมสลายของแอลฟาเซลลูโลส อุณหภูมิการเสื่อมสลายของแอลฟาเซลลูโลสของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนเลื่อนไปที่อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยเช่นกัน แสดงว่าความเสถียรต่อความร้อนของเส้นใยดีขึ้นเพราะองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสซึ่งมีความเสถียรต่อความร้อนต่ำหลุดออกจึงทำให้ความเสถียรต่อความร้อนของแอลฟาเซลลูโลสสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการตัดแปรทางความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีทำให้อุณหภูมิการเสื่อมสลายของแอลฟาเซลลูโลสลดลงอาจเนื่องมาจากเกิดการเสียหายของเส้นใย น้ำหนักสุดท้าย (final weight) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนมีปริมาณน้อยกว่าของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรเล็กน้อย





(b)

รูปที่ 4.12 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการดัดแปรทางความร้อน

ตารางที่ 4.2 ลักษณะการเสื่อมสลายทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านและผ่านการดัดแปรทางความร้อน

Treatment Conditions	1 st Transition			2 nd Transition	3 rd Transition	4 th Transition	Final Weight (%)
	Onset (°C)	Peak (°C)	Weight loss (%)	Onset (°C)	Peak (°C)	Peak (°C)	
Untreated	43	79	9	160	304	361	22
150°C 30 min	45	81	8	165	306	368	19
170°C 30 min	46	82	7	167	307	371	18
200°C 5 min	45	80	8	164	307	372	18
200°C 30 min	46	81	7	171	307	367	19

4.2 ผลของการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน

4.2.1 สมบัติทางความร้อน

กราฟ TGA และ DTGA ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน ที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสและปริมาณของเส้นใยต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.13-4.15 อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนและเซลลูโลสของพอลิเมอร์คอมโพสิตแสดงในตารางที่ 4.3 เซลลูโลสเสื่อมสลายที่อุณหภูมิประมาณ 360 องศาเซลเซียส และพอลิโพรพิลีนเสื่อมสลายที่อุณหภูมิประมาณ 464 องศาเซลเซียส การเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์เข้าไปในพอลิโพรพิลีนส่งผลทำให้อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนลดลงเล็กน้อย เพราะทำให้อุณหภูมิการเสื่อมสลายทางความร้อนของเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่ำกว่าของพอลิโพรพิลีน

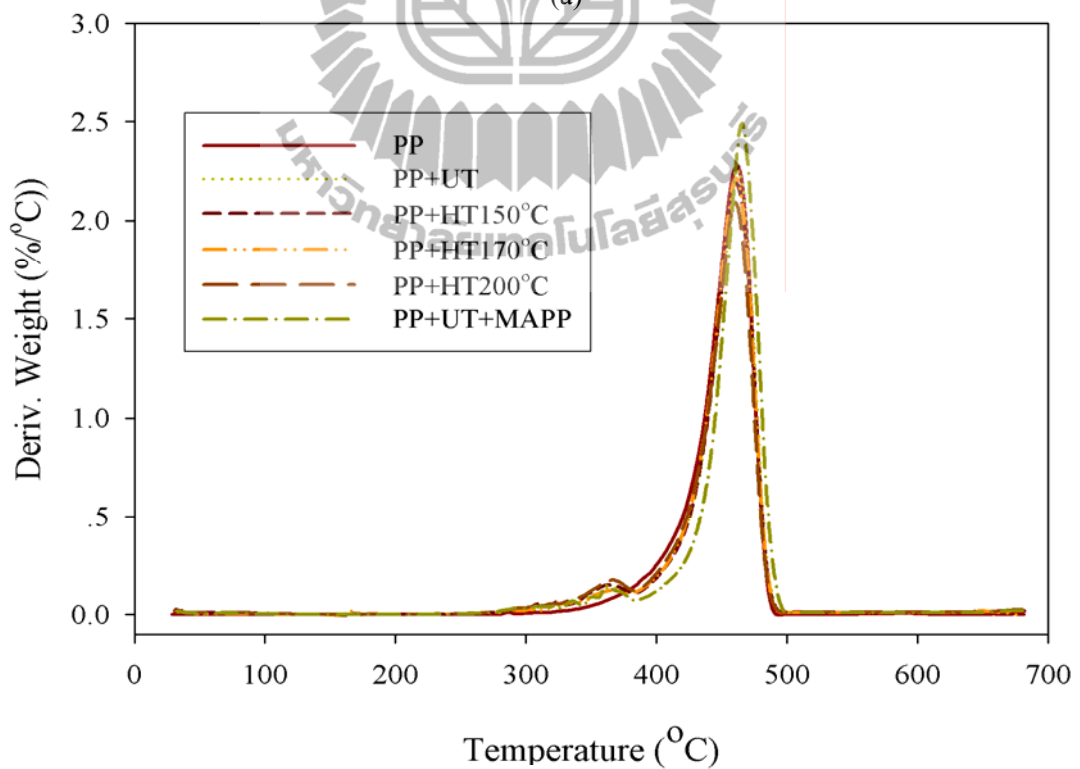
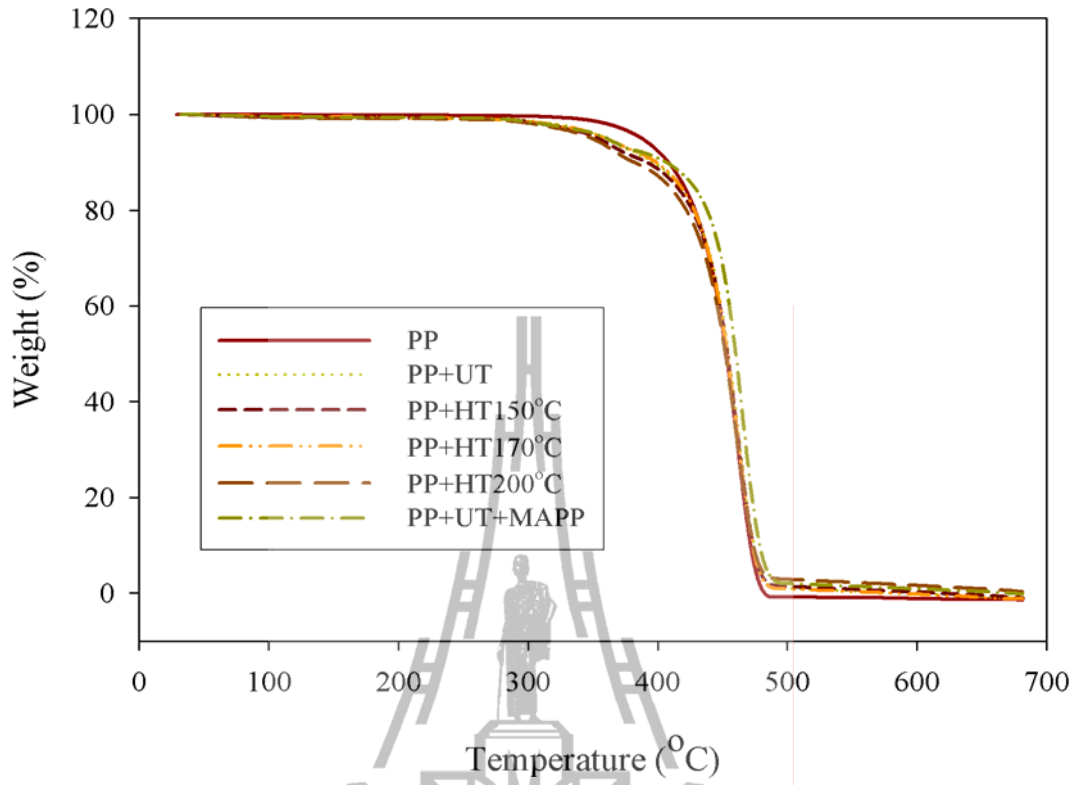
อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลสของเส้นใยป่านศรนารายณ์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและพอลิโพรพิลีน เพราะการหลุดออกของขี้ผึ้ง (wax) และบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสที่ผิวของเส้นใยทำให้ความเสถียรต่อความร้อนของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนสูงกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1 การตัดแปรทางความร้อนเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 150 170 และ 200 องศาเซลเซียสไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลสของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน นอกจากนี้กระบวนการตัดแปรทางความร้อนไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีน

MAPP ส่งผลเล็กน้อยต่ออุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลสและพอลิโพรพิลีน Lei และคณะ (2007) เตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) กับผงไม้สนและเส้นใยชานอ้อยโดยใช้พอลิเอทิลีนกร๊าฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride grafted polyethylene, MAPE) เป็นสารช่วยให้เข้ากัน พบว่าการเติมสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเสื่อมสลายของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง อย่างไรก็ตาม Araújo, Waldman และ De Paoli (2008) รายงานว่าความเสถียรต่อความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและเส้นใยสับปะรดเล็ก (curaua fiber) ที่มีการเติม MAPE ต่ำกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการเติมสารช่วยให้เข้ากันเพราะว่าการยึดติดที่อินเทอร์เฟสดีขึ้น จึงเหนียวนาให้เกิดการเสื่อมสลายที่อุณหภูมิต่ำลง

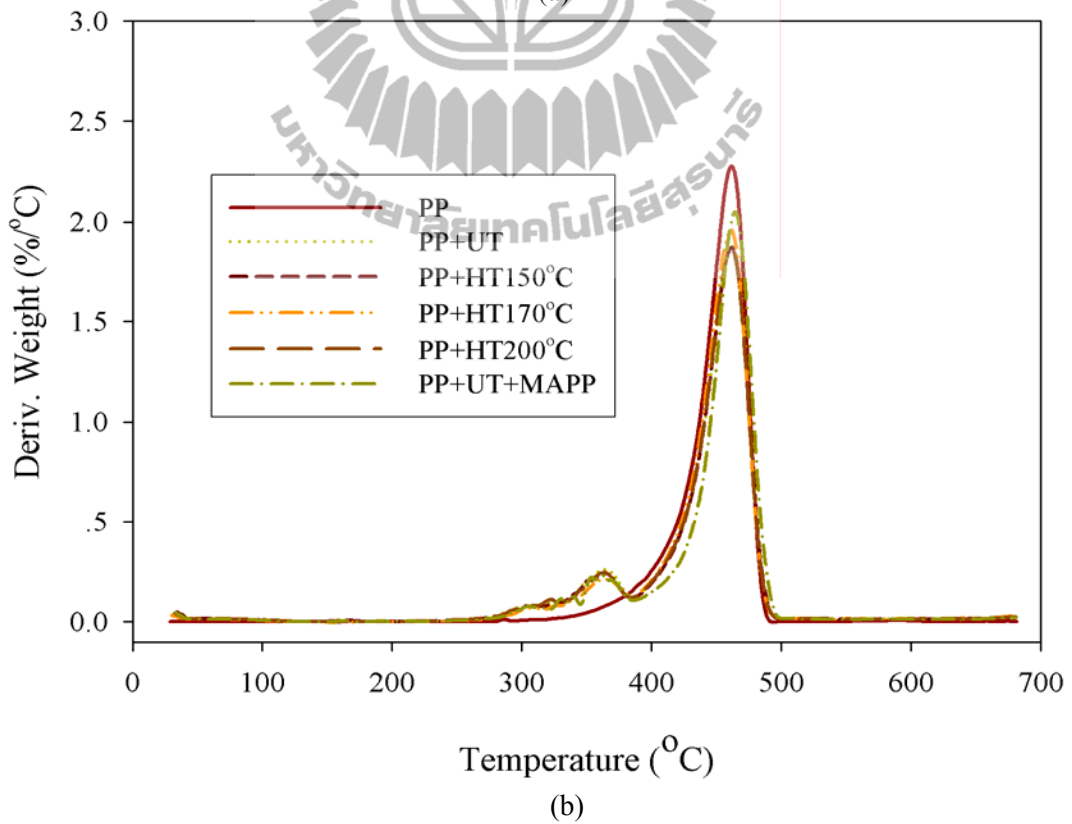
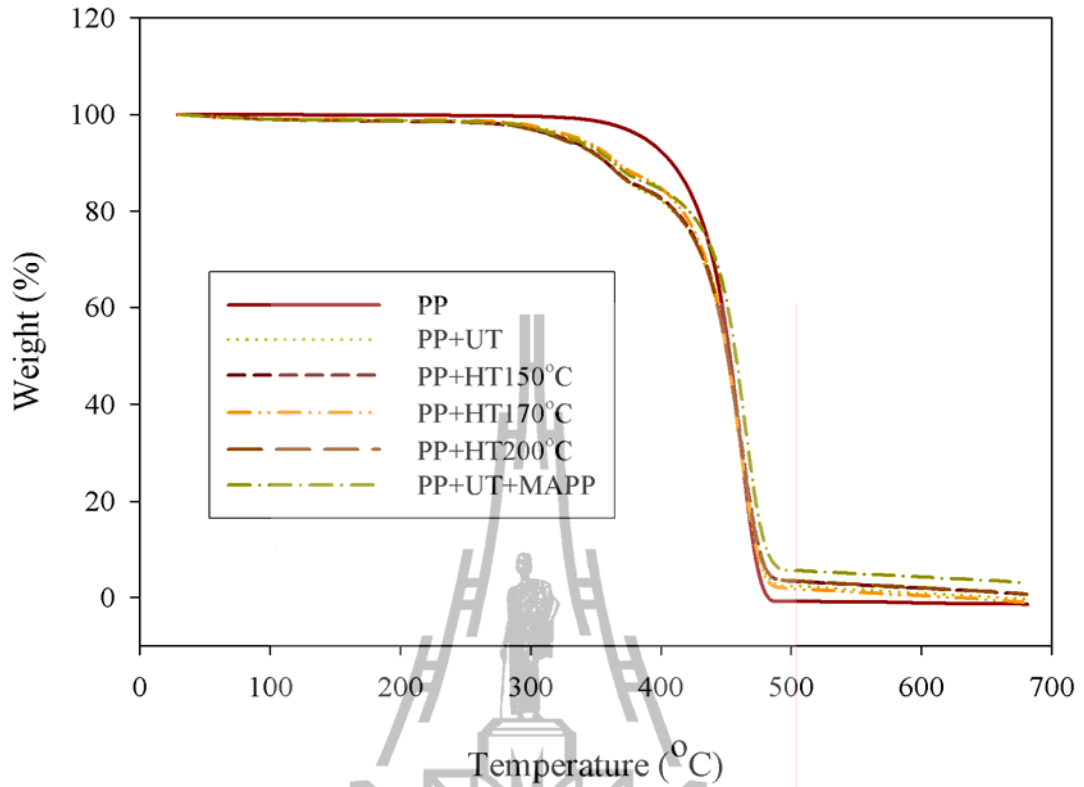
สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิตทุกระบบ การเพิ่มขึ้นของปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์ส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลส แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีน

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานครนารายน์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซที่ปริมาณของเส้นใยต่าง ๆ

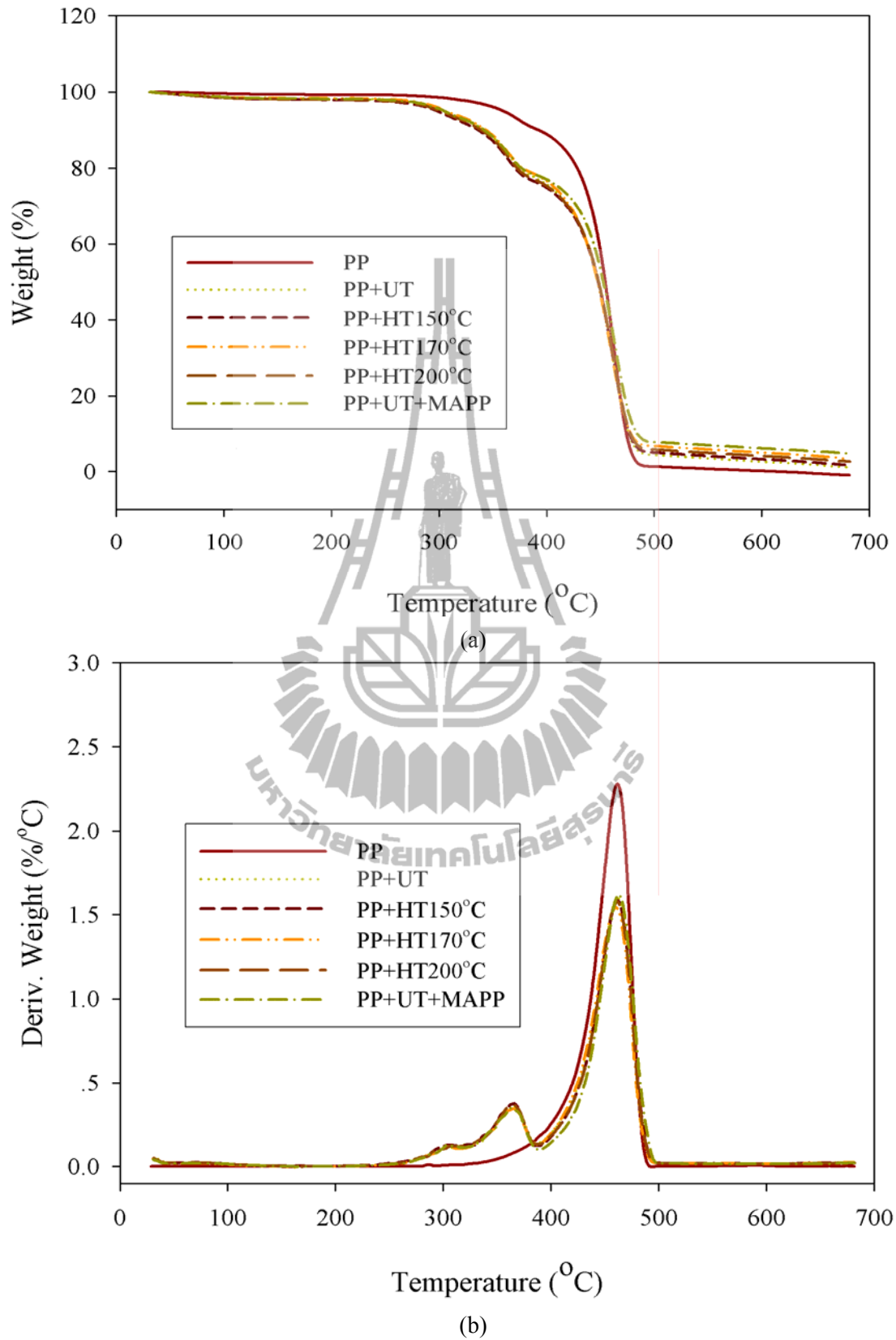
Materials	Cellulose decomposition temperature (°C)			PP decomposition temperature (°C)		
	Fiber content			Fiber content		
	10 wt%	20 wt%	30 wt%	10 wt%	20 wt%	30 wt%
PP	-			464.12		
PP+UT	363.16	361.97	359.98	462.12	462.15	461.27
PP+HT 150°C	365.86	362.71	360.65	462.41	462.20	462.34
PP+HT 170°C	366.48	364.48	362.29	462.40	462.33	462.40
PP+HT 200°C	364.22	362.06	360.82	462.32	462.17	461.90
PP+UT+MAPP	365.23	362.96	361.56	464.59	463.96	462.63



รูปที่ 4.13 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.14 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.15 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

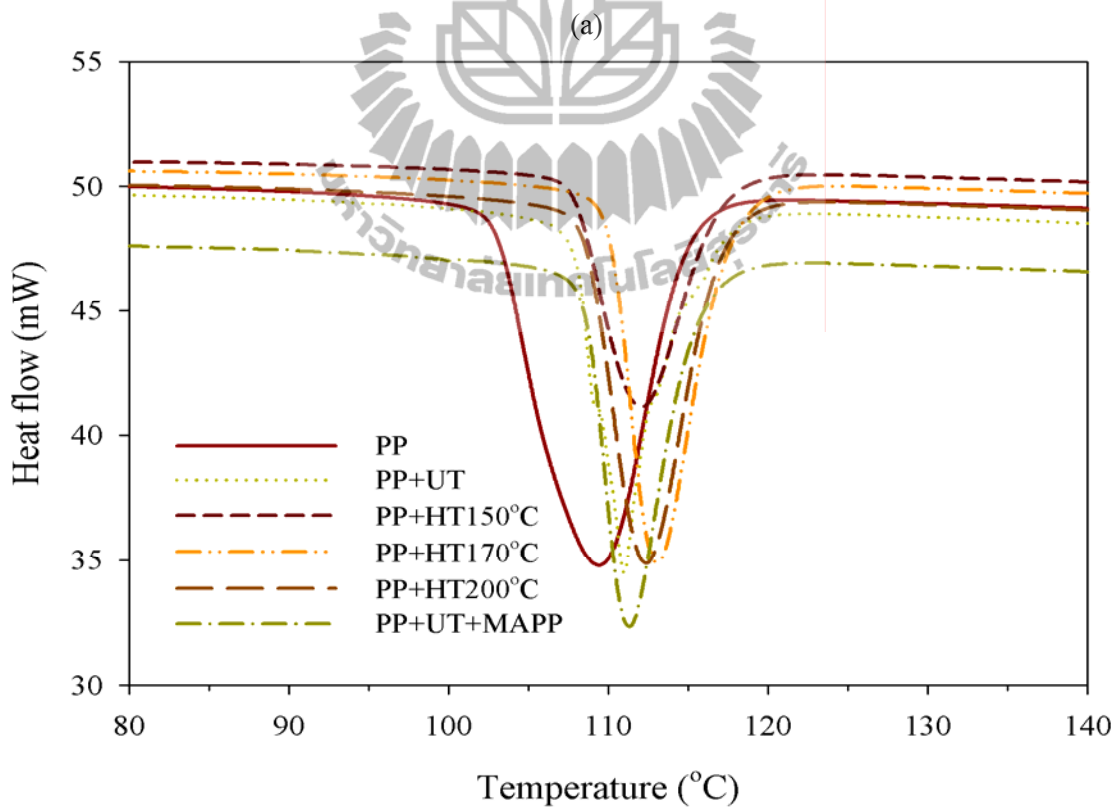
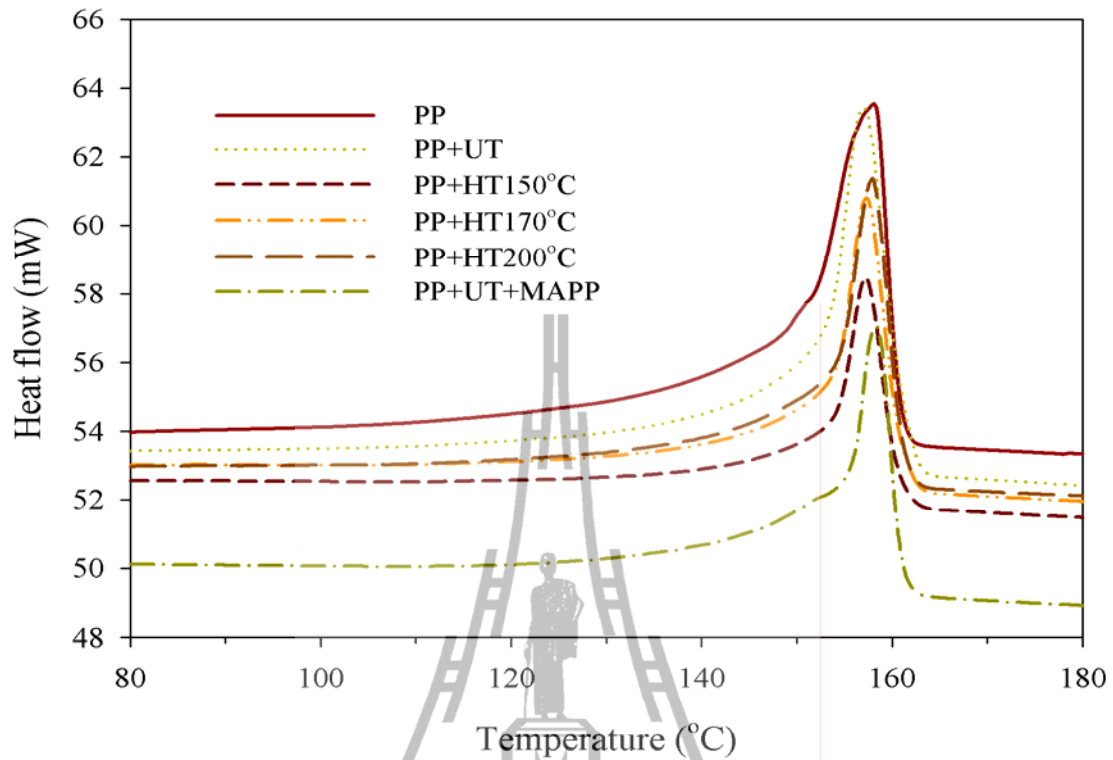
ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) อุณหภูมิการตกผลึก (crystallization temperature, T_c) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (crystallinity, % X_c) ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซที่ปริมาณของเส้นใยต่าง ๆ อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ Manchado และคณะ (2000) พบเช่นกันว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน การคัดแปรทางความร้อนของเส้นใยและการเติมสารช่วยให้เข้ากันส่งผลเพียงเล็กน้อยต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีน การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีน Amash และ Zugenmaier (2000) พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและพอลิโพรพิลีน

อุณหภูมิการตกผลึกของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการเติมเส้นใยเนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำการตกผลึกโดยเส้นใย Amash และ Zugenmaier (2000) ทำการศึกษาผลของสารเสริมแรงที่เป็นเส้นใยต่ออุณหภูมิการตกผลึกของพอลิโพรพิลีน พบว่าอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเส้นใยเซลลูโลสเพราะว่าเส้นใยเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (nucleating agent) ในกระบวนการการตกผลึกของพอลิโพรพิลีน อุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เติมเส้นใยที่ไม่ผ่านการคัดแปร เส้นใยที่ผ่านการคัดแปรทางความร้อนและการเติมสารช่วยให้เข้ากันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์เพิ่มขึ้น เพราะว่เส้นใยทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกได้มากขึ้น [Quillin และคณะ, 1994]

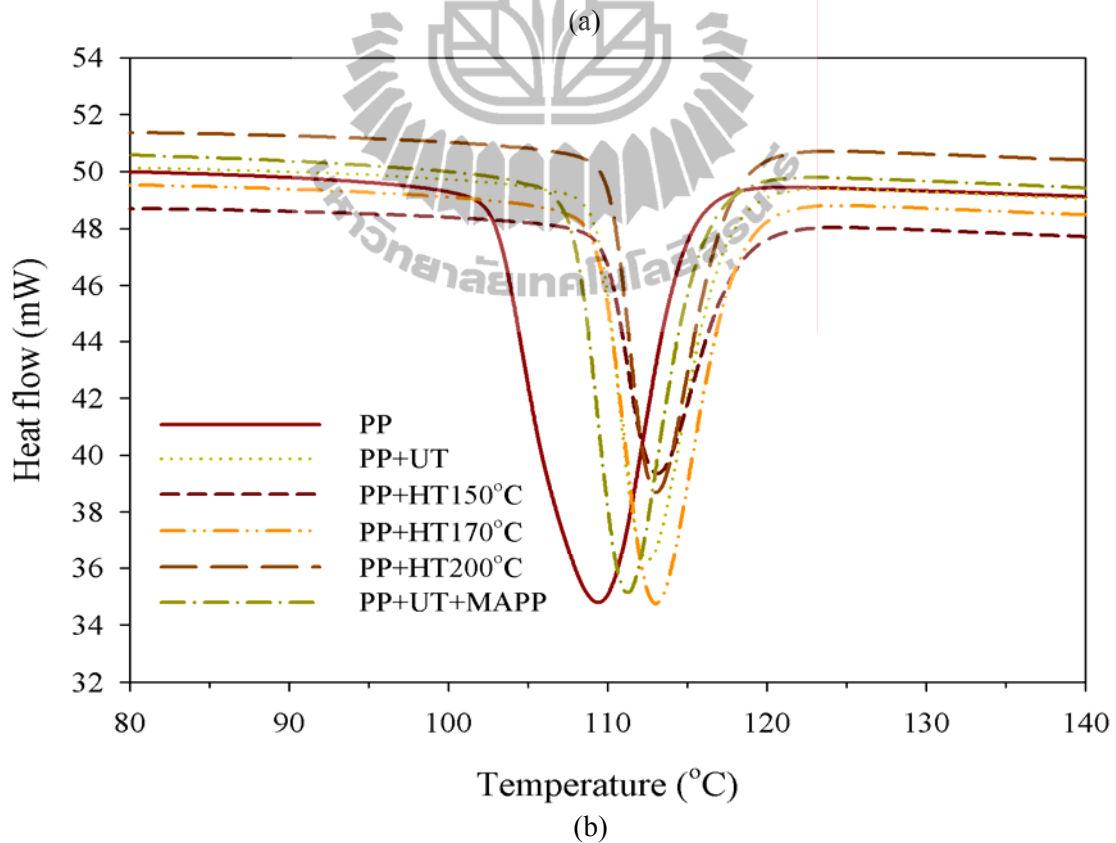
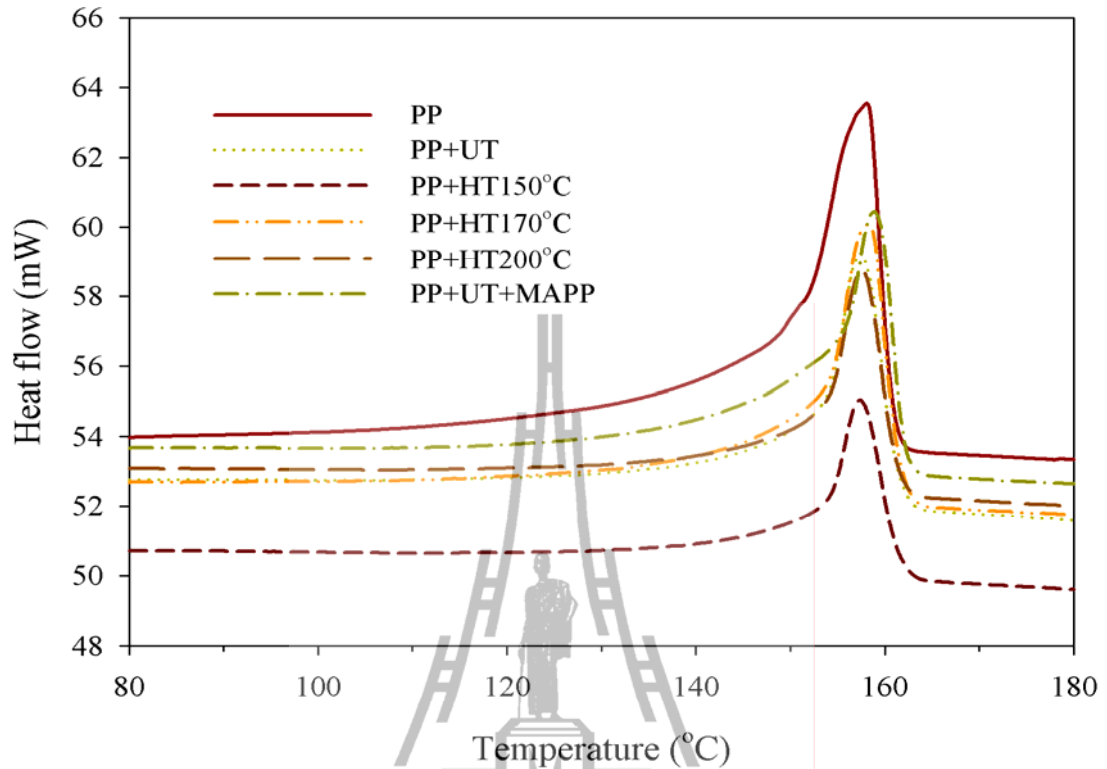
เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพรพิลีนลดลงเมื่อมีการเติมเส้นใยเพราะเส้นใยไปจำกัดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนในขณะที่อยู่ในสถานะหลอมเหลวหลังจากที่มีการเริ่มเกิดผลึกนำไปสู่การมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกต่ำ [Ruksakulpiwat และคณะ, 2007] อย่างไรก็ตาม Joseph และคณะ (2003) พบว่าการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ลงในพอลิโพรพิลีนส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพรพิลีน และการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากเส้นใยทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณของเส้นใยต่าง ๆ

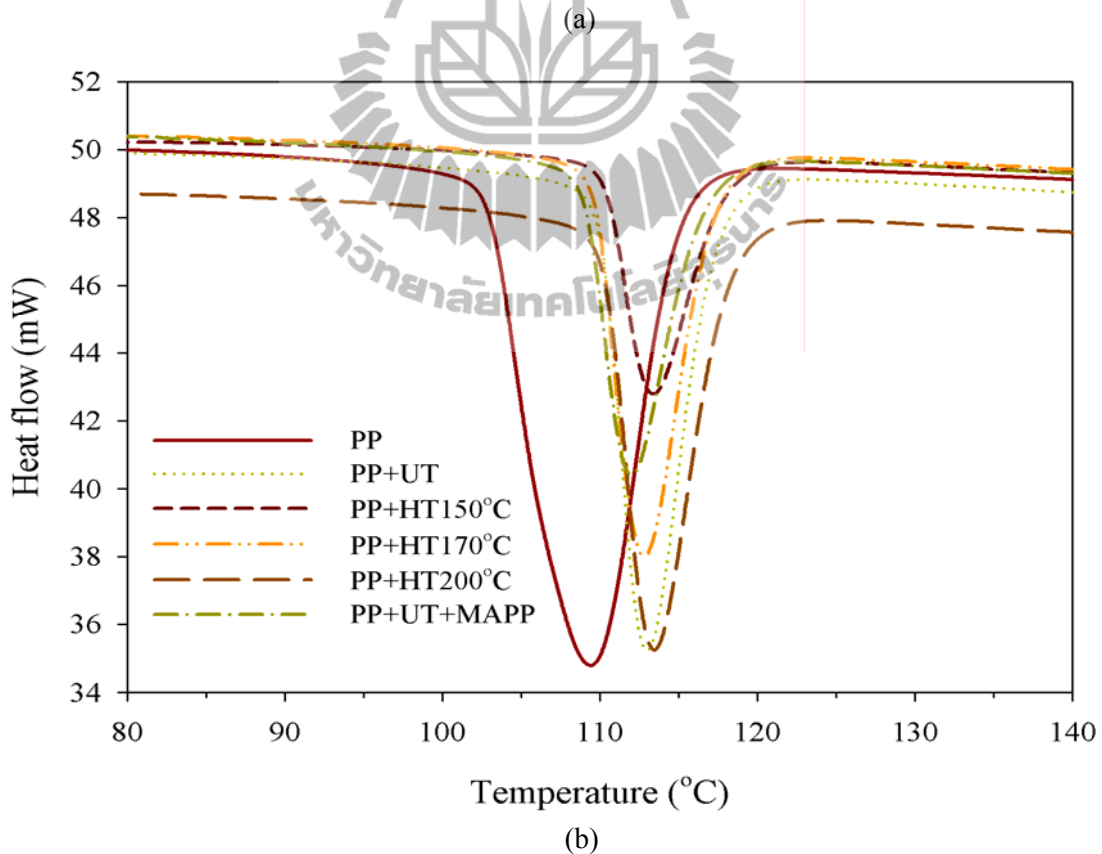
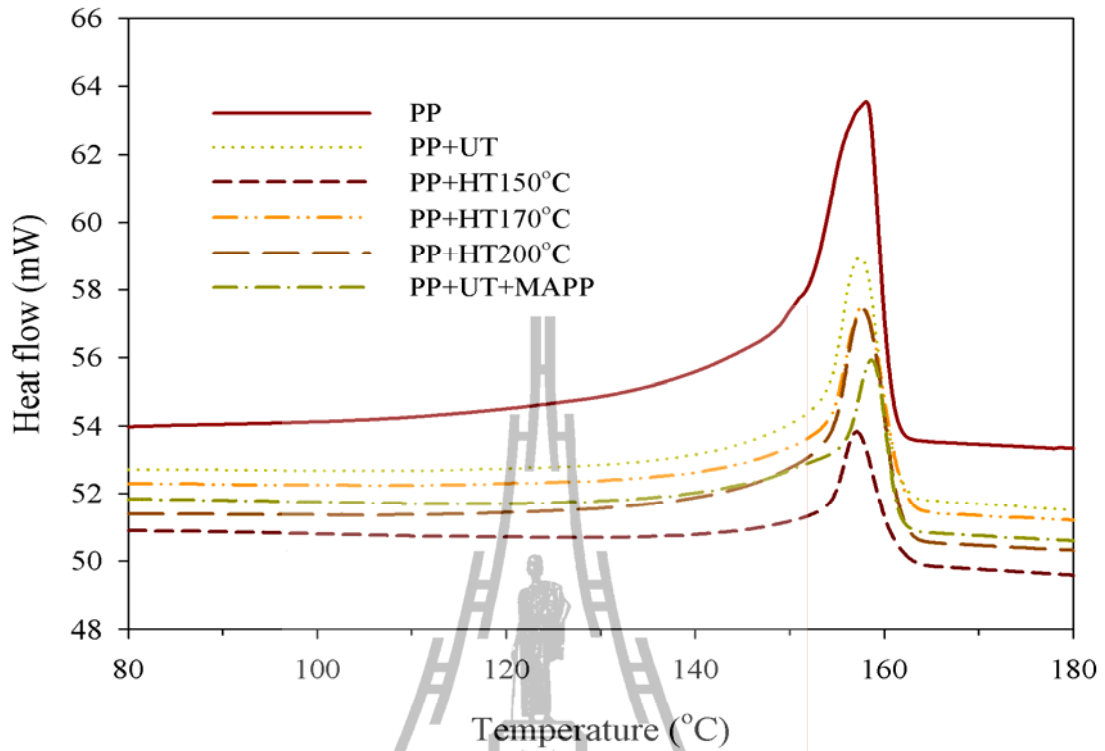
Materials	Tm (°C)			Tc (°C)			Crystallinity (%)		
	Fiber content			Fiber content			Fiber content		
	10 wt%	20 wt%	30 wt%	10 wt%	20 wt%	30 wt%	10 wt%	20 wt%	30 wt%
PP	158.0			109.5			50.95		
PP+UT	157.0	157.5	157.5	111.0	112.5	113.0	36.85	38.79	40.70
PP+HT 150°C	157.0	157.5	157.0	112.0	113.0	113.5	38.15	40.41	43.30
PP+HT 170°C	157.5	158.5	158.0	113.0	113.0	113.5	38.30	39.56	42.17
PP+HT 200°C	158.0	159.0	158.0	112.0	113.0	113.5	36.76	39.63	41.14
PP+UT+MAPP	158.5	159.0	158.5	111.5	112.0	113.5	37.24	39.22	42.98



รูปที่ 4.16 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอรัคคอมโพลีโพลีระหว่างเส้นใยปานครนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก (a) การให้ความร้อน และ (b) การหล่อเย็น



รูปที่ 4.17 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานครนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก (a) การให้ความร้อน และ (b) การหล่อเย็น



รูปที่ 4.18 กราฟ DSC ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยปานครนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสต่าง ๆ ที่ปริมาณเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก (a) การให้ความร้อน และ (b) การหล่อเย็น

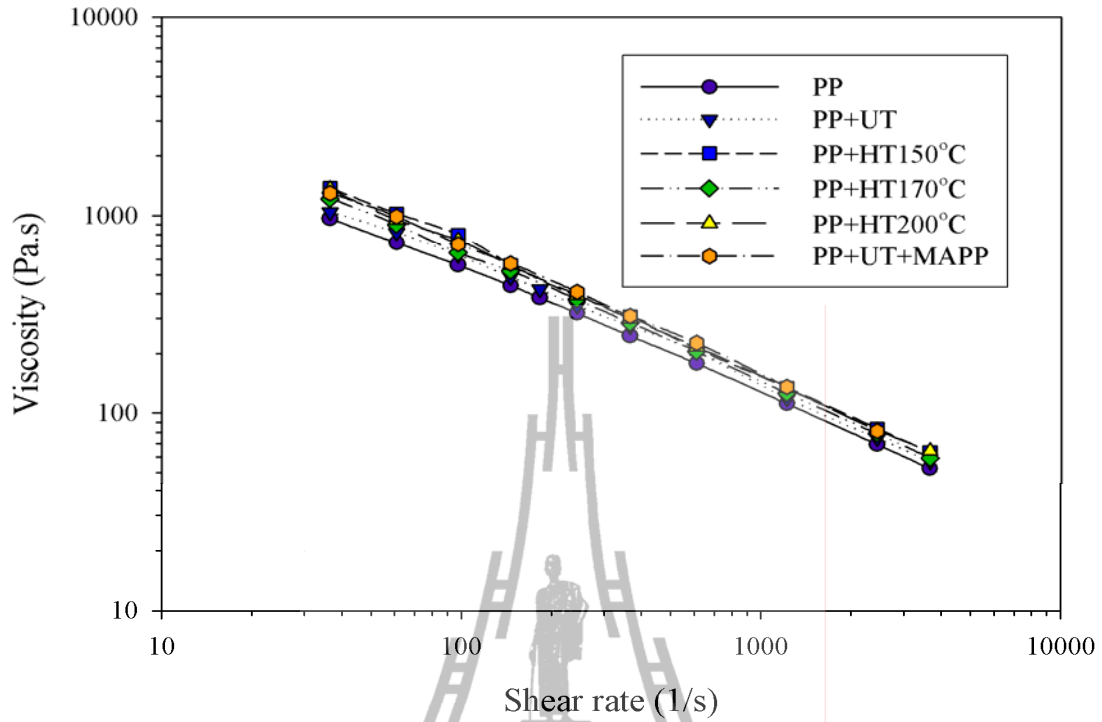
ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการบิดงอ (heat distortion temperature, HDT) ของพอลิโพรพิลีน และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน อุณหภูมิการบิดงอของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเส้นใย การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยทำให้อุณหภูมิการบิดงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้น และการตัดแปรเส้นใยและการเติมสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการบิดงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการบิดงอของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซที่ปริมาณของเส้นใยต่าง ๆ

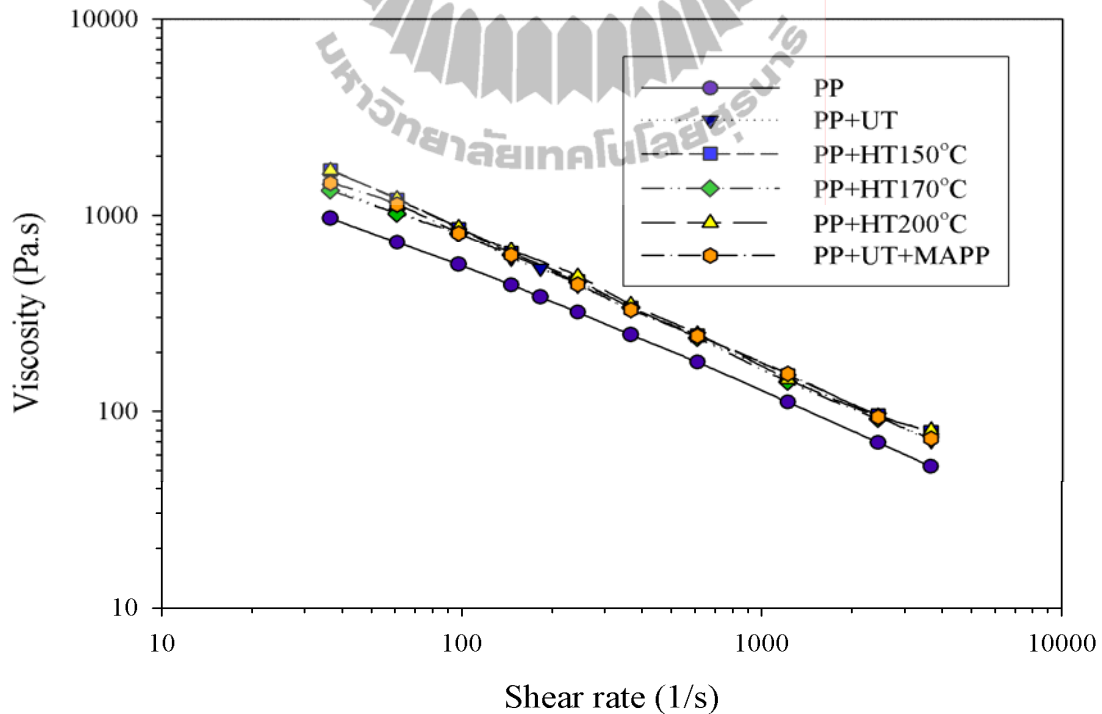
Materials	HDT (°C)		
	Fiber content		
	10 wt%	20 wt%	30 wt%
PP	82.2±1.0		
PP+UT	114.2±0.3	123.5±0.7	133.5±0.7
PP+HT 150°C	113.5±0.7	122.0±0.7	135.0±0.7
PP+HT 170°C	114.0±0.7	123.7±0.3	134.0±1.4
PP+HT 200°C	112.7±1.0	124.7±0.3	134.7±0.3
PP+UT+MAPP	114.5±0.3	124.5±0.7	134.5±0.7

4.2.2 สมบัติทางกระแสวิทยา

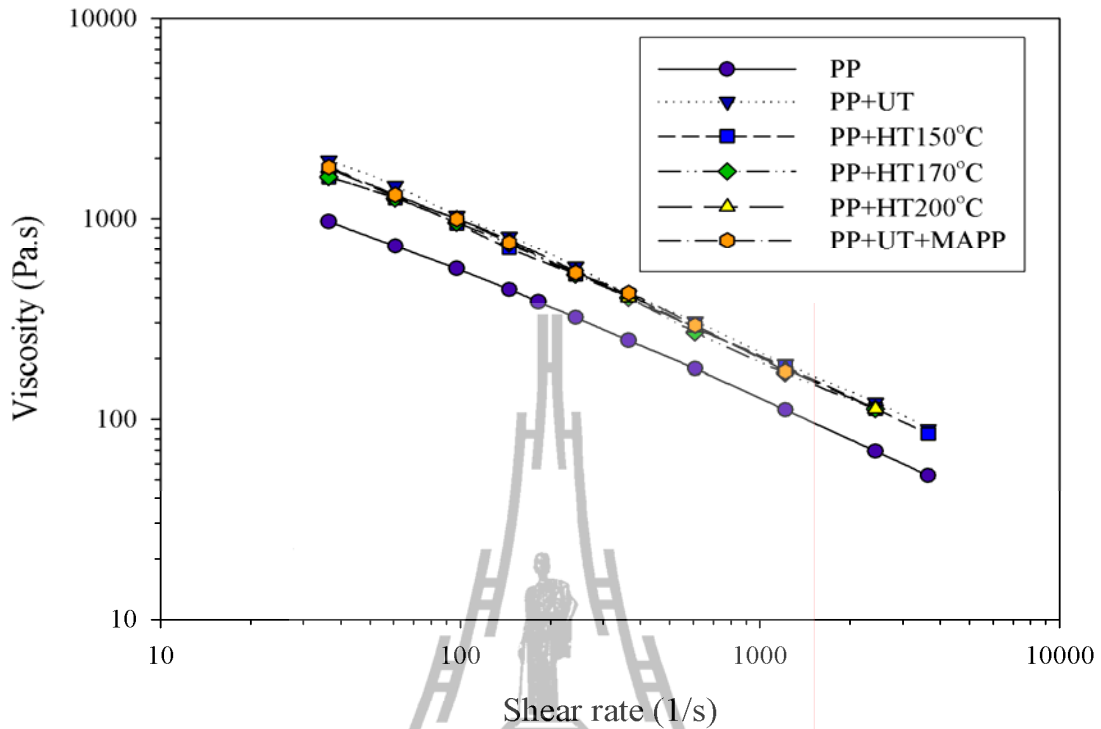
ความเหนียวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนสูงกว่าความเหนียวของพอลิโพรพิลีนดังแสดงในรูปที่ 4.19-4.21 นอกจากนี้ความเหนียวของพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นเพราะว่าเส้นใยขัดขวางการเคลื่อนที่ของส่วนของสายโซ่พอลิเมอร์ในสถานะหลอมเหลว อย่างไรก็ตามการตัดแปรเส้นใยและการเติมสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเหนียวของพอลิเมอร์คอมโพสิต Schemenauer และคณะ (2000) พบด้วยเช่นกันว่าการเติมสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลต่อความเหนียวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปอกระเจา (jute) และพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 4.19 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่าง ๆ ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.20 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่าง ๆ ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.21 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่าง ๆ ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซ ที่ปริมาณเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.2.3 สมบัติทางกล

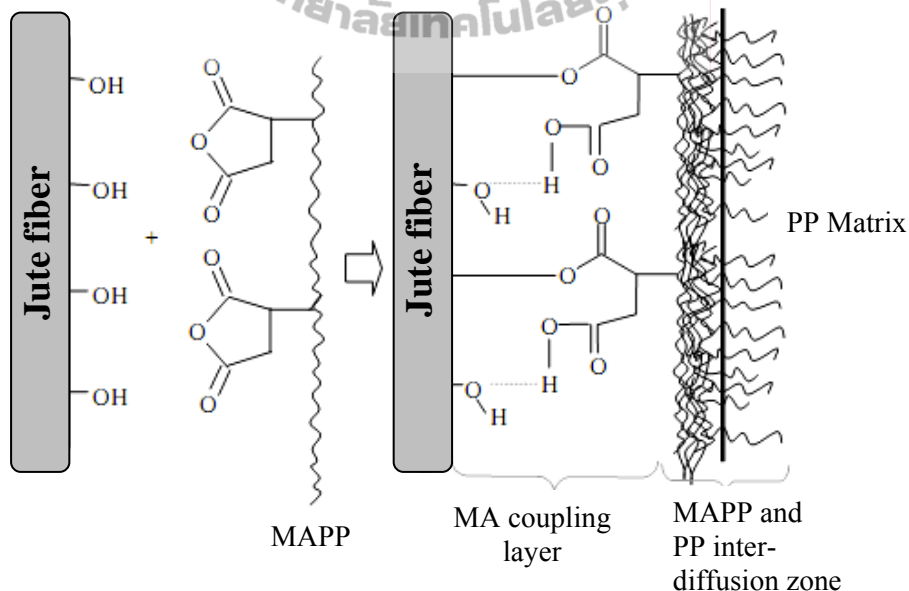
4.2.3.1 สมบัติการทนต่อแรงดึง

ค่าการทนต่อแรงดึง มอดุลัสของยังก์ และเปอร์เซ็นต์การยืดของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซที่ ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.6 พอลิโพรพิลีนไม่แตกหักภายใต้สภาวะการทดสอบนี้ การใส่เส้นใยลงในพอลิโพรพิลีนทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงและมอดุลัสของยังก์เพิ่มขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์การ ยืดลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.23-4.25 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าค่าการทนต่อแรงดึงและมอดุลัส ของยังก์ของเส้นใยป่านศรนารายณ์สูงกว่าของพอลิโพรพิลีน [Joseph, Joseph และ Thomas, 1999; Wambua, Iens และ Verpoest, 2003] Fung, Li และ Tjong (2002) พบว่าเมื่อเติมเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ลงในพอลิโพรพิลีน เปอร์เซ็นต์การยืดลดลงแต่ค่าการทนต่อแรงดึงและมอดุลัสของยังก์ เพิ่มขึ้น

การตัดแปรทางความร้อนไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการทนต่อแรงดึง มอดุลัสของ ยังก์ และเปอร์เซ็นต์การยืดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านศรนารายณ์ อย่างไรก็ตามสมบัติการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และ

พอลิโพรพิลีนที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนสูงกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องมาจากการตัดแปรทางความร้อนทำให้เกิดการกำจัดบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสและสิ่งสกปรกที่ผิวของเส้นใย ซึ่งส่งผลต่อการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีนให้ดีขึ้น Robin และ Breton (2001) พบเช่นกันว่าสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงสูงกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ผงไม้ที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากมีความเข้ากันได้มากกว่าระหว่างผงไม้และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

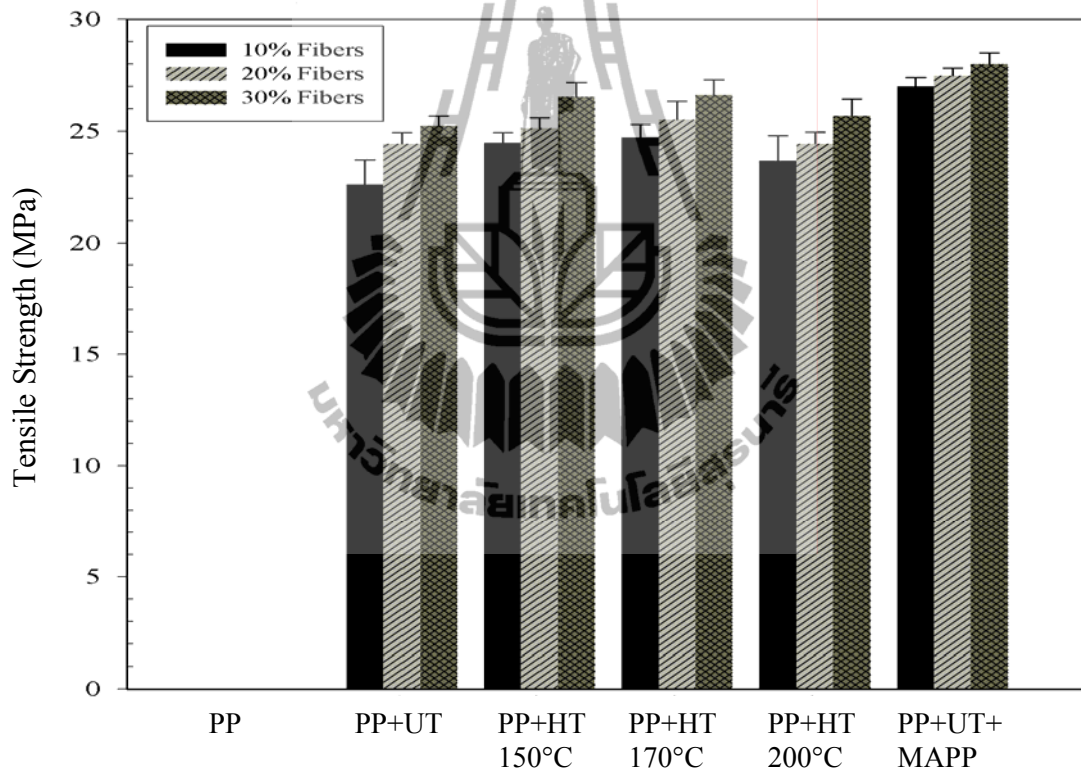
ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน (MAPP) ในพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนดังแสดงในรูปที่ 4.23 ที่เป็นเช่นนี้เพราะสารช่วยให้เข้ากันปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีขั้วและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีขั้วผ่านทาง การเชื่อมโยงระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ของเส้นใยและหมู่คาร์บอนิล (C=O) ของสารช่วยให้เข้ากัน [Rana และคณะ, 1998] รูปที่ 4.22 แสดงแบบจำลองของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ของเส้นใยและ MAPP ที่อินเทอร์เฟซ โดยมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันและสายโซ่พอลิโพรพิลีนของ MAPP แพร่กระจายเข้าไปในพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์เพื่อเกิดการเกี่ยวพันกัน (entanglement) [Doan และคณะ, 2006] อย่างไรก็ตามการเติม MAPP ไม่ทำให้มอดูลัสของยั้งก์ และเปอร์เซ็นต์การยึดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ



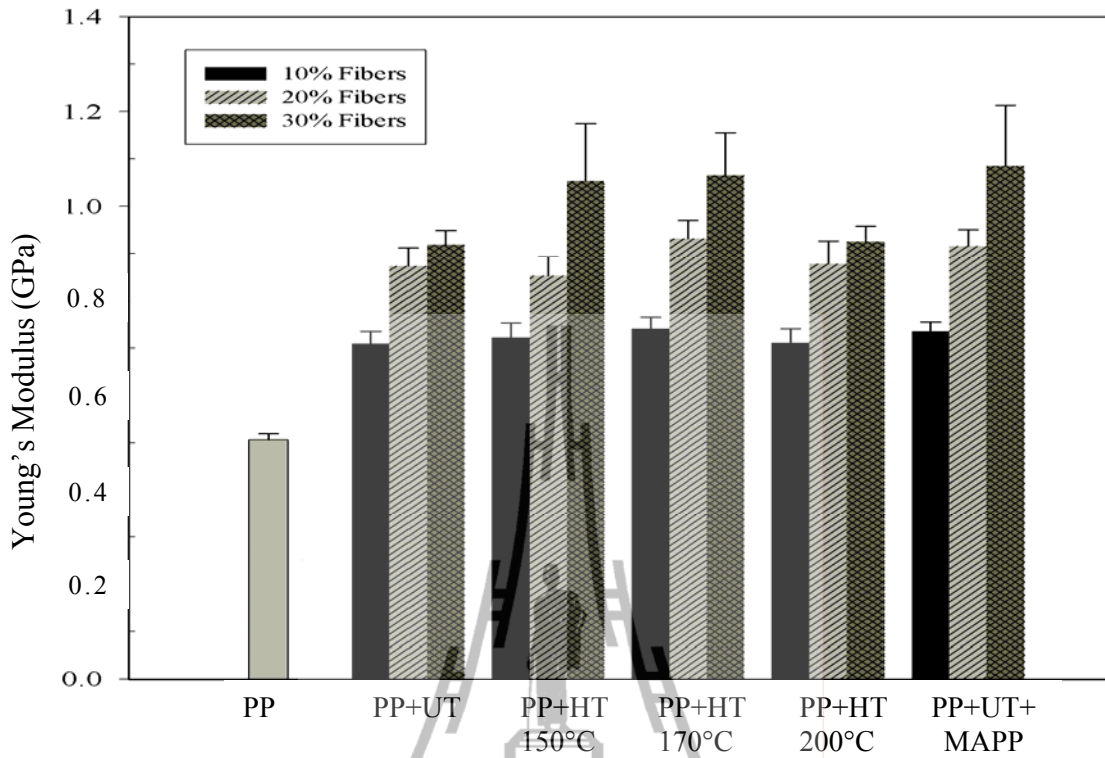
รูปที่ 4.22 แบบจำลองของอินเทอร์เฟซระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPP) และเส้นใยปอกระเจา (jute fiber) [Doan, Gao และ Madar, 2006]

ค่าการทนต่อแรงดึงและมอดุลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรณารายณ์และพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์การยึดลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.23-4.25 ตามลำดับ Joseph, Thomas และ Pavithran (1996) พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นค่า การทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรณารายณ์และพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นแต่ที่เปอร์เซ็นต์การยึดลดลง

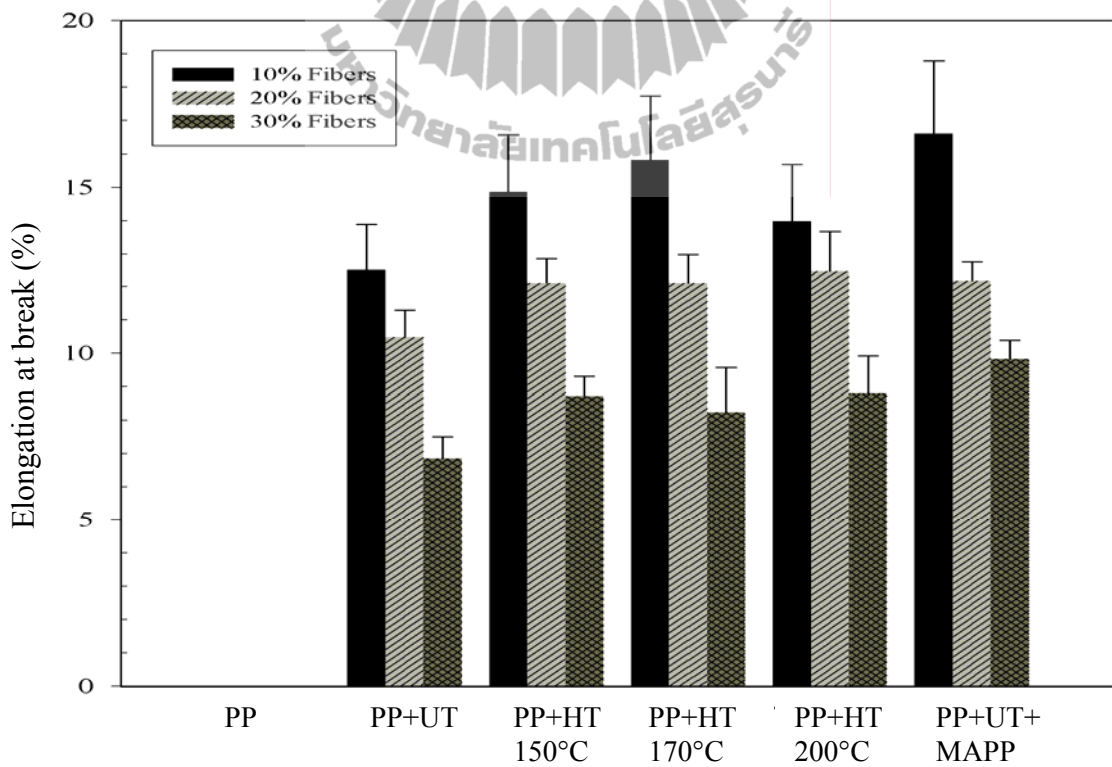
จากสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรณารายณ์และพอลิโพรพิลีน MAPP ให้ประสิทธิภาพในการปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยปานสรณารายณ์และพอลิโพรพิลีนสูงกว่าการตัดแปรทางความร้อน



รูปที่ 4.23 ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรณารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ



รูปที่ 4.24 มอดุลัสของแข็งของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ



รูปที่ 4.25 เปอร์เซนต์การยืดของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

ตารางที่ 4.6 ค่าการทนต่อแรงดึง มอดุลัสของยังก์ และเปอร์เซ็นต์การยืดของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างเส้นใยปานศรณารายฉฉและพอลิโพรพิลีน
ที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

Materials	Tensile strength (MPa)			Young's modulus (GPa)			Elongation at break (%)		
	Fiber content			Fiber content			Fiber content		
	10 wt%	20 wt%	30 wt%	10 wt%	20 wt%	30 wt%	10 wt%	20 wt%	30 wt%
PP	NB			0.51±0.01			NB		
PP+UT	22.62±1.09	24.44±0.49	25.23±0.45	0.70±0.02	0.87±0.03	0.91±0.03	12.50±1.39	10.48±0.81	6.85±0.65
PP+HT 150°C	24.48±0.46	25.14±0.45	26.54±0.64	0.72±0.03	0.85±0.04	1.05±0.12	14.87±1.70	12.11±0.76	8.72±0.59
PP+HT 170°C	24.71±0.59	25.51±0.83	26.61±0.68	0.74±0.02	0.93±0.03	1.06±0.08	15.82±1.91	12.10±0.89	8.24±1.33
PP+HT 200°C	23.67±1.13	24.43±0.52	25.67±0.77	0.71±0.02	0.87±0.04	0.92±0.03	13.98±1.71	12.46±1.22	8.80±1.12
PP+UT+MAPP	26.99±0.40	27.48±0.33	28.00±0.50	0.73±0.01	0.91±0.03	1.30±0.12	16.60±2.19	12.17±0.58	8.82±0.57

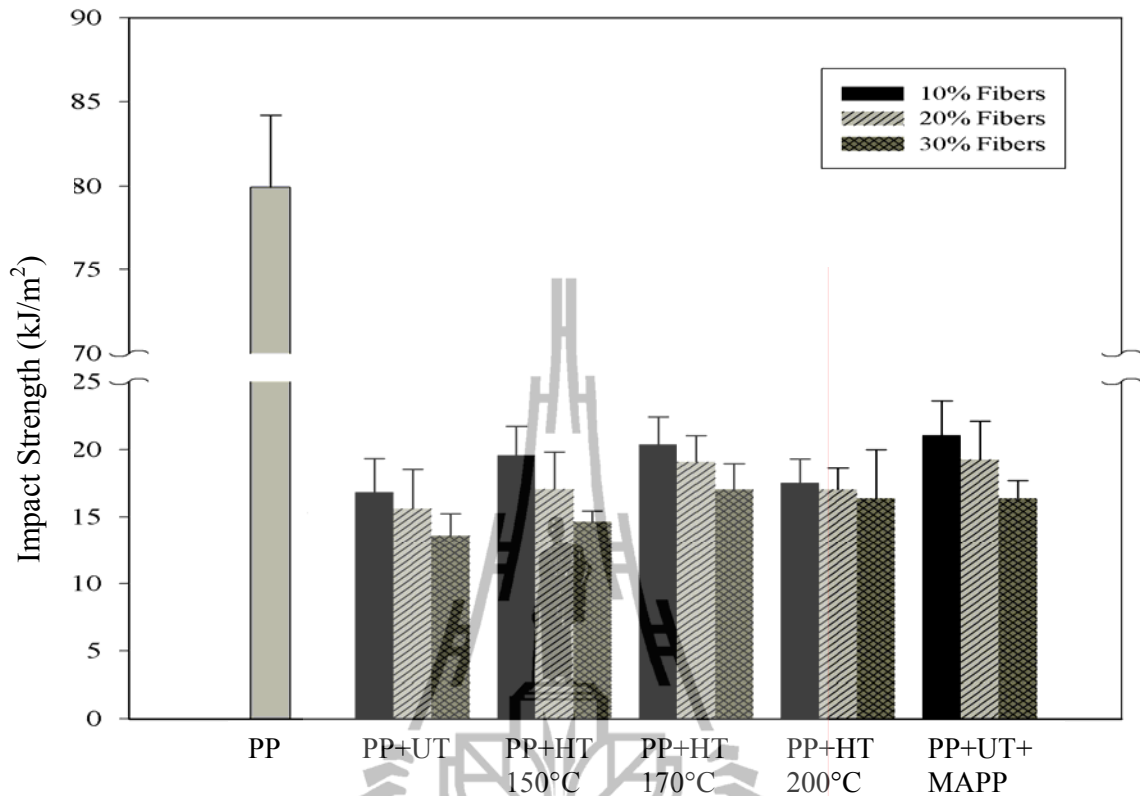
Note: NB = not broken

4.2.3.2 สมบัติการทนต่อแรงกระแทก

ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ปานศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่การปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ แสดงในตาราง ที่ 4.7 ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนลดลงเมื่อเติมเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 4.26 เนื่องจาก มีบริเวณอินเทอร์เฟสที่มีความเข้มแรงเค้น (stress concentration) เกิดขึ้นมาก ค่าการทนต่อแรง กระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและ พอลิโพรพิลีนสูงกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปรเพราะว่ามีการหลุด ออกของบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสและองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ผิวเส้นใยระหว่าง กระบวนการตัดแปรทางความร้อน [Kaewkuk, Sutapun และ Jarukumjorn, 2009] ส่งผลให้เส้นใยที่ ผ่านการตัดแปรทางความร้อนมีผิวขรุขระทำให้เกิดการยึดติดทางกล (mechanical interlocking) กับ พอลิโพรพิลีนได้ ส่งผลให้มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยปานศรนารายณ์และพอลิโพร พิลีน เส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิต่างกันไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการทนต่อแรง กระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต

พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการปรับปรุงอินเทอร์เฟสด้วย MAPP ให้ค่าการทนต่อแรง กระแทกสูงกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยปานศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรเพราะว่าการยึด ติดที่อินเทอร์เฟสระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีนดีขึ้น [Rana และคณะ, 1998] ยิ่งกว่านั้น MAPP ยังให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าการทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าการตัดแปรทางความร้อน

ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น การ มีปริมาณเส้นใยมากขึ้นจะเพิ่มโอกาสการเกิดการรวมกลุ่มกันของเส้นใย และก่อให้เกิดช่องว่าง ภายในพอลิเมอร์คอมโพสิต Karnani, Krishnan และ Naryan (1997) และ Sanadi และคณะ (1995) พบว่าค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างปอควิบา (kenaf) และพอลิโพรพิ ลีนลดลงเมื่อปริมาณปอควิบาเพิ่มขึ้นเป็นเพราะมีการเพิ่มขึ้นของช่องว่างภายในพอลิเมอร์คอมโพสิต และเกิดการเริ่มต้นแตกร้าว (crack) ซึ่งนำไปสู่การเสียหาย (failure) ของพอลิเมอร์คอมโพสิต



รูปที่ 4.26 ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่าน ฝักรายฉัณและพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

ตารางที่ 4.7 ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใย ป่านฝักรายฉัณและพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

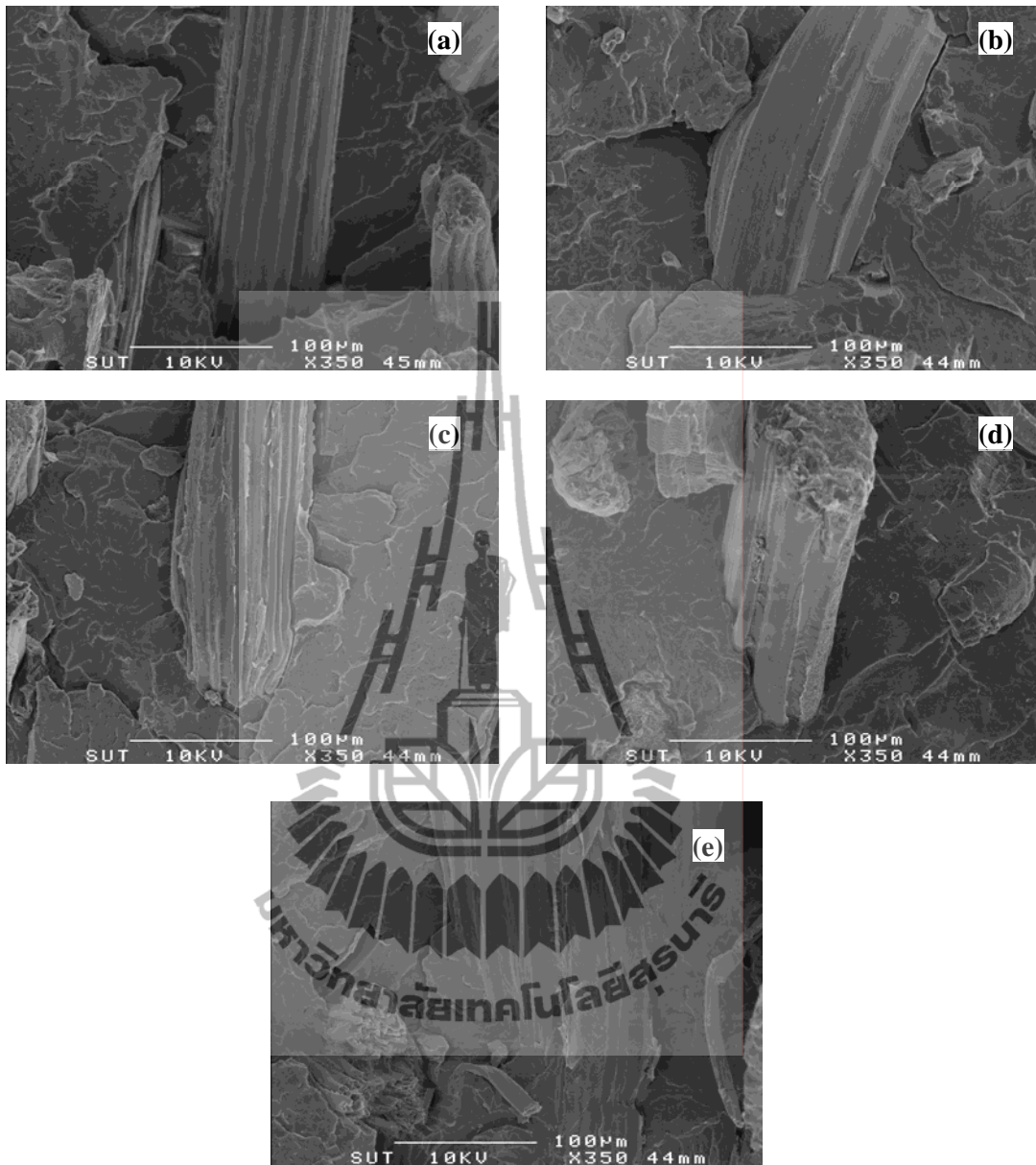
Materials	Impact strength (kJ/m ²)		
	Fiber content		
	10 wt%	20 wt%	30 wt%
PP	79.92±4.25		
PP+UT	16.83±2.50	15.63±2.90	13.62±1.60
PP+HT 150°C	19.57±2.13	17.08±2.72	14.64±0.80
PP+HT 170°C	20.38±2.02	19.10±1.91	16.02±1.93
PP+HT 200°C	17.52±1.77	17.03±1.60	16.37±3.62
PP+UT+MAPP	21.07±2.48	19.27±2.84	14.98±1.34

4.2.4 สมบัติทางสัญญาณวิทยา

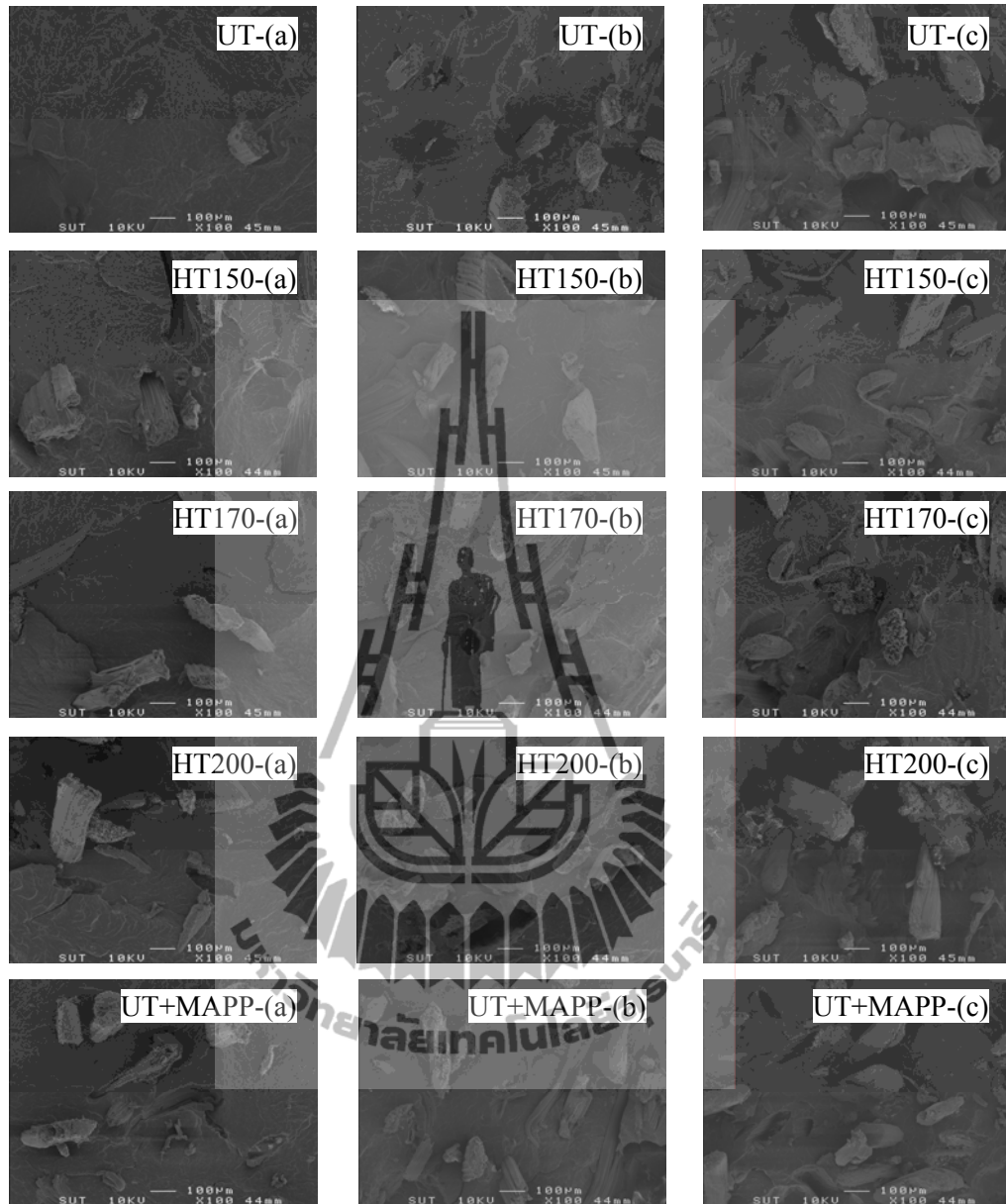
ลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนแสดงในรูปที่ 4.27 พื้นผิวแตกหักของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยที่ไม่ผ่านการตัดแปรและพอลิโพรพิลีนแสดงในรูปที่ 4.27 (a) พบว่ามีช่องว่างระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีน การปรับปรุงอินเทอร์เฟสทำให้การยึดติดที่อินเทอร์เฟสระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีนดีขึ้น ทำให้ช่องว่างระหว่างผิวเส้นใยและพอลิโพรพิลีนลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.27 (b-e) อย่างไรก็ตามจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดไม่สามารถบอกความแตกต่างของการยึดติดที่อินเทอร์เฟสระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้การปรับปรุงอินเทอร์เฟสด้วยการตัดแปรทางความร้อนและการเติมสารช่วยให้เข้ากัน

การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยส่งผลต่อการรวมกลุ่มกันของเส้นใยมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.28 ทำให้ค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตลดลง วิธีการปรับปรุงอินเทอร์เฟสที่ต่างกัน ไม่มีผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อการกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์คอมโพสิต





รูปที่ 4.27 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปาน สรณรายณ์และพอลิโพรพิลีน UT/PP (a), HT150°C/PP (b), HT170°C/PP (c), HT200°C/PP (d) และ UT/PP/MAPP (e) ที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



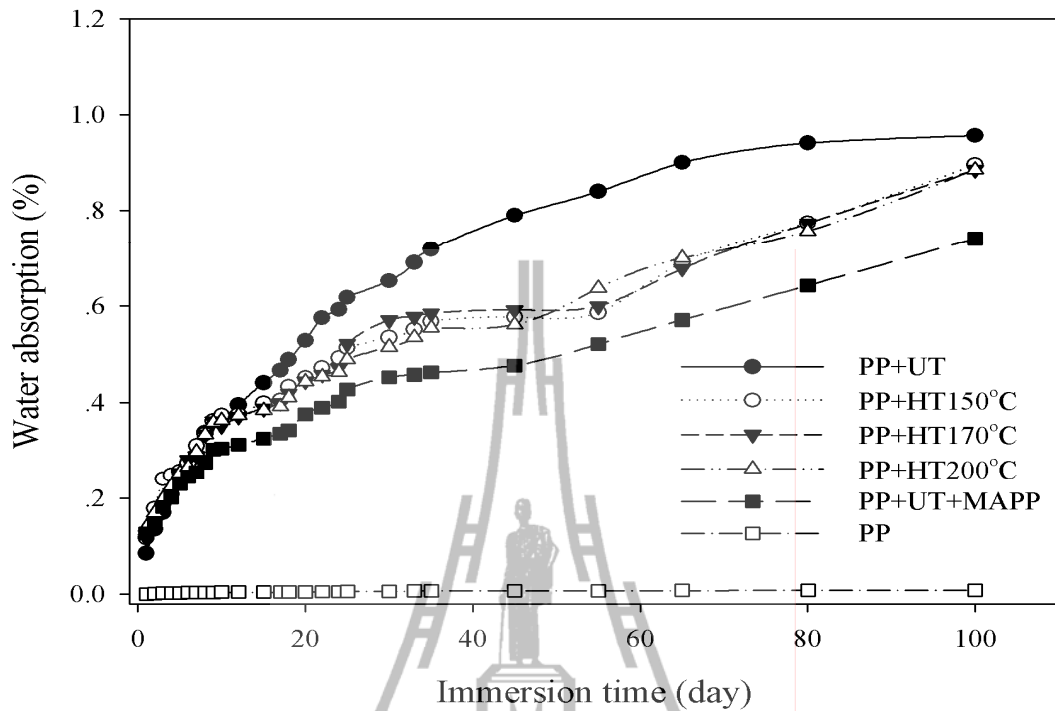
รูปที่ 4.28 ลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปาน
 ทรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสและปริมาณเส้นใยต่าง ๆ
 คือ (a) 10 (b) 20 และ (c) 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.2.5 สมบัติการดูดน้ำ

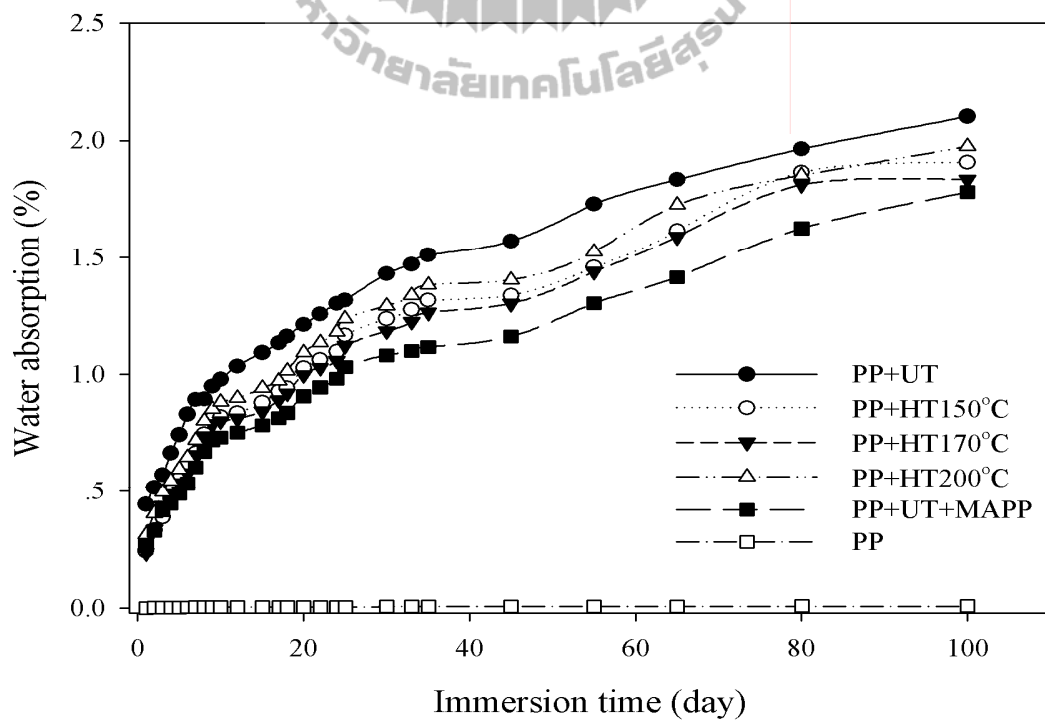
รูปที่ 4.29-4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำและเวลาที่แช่น้ำของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนสูงกว่าของพอลิโพรพิลีน เพราะว่าเส้นใยปานสรนารายณ์มีความชอบน้ำ ทำให้การดูดซับน้ำและความชื้นของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนสูงกว่าของพอลิโพรพิลีน การปรับปรุงอินเทอร์เฟสโดยการตัดแปรทางความร้อนและการเติมสารช่วยให้เข้ากันส่งผลให้การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนลดลง

การลดลงของการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและพอลิโพรพิลีนมาจากการลดลงของความชอบน้ำ (hydrophilicity) ของเส้นใยปานสรนารายณ์โดยการตัดแปรทางความร้อน [Follrich, Müller และ Gindl, 2006] Akinori, Kiichi และ Hikaru (1984) ศึกษาผลของการตัดแปรทางความร้อนต่อการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างผงไม้และฟีนอลิก (phenolics) การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ผงไม้ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนต่ำกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ผงไม้ที่ไม่ผ่านการตัดแปรเพราะว่าความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ของผงไม้เพิ่มขึ้นโดยการตัดแปรทางความร้อน อุณหภูมิการตัดแปรไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและพอลิโพรพิลีน

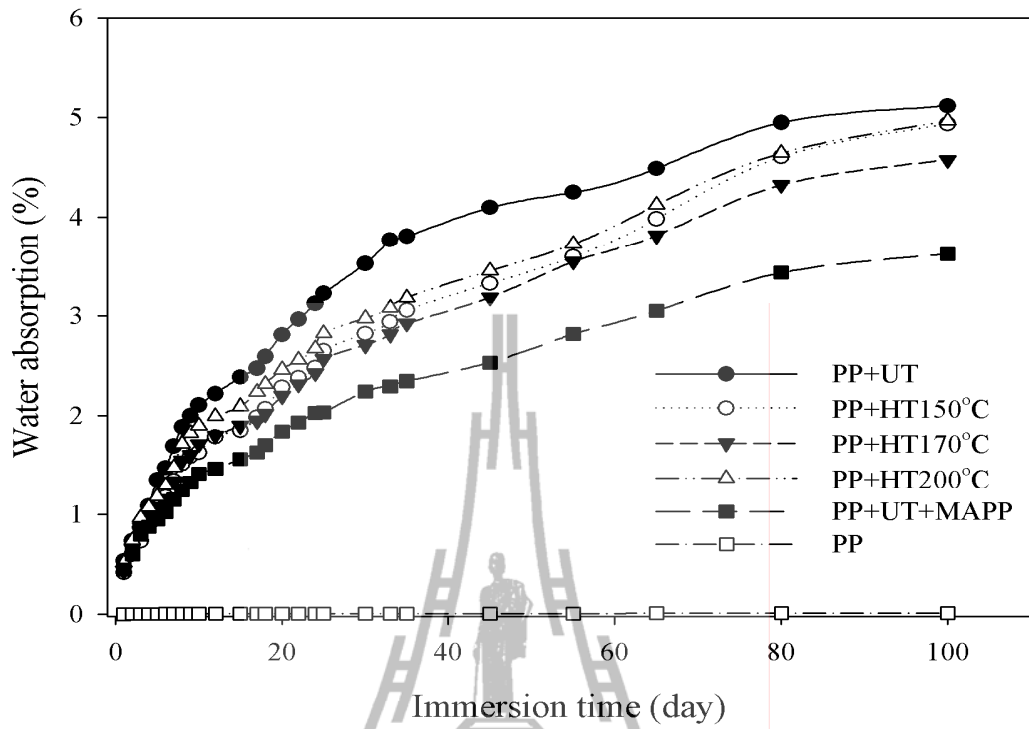
การเติม MAPP ลงในพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนทำให้การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตลดลง เพราะว่าเกิดการปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟสระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ซึ่งลดการมารวมตัวกันของน้ำที่บริเวณที่อินเทอร์เฟส [Thwe และ Liao, 2003] Yang และคณะ (2006) รายงานว่า หมู่คาร์บอนิล (C=O) ของ MAPP ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ของเส้นใยทำให้มีการยึดติดที่อินเทอร์เฟสที่แข็งแรงระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์เป็นเหตุให้ลดการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ในบรรดาการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟส การใช้ MAPP ส่งผลให้การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนต่ำที่สุด การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยทำให้การดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปานสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.29 การดูดน้ำของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพลีระหว่างเส้นใยปานครนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟส ที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.30 การดูดน้ำของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพลีระหว่างเส้นใยปานครนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟส ที่ปริมาณเส้นใย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.31 การดูดน้ำของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมพอลิทีระหว่างเส้นใยปานครนารายณ์ และพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟส ที่ปริมาณเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัญญาณวิทยาของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนพบว่า ค่าการทนต่อแรงดึงของเส้นใยป่านสรนารายณ์เพิ่มขึ้น ที่การตัดแปรที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการทนแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการตัดแปรที่เวลาการตัดแปรต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่การตัดแปรทางความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสค่าการทนต่อแรงดึงมากที่สุดได้มาเมื่อเวลาในการตัดแปรเท่ากับ 5 นาที นอกจากนี้การตัดแปรทางความร้อนยังสามารถกำจัดองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จีฟิ่ง และบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งมีความเสถียรต่อความร้อนต่ำออกจากผิวของเส้นใยได้ ส่งผลให้เพิ่มความเสถียรต่อความร้อนของเส้นใยได้ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและเวลาในการตัดแปรส่งผลให้ความเสถียรต่อความร้อนของเส้นใยป่านสรนารายณ์สูงขึ้น ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นแล้วว่าพื้นผิวของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนมีความขรุขระมากกว่าพื้นผิวของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปร

การเติมเส้นใยป่านสรนารายณ์ลงในพอลิโพรพิลีนทำให้อุณหภูมิการตกผลึกของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพรพิลีนลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย อุณหภูมิการตกผลึกและเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลสของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและพอลิโพรพิลีน และของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนที่มีการเติม MAPP สูงกว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลสของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและพอลิโพรพิลีน เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเซลลูโลสของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนลดลง ขณะที่อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ การตัดแปรทางความร้อนและการเติมสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนืดและอุณหภูมิการบีดงของพอลิเมอร์คอมโพสิต นอกจากนี้ ปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนืด อุณหภูมิการบีดงและการดูดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิต

การเติมเส้นใยป่านสรนารายณ์ลงในพอลิโพรพิลีนทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงและมอดุลัสของยังก์ของพอลิโพรพิลีนให้สูงขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดและค่าการทนต่อแรงกระแทกลดลง การตัดแปรทางความร้อนของเส้นใยที่อุณหภูมิต่างกัน (150 170 และ 200 องศาเซลเซียส) ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการทนต่อแรงดึง มอดุลัสของยังก์ และเปอร์เซ็นต์การยืดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและพอลิโพรพิลีน อย่างไรก็ตามสมบัติทางแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรทางความร้อนและพอลิโพรพิลีนสูงกว่าของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรและพอลิโพรพิลีน สารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการทนต่อแรงดึงและค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน ค่าการทนต่อแรงดึงและโมดูลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตทุกระบบเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการทนต่อแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การยืดลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นแล้วว่า การปรับปรุงอินเทอร์เฟซช่วยส่งเสริมการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนให้ดีขึ้น การตัดแปรทางความร้อนและการเติมสารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อการลดลงของการคุดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีน โดยการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟซโดยใช้ MAPP ส่งผลให้การคุดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนต่ำที่สุด การคุดน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น



บรรณานุกรม

- Adriana, R. M., Maria, A. M., Odilon, R. R. F. da S., and Luiz, H. C. M. (2010). Studies on the thermal properties of sisal fiber and its constituents. Thermochim. Acta. 506: 14-19.
- Akinori, F., Kiichi, H., and Hikaru, H. (1984). Study on the improvement of curve two-stage phenolics performance. III. Relation between condition of heat treatment and properties of wood-flour-filled phenolics. J. Appl. Polym. Sci. 29: 2395-2404.
- Amash, A. and Zugenmaier, P. (2000). Morphology and properties of isotropic and oriented samples of cellulose fiber-polypropylene composites. Polymer. 41: 1589-1596.
- Ana, E., Francisco, V., and Sigbritt, K. (2004). Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. Comp. Part A. 35: 1267-1276.
- Araújo, J. R., Waldman, W. R., and De Paoli, M. A. (2008). Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fiber: coupling agent. Polym. Degrad. Stab. 93: 1770-1775.
- Arbelaiz, A., Fernandez, B., Cantero, G., Llano-Ponte, R., Valea, A., and Mondragon, I. (2005). Mechanical properties of flax fibre/polypropylene composites. Influence of fibre/matrix modification and glass fibre hybridization. Comp. Part A. 36: 1637-44.
- Arbelaiz, A., Fernandez, B., Ramos, J. A., and Mongrsgon, I. (2006). Thermal and crystallization studies of short flax fibre reinforced polypropylene matrix composites: Effect of treatments. Thermochim. Acta. 440: 111-121.
- Arbelaiz, A., Fernandez, B., Ramos, J. A., Retegi, A., Llano-Ponte, R., and Mongrsgon, I. (2005). Mechanical properties of short flax fiber bundle/polypropylene composites: Influence of matrix/fiber modification, fiber content, water uptake and recycling. Comp. Sci. Tech. 65: 1582-1592.
- Baltazar-y-Jimenez, A. and Bismarck, A. (2007). Wetting behaviour, moisture uptake and electrokinetic properties of lignocellulosic fibres. Cellulose 14: 115-127.
- Beg, M. D. H. and Pickering, K. L. (2008). Reprocessing of wood fibre reinforced polypropylene composites. Part I: Effects on physical and mechanical properties. Comp. Part A. 39: 1091-1100.
- Bisanda, E. T. N. and Ansell, M. P. (1992). Properties of sisal-CNSL composites. J. Mat. Sci. 27: 1690-700.

- Bledzki, A. K. and Gassan, J. (1999). Composite reinforced with cellulose fiber. Prog. Polym. Sci. 24: 221-274.
- Boonstra, M. J. and Tjeerdsma, B. (2006). Chemical analysis of heat treated softwood. Holz. Roh. Werkst. 64: 204-211.
- Bourmaud, A. and Baley, C. (2007). Investigations on the recycling of hemp and sisal fibre reinforced polypropylene composites. Polym. Degrad. Stab. 92: 1034-1045.
- Caulfield, D. F., Feng, D., Prabawa, S., Young, R. A., and Sanadi, A. R. (1999). Interphase effects on the mechanical and physical aspects of natural fiber composites. Die Angew. Makromol. Chem. 272: 57-64.
- Chand, N., Sood, S., Singh, D. K., and Rohatgi, P. K. (1987). Structural and thermal studies on sisal fibre. J. Therm. Analys. 32: 595-599.
- Choobuatong, N., Meksut, L., and Koochontara, P. (2007). Effect of chemical compositions of biomass on pyrolysis and carbonization. In the 17th Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference (EFO42), Bangkok, Thailand.
- Demir, H., Atikler, V., Balköse, D., and Tihmimlioğlu, F. (2006). The effect of fiber surface treatment on the tensile and water sorption properties of polypropylene-luffa fiber composites. Comp. Part A. 37: 447-456.
- Derya, S. K., Süleyman, K., Ilter, B., Mehmet, B., Tuncer, D., and Nevzat, C. (2008). The effects of heat treatment on the physical properties and surface roughness of turkish hazel (*Corylus colurna* L.) wood. Int. J. Mol. Sci. 9: 1772-1783.
- Doan, T. T. L., Gao, S. L., and Madar, E. (2006). Jute/polypropylene composites I. Effect of matrix modification. Comp. Sci. Tech. 66: 952-963.
- Dwivedi, U.K. and Navin, C. (2009). Influence of MA-g-PP on abrasive wear behaviour of chopped sisal fibre reinforced polypropylene composites reinforced polypropylene composites. J. Mater. Process. Technol. 209: 5371-5375.
- Flavio de Andrade, S., Nikhilesh, C., and Romildo, D. T. F. (2008). Tensile behavior of high performance natural (sisal) fibers. Comp. Sci. Tech. 68: 3438-3443.
- Follrich, J., Müller, U., and Gindl, W. (2006). Effect of thermal modification on adhesion between spruce wood (*Picea abies* Karst) and a thermoplastic polymer. Holz. Roh. Werkst. 64: 373-376.

- Fung, K. L., Li, R. K. Y., and Tjong, S. C. (2002). Interface modification on the properties of sisal fiber-reinforced polypropylene composites. J. Appl. Polym. Sci. 85: 169-176.
- George, J., Janardhan, R., Bhagawan, S. S., and Thomas, S. (1996). Melt rheology behavior of short pineapple fiber reinforced low density polyethylene composites. Polymer 37: 5421-5431.
- Gildas, N. T., Mathieu, P., and Phillippe, G. (2007). Chemical reactivity of heat treated wood. Wood Sci. Tech. 41: 157-168.
- Gildas, N. T., Steeve, M., Stéphane, D., Mathieu, P., and Phillippe, G. (2007). Evidence of char formation during wood heat treatment by mild pyrolysis. Polym. Degrad. Stab. 92: 997-1002.
- Hakkou, M., Pétrissans, M., Zoulalian, A., and Gérardin, P. (2005). Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. Polym. Degrad. Stab. 89: 1-5.
- Hristov, V. N., Lach, R., and Grellmann, W. (2004). Impact fracture behavior of modified polypropylene/wood fiber composites. Polym. Test. 23: 581-589.
- Ichazo, M. N., Albano, C., Gonzáz, Perera, R., and Candal, M. V. (2001). Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties. Comp. Struc. 54: 207-214.
- Igor, M. De Rosa, Josè, M. K., Debora, P., Carlo, S., and Fabrizio, S. (2010). Morphological, thermal and mechanical characterization of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres as potential reinforcement in polymer composites. Comp. Sci. Tech. 70: 116-122.
- Joseph, K., Thomas, S., and Pavithran, C. (1996). Effect of chemical treatment on the tensile properties of short sisal fiber-reinforced polyethylene composites. Polymer. 37: 5139-5149.
- Joseph, P. V., Joseph, K., and Thomas, S. (1999). Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal-fiber-reinforced polypropylene composites. Comp. Sci. Tech. 59: 1625-1640.
- Joseph, P. V., Joseph, K., Thomas, S., Pillai, C. K. S., Prasad, V. S., Groeninckx, G., and Sarkissova, M. (2003). The thermal and crystallization studies of short sisal fibre reinforced polypropylene composites. Comp. Part A. 34: 253-266.

- Joseph, P. V., Rabello, M. S., Mottoso, L. H. C., Joseph, K., and Thomas, S., (2002). Environmental effect on the degradation behavior of sisal fiber reinforced polypropylene composites. Comp. Sci. Tech. 62: 1357-1372.
- Kaewkuk, S., Jarukumjorn, K., and Sutapun, W. (2009). Effect of fiber treatment on mechanical properties of sisal/polypropylene composites. In Proceedings of Pure and Applied Chemistry International Conference (pp 301-303), Phitsanulok, Thailand.
- Kaewkuk, S., Sutapun, W., and Jarukumjorn, K. (2009). Mechanical, thermal and morphological properties of heat treated sisal fibers. In Proceeding of the 11th Pacific Polymer Conference (p 51), Cairns, Australia.
- Kaewkuk, S., Sutapun, W., and Jarukumjorn, K. (2010). Effect of heat treated sisal fiber on physical properties of polypropylene composites. Adv. Mater. Res. 123-125: 1123-1126.
- Karnani, M., Krishnan, M., and Narayan, R. (1997). Biofiber-reinforced polypropylene composites. Polym. Eng. Sci. 37: 476-483.
- Katsuya, M., Tetsuya, I., and Satoru, T. (2008). Monitoring of hydroxyl group in wood during heat-treatment using NIR spectroscopy. Biomacromolecules. 9: 286-288.
- Kim, S. J., Moon, J. B., Kim, G. H., and Ha, C. S. (2008). Mechanical properties of polypropylene/natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber. Polym. Test. 27: 801-806.
- Lei, Y., Wu Q., Yao, F., and Xu, Y. (2007). Preparation and properties of recycled HDPE/natural fibre composites. Comp. Part A. 38: 1664-1674.
- Manchado, M. A., Biagiotti, J., Torre, L., and Kenny, J. M. (2000). Fracture surface of sisal fiber-reinforced PP composites. J. Thermoplast. Compos. Mater. 15: 337-353.
- Min, Z. R., Ming, Q. Z., Yuan, L., Gui, C. Y., and Han, M. Z. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. Comp. Sci. Tech. 61: 1437-1447.
- Mohammed, H., Mathieu, P., André, Z., and Philippe, G. (2005). Investigation of wood wettability change during heat treatment on the basis of chemical analysis. Polym. Degrad. Stab. 89: 1-5.
- Murherjee, P. S. and Satyanarayana, K. G. (1984). Structure and properties of some vegetable fibres, part 1. Sisal fiber. J. Mat. Sci. 19: 3925-3934.

- Pavlo, B. and Peter, N. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. Holzforschung, 57: 539-546.
- Quillin, D. T., Yin, M., Koutsky, J. A., and Caulfield, D. F. (1994). Crystallinity in the polypropylene/cellulose system. II crystallization kinetics. J. Appl. Polym. Sci. 52: 605-615.
- Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W., and Thomthong, W. (2007). Vetiver-polypropylene composites: Physical and mechanical properties. Comp. Part A, 38: 590-601.
- Rana, A. K., Mandal, A., Mitra, B. C., Jacobson, R., Rowell, R., and Banerjee, A. N. (1998). Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: Effect of compatibilizer. J. Appl. Polym. Sci. 69: 329-338.
- Rezayati Charani, P., Mohammadi Rovshandeh, J., Mohebbi, B., and Ramezani, O. (2007). Influence of hydrothermal treatment on the dimensional stability of beech wood. Caspian J. Env. Sci. 5: 125-131.
- Robin, J. J. and Breton, Y. (2001). Reinforcement of recycled polyethylene with wood fiber heat treated. J. Rein. Plas. Comp. 20: 1253-1262.
- Saheb, D. N. and Jog, J. P. (1999). Natural fiber polymer composites: A review. Adv. Polym. Tech. 18: 351-363.
- Saikia, D. (2008). Investigations on structural characteristics, thermal stability, and hygroscopicity of sisal fibers at elevated temperatures. Int. J. Thermophys. 29: 2215-2225.
- Sanida, A. R., Caulfield, D. F., Jacobson, R. E., and Rowell, R. M. (1995). Renewable agricultural fibers as reinforcing fillers in plastic: mechanical properties of kenaf fiber polypropylene composites. Amer. Chem. Socie. 74: 1889-1896.
- Schemenauer, J. J., Osswald, T. A., Sanadi, A. R., and Caulfield, D. F. (2000). Melt rheological properties of natural fiber-reinforced polypropylene. In the ANTEC 2000 Society of Plastic Engineers Conference 2206-2210, Florida, USA.
- Shinji, O. (2006). Development of high strength biodegradable composites using manila hemp fiber and starch-based biodegradable resin. Comp. Part A, 37: 1879-1883.
- Sibel, Y., Engin, D. G., and Umit, C. Y. (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. Build. Envir. 41: 1762-1766.

- Sydenstriker, T. H. D., Mochnaz, S., and Amico, S. C. (2003). Pull-out and other evaluation in sisal-reinforced polyester biocomposites. Polym. Test. 22: 375-380.
- Tatsuko, H. and Hyoe, H. (2004). Thermal properties of green polymers and biocomposites. Norwell: Kluwer Academic Publishers.
- Thi-Thu-Loan, D., Hanna, B, and Edith, M. (2007). Jute fibre/polypropylene composites II. Thermal, hydrothermal and dynamic mechanical behaviour. Comp. Sci. Tech. 67: 2707-2714.
- Thwe, M. M. and Liao, K. (2003). Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. Comp. Sci. Tech. 63: 375-387.
- Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P., and Millitz, H. (1998). Characterization of thermally modified wood: molecular reason for wood performance improvement. Holz. Roh. Werkst. 56: 149-153.
- Wambua, P., Iens, J., and Verpoest, I. (2003). Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics. Comp. Sci. Tech. 63: 1259-1264.
- Weiland, J. J. and Guyonnet, R. (2003). Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIF spectroscopy. Holz. Roh. Werkst. 61: 216-220.
- Wielage, B., Lampke, Th., Marx, G., Nestler, K., and Stake, D. (1999). Thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis of natural fiber and polypropylene. Thermochim. Acta. 337: 169-177.
- Wilson, P.I. (1971). Sisal, vol. II. In Hard fibres research series, no. 8. Rome: FAO.
- Yan, L., Yiu-Wing, M., and Lin, Y. (2000). Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. Comp. Sci. Tech. 60: 2037-2055.
- Yang, H. S., Kim, H. J., Park, H. J., Lee, B. J., and Hwang, T. S. (2006). Water absorption behaviour and mechanical properties of lignocellulosic filler-polyolefin biocomposites. Comp. Struc. 72: 429-437.
- Yang, G. C., Zeng, H. M., and Zhang, W. B. (1995). Thermal treatment and thermal behaviour of sisal fibre. Cell. Sci. Tech. 3: 15-19.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

นางสาว กษมา จารุกำจร ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000 การศึกษา พ.ศ. 2533 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2536 วิทยาศาตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล และ พ.ศ. 2542 Ph.D. (Polymer Engineering) University of Akron, OH, USA สาขาวิชาการที่มีความสนใจ กระบวนการขึ้นรูปและตรวจสอบพอลิเมอร์ (polymer processing and characterization) และพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต (polymer blend and composites)

ผู้ร่วมวิจัย

นางวิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000 จบการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขา Macromolecular Science จากมหาวิทยาลัย Case Western Reserve จากประเทศสหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Composites Interface/Interphase และ Spectroscopy of Polymer