



รายงานการวิจัย

การศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสต่อสมบัติของพอลิเมอร์
คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านครนารายณ์กับพอลิโพรพิลีน
(The Study of the Interfacial Modification on the Properties of
Polypropylene/Sisal Composites)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษมา จารุกำจร

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2548-2549

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ธันวาคม 2552

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนอินเทอร์เฟสต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีน เป็นโครงการย่อยในชุดโครงการ การผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2548-2549 ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นายธนารัตน์ ณะประทีปต์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทเคมีคอลอิน โนวชัน จำกัด (Chemical Innovation Co., Ltd.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ Fusabond[®] P MZ 190D และ Prof. K. Min สำหรับการอนุเคราะห์ Polybond[®] 1002

บทคัดย่อ

วัสดุคอมโพสิตของเส้นใยป่านศรนารายณ์และพอลิโพรพิลีนถูกเตรียมและวิเคราะห์สมบัติทางกล ความร้อน กระแสไฟฟ้า และสัญญาณวิทยา คอมโพสิตถูกเตรียมในเครื่องบดผสมภายในห้องงานทดสอบถูกขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีด ผลของชนิดของสารช่วยให้เข้ากัน คือ พอลิโพรพิลีนกราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮดราดและพอลิโพรพิลีนกราฟด้วยอะคริลิกแอซิด และปริมาณต่อสมบัติต่างๆ ถูกศึกษา นอกจากนี้อิทธิพลของปริมาณเส้นใยถูกวิเคราะห์ สารช่วยให้เข้ากันส่งผลในทางบวกต่อความทนต่อแรงดึงและความทนต่อแรงคดของคอมโพสิต โดยไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่ามอดูลัสของยังก์ มอดูลัสของการคด และค่าความทนต่อแรงกระแทก พอลิโพรพิลีนกราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮดราดส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลที่ดีกว่าพอลิโพรพิลีนกราฟด้วยอะคริลิกแอซิด เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใย ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงคด มอดูลัสของยังก์ และมอดูลัสของการคดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความทนต่อแรงกระแทกมีค่าลดลง การใส่เส้นใยลงในพอลิโพรพิลีนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนืด นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดเพิ่มขึ้นกับปริมาณเส้นใย แต่อย่างไรก็ตามสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลต่อความหนืดของคอมโพสิต จากการวิเคราะห์ด้วยดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง อิเล็กตรอน แคลอริเมทรี พบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิตกผลึก และเปอร์เซ็นต์ผลึกของพอลิโพรพิลีน เมื่อมีการใส่เส้นใย อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนในพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมสารช่วยให้เข้ากัน การใส่เส้นใยลงในพอลิโพรพิลีนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการบิดเบี้ยว นอกจากนี้สารช่วยให้เข้ากันปรับปรุงอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของคอมโพสิต ภาพถ่ายอิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงให้เห็นว่าสารช่วยให้เข้ากันเพิ่มการยึดติดระหว่างพื้นผิวของเส้นใยและพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์ และยังปรับปรุงการกระจายตัวของเส้นใย

Abstract

Composite materials based on sisal fiber and polypropylene (PP) were prepared and analyzed in terms of mechanical, thermal, rheological, and morphological properties. The composites were prepared in an internal mixer. The test specimens were molded using an injection molding machine. The effects of compatibilizer types: polypropylene grafted maleic anhydride (PP-g-MA) and polypropylene grafted acrylic acid (PP-g-AA) and contents on the properties were studied. In addition, the influence of fiber contents was investigated. The compatibilizers gave a positive impact on tensile strength and flexural strength of the composites without any significant effect on Young's modulus, flexural modulus, and impact strength. PP-g-MA provided superior improvement in mechanical properties compared to PP-g-AA. With increasing fiber contents, tensile strength, flexural strength, Young's modulus, and flexural modulus increased while impact strength decreased. Incorporation of fiber into PP resulted in an increase in melt viscosity. The melt viscosity was also found to increase with fiber loading. However, there was no effect of compatibilizers on melt viscosity of the composites. DSC measurements exhibited an increase in melting and crystallization temperature, and % crystallinity of PP with the addition of fibers. Decomposition temperature of PP increased with adding compatibilizers. Incorporating fibers into PP gave an increase in heat distortion temperature (HDT). Compatibilizers also improved the HDT of the composites. Scanning electron micrographs revealed that compatibilizers enhanced surface adhesion between the fiber surface and PP matrix and also improved the fiber dispersion.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 วัสดุและการทดลอง	
2.1 วัสดุ.....	4
2.2 การเตรียมเส้นใย	4
2.3 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต	5
2.4 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต	5
2.4.1 สมบัติทางความร้อน	5
2.4.2 สมบัติทางกระแสวิทยา.....	6
2.4.3 สมบัติทางกล	6
2.4.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	6
บทที่ 3 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
3.1 ผลของชนิดและปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพ สิตที่ปริมาณเส้นใยคงที่	7
3.1.1 สมบัติทางความร้อน	7
3.1.2 สมบัติทางกระแสวิทยา.....	14
3.1.3 สมบัติทางกล	16
3.1.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ผลของปริมาณเส้นใย และปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติของ	
พอลิเมอร์คอม โพลีท.....	24
3.2.1 สมบัติทางความร้อน.....	24
3.2.2 สมบัติทางกระแสวิทยา.....	28
3.2.3 สมบัติทางกล.....	31
3.2.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....	36
บทที่ 4 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย.....	38
ข้อเสนอแนะ.....	38
บรรณานุกรม.....	40
ประวัติผู้วิจัย.....	43

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิตกผลึก และปริมาณผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	10
3.2 อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใย และพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	13
3.3 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	14
3.4 ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	15
3.5 ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก และโมดูลัสของยั้งค์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	19
3.6 ความทนต่อแรงคัด และโมดูลัสของการคัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	21
3.7 อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิตกผลึก และปริมาณผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	24
3.8 อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใย และพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ	25
3.9 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิโพรพิลีน และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ...	28

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
3.10	ดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน และพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีน กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	29
3.11	ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก และมอดุลัสของยั้งค์ของพอลิโพรพิ ลีน และพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ	34
3.12	ความทนต่อแรงดัด และมอดุลัสของการดัดของพอลิโพรพิลีน และพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสาร ช่วยให้เข้ากันต่างๆ	36

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP- g-MA ต่างๆ กัน.....	8
3.2 อุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA ต่างๆ กัน.....	8
3.3 อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP- g-AA ต่างๆ กัน.....	9
3.4 อุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน.....	9
3.5 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA ต่างๆ กัน.....	11
3.6 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP- g-MA ต่างๆ กัน.....	11
3.7 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน.....	12
3.8 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน.....	12
3.9 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับ เส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากัน ชนิด PP-g-MA ต่างๆ กัน.....	15

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน	16
3.11 ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	17
3.12 มอดูลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	17
3.13 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	18
3.14 ความทนต่อแรงดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	20
3.15 มอดูลัสของการดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ	21
3.16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA (เลข 1) และ PP-g-AA (เลข 2) (a) 0phr, (b) 1phr, (c) 2phr, (d) 4phr, (e) 6phr, (f) 8phr, (g) 10phr ต่างๆ กัน.....	22
3.17 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	25
3.18 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	26
3.19 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	27
3.21 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	27
3.22 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	28
3.23 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับ เส้นใยป่านศรนารายณ์ 10, 20, และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	29
3.24 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับ เส้นใยป่านศรนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากัน ต่างๆ.....	30
3.25 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับ เส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากัน ต่างๆ.....	30
3.26 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับ เส้นใยป่านศรนารายณ์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากัน ต่างๆ.....	31
3.27 ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	32
3.28 มอดูลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	32
3.29 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้น ใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	33
3.30 ความทนต่อแรงดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง พอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	35
3.31 มอดูลัสของการดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใย และสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ.....	35

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.32	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนกับเส้นใยปานสรนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ....	36
3.33	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนกับเส้นใยปานสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ....	37
3.34	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอม โพลีโพรพิลีนกับเส้นใยปานสรนารายณ์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ....	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เส้นใยธรรมชาติจากพืชชนิดต่างๆ มีแนวโน้มที่ดีในการใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีข้อดีกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน ในแง่ที่เป็นวัสดุที่ปลูกทดแทนได้ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความแข็งแรงเฉพาะที่ยอมรับได้ ราคาถูก ความหนาแน่นต่ำ ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องมือในการขึ้นรูป [Bledzki and Gassan, 1999, Satyanarayana et al., 1990]

สมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเส้นใยธรรมชาติขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การกระจายตัว (dispersion) การยึดติดระหว่างพอลิเมอร์และเส้นใย (adhesion) การรวมตัวของเส้นใย (fiber agglomeration) การแตกหักของเส้นใย (fiber breakage) การจัดเรียงตัว (orientation) ปริมาณเส้นใย (fiber content) เป็นต้น เมื่อพิจารณากรณีการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ในการเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน ข้อจำกัดที่สำคัญคือ ความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่ต่ำ และการดูดความชื้นที่สูงซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดในเส้นใย ส่งผลต่อการลดลงของสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ประสิทธิภาพของคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยขึ้นกับอินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ (fiber-matrix interface) และความสามารถในการถ่ายโอนความเค้น (stress transfer) จากเมทริกซ์ไปยังเส้นใย ซึ่งประสิทธิภาพการถ่ายโอนความเค้นมีส่วนสำคัญต่อสมบัติทางกลของคอมโพสิตและยังมีผลต่อความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง [Karnani, Krishnan, and Narayan, 1997] ในหลายกรณีพบว่าเส้นใยธรรมชาติที่นำมาใช้ในการเสริมแรงมีประสิทธิภาพที่ไม่ดี เนื่องจากการมีการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่ต่ำ [Saheb and Jog, 1999] สมบัติของอินเทอร์เฟซขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น องค์ประกอบทางเคมี (หมู่ฟังก์ชัน) ลักษณะของโครงสร้างทางโมเลกุล (โซ่กิ่ง การกระจายของน้ำหนักโมเลกุล การเกิดร่างแห) และรายละเอียดของสภาวะทางกายภาพ (สูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิทรานสิชันแก้ว ปริมาณของผลึก) [Caulfield et al., 1999]

การปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ สามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนเส้นใยและ/หรือพอลิเมอร์โดยวิธีทางกายภาพหรือทางเคมี ซึ่งวิธีทางกายภาพ เช่น การทำโคโรนาทรีทเมนต์ (corona treatment) [Belgacem, Bataille, and Sapieha, 1994] การทำพลาสมาทรีทเมนต์ (plasma treatment) [Bledzki, Reihamane, and Gassen, 1996] การใช้ความร้อน (heat treatment) [Rong et al., 2001] ส่วนวิธีทางเคมีประกอบด้วยการทรีทเมนต์เส้นใยด้วยสารคู่ควบ

(coupling agents) เช่น ไฮเลน (silanes) [Abdelmouleh, Boifi, Belgacem, and Dufresne, 2007, Mohd ishak, Aminuliah, Ismail, and Rozman, 1989] การทำอัลคาไลเนชัน (alkalization) [Bisanda, 2000] การทำอะซิทิลเลชัน (acetylation) [Bledzki and Gassan, 1999] การทรีทเมนต์เส้นใยด้วยมาเลอิก แอนไฮไดรด์ (maleic anhydrides, MA) [Cantero, Arbelaiz, Ponte, and Mondragon, 2003] และการปรับเปลี่ยนเมทริกซ์ (matrix modification) ด้วยการกราฟต์ด้วยมอนอเมอร์ต่างๆ เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ [Kazayawoko, Balatinecz, and Woodhams, 1997, Nachtigall, Cerveira, and Rosa, 2007]

การใช้สารช่วยให้เข้ากัน (compatibilizer) ในการปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟส เป็นวิธีที่ใช้กันมาก และมีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าการใช้สารช่วยให้เข้ากันเพื่อปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟสระหว่างสารตัวเติมอินทรีย์ (organic fillers) และพอลิเมอร์เมทริกซ์ เช่น maleic anhydride-grafted polypropylene (PP-g-MA) และ polystyrene-block-polyethylene-co-1-butene (SEBS-g-MA) ซึ่ง PP-g-MA เป็นสารช่วยให้เข้ากันที่มีการใช้กันมากในคอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงไม้ ส่งผลต่อการปรับปรุงความแข็งแรงของคอมโพสิต [Dalvag, Klason, and Stromvall, 1995, Meyers et al., 1991] จากผลการวิจัยของ Oskman และ Clemons พบว่า PP-g-MA ซึ่งเป็นสารช่วยให้เข้ากันในคอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงไม้ ไม่ส่งผลต่อสมบัติการรับแรงกระแทก แต่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความทนต่อแรงดึง [Oskman and Clemons, 1998]

นอกจากนี้ มีการใช้ PP-g-MA เป็นสารช่วยให้เข้ากันในคอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยปอกระเจา (jute) พบว่าคอมโพสิตที่มีสมบัติทางกลดีขึ้นและการดูดน้ำ (water absorption) ลดลง [Rana et al., 1998] ในกรณีของคอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยปอควินา (kenaf) พบว่า การใช้ PP-g-MA ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกล [Caulfield et al., 1999, Kamani, Krishnan, and Narayan, 1997, Fang, Caulfield, and Sanadi, 2001] Xie และคณะ ศึกษาผลของสารช่วยให้เข้ากัน คือ maleated styrene-(ethylene-co-butylene)-styrene (MA-SEBS) ต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของคอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านศรนารายณ์ พบว่า MA-SEBS เป็นสารช่วยให้เข้ากันที่มีประสิทธิภาพ สมบัติทางกลของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารช่วยให้เข้ากันที่ใช้ นอกจากนี้สารช่วยให้เข้ากันยังส่งผลในการปรับปรุงความเสถียรต่อความร้อนของคอมโพสิต [Xie et al., 2002] Joseph และคณะ พบว่าการทรีทเมนต์พอลิโพรพิลีนด้วยมาเลอิก แอนไฮไดรด์ (maleic anhydride treatment) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นสมบัติการทนต่อแรงดึง (tensile properties) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ มากกว่าการทำการทรีทเมนต์ทางเคมี (chemical treatment) ของเส้นใยด้วยวิธีต่างๆ เช่น การทรีทเมนต์ด้วยด่าง (alkali treatment) การทรีทเมนต์ด้วยโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4 treatment) และการทรีทเมนต์ด้วยอนุพันธ์ของยูรีเทน (urethane derivatives treatment) [Joseph, Joseph, and Thomas, 2002] การที่ PP-g-MA ส่งผลต่อ

การปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยธรรมชาติ เนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาที่มีขั้วและพันธะโควาเลนต์ระหว่างหมู่มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (maleic anhydride group) กับหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy group) บนเส้นใยเซลลูโลส [Felix, Gatenholm, and Schreiber, 1993]

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเส้นใยป่านศรนารายณ์ชนิดสั้นมาใช้ในการเสริมแรงของพอลิโพรพิลีน แต่เนื่องจากการความไม่เข้ากันระหว่างพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีขั้วกับเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งมีขั้ว ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ไม่ดี การใช้สารช่วยให้เข้ากันได้จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงการเข้ากันได้ของทั้งสองส่วน โดยศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ และศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อให้ทราบผลของชนิดและปริมาณของสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติทางกล ความร้อน กระแสไฟฟ้า และสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์

- เพื่อให้ทราบผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติทางกล ความร้อน กระแสไฟฟ้า และสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- ศึกษาสมบัติทางกล ความร้อน กระแสไฟฟ้า และสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านศรนารายณ์

- ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางกล ความร้อน กระแสไฟฟ้า และสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใส่สารช่วยให้เข้ากันที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน และปริมาณต่างๆ

- ศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติทางกล ความร้อน กระแสไฟฟ้า และสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน

บทที่ 2

วัสดุและการทดลอง

2.1 วัสดุ

พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) เกรด 700J ของบริษัทไทยพอลิโพรพิลีน จำกัด เส้นใยป่านศรนารายณ์อยู่ในรูปของเส้นใยยาว มีความยาวประมาณ 1-1.5 เมตร ซึ่งซื้อจากกลุ่มแม่บ้านหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ต.บ้านเก่า อ.ด่านขุนทด จ. นครราชสีมา ตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยได้แก่ เมทานอล (methanol) และ เบนซีน (benzene) ในการทำอัลคาไลน์เซชัน (alkalization) ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สารช่วยให้เข้ากันที่ใช้ในการศึกษา คือ พอลิโพรพิลีนกราฟด้วยมาเลอิก แอนไฮไดรด์ (maleic anhydride grafted polypropylene, PP-g-MA, Fusabond[®] P MZ109D, DuPont) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกราฟ 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าดัชนีการไหล 120 กรัมต่อ 10 นาที (ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส และน้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม) และพอลิโพรพิลีนกราฟด้วยอะคริลิกแอซิด (acrylic acid grafted polypropylene, PP-g-AA, Polybond[®] 1002, Uniroyal Chemical) มีเปอร์เซ็นต์การกราฟ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าดัชนีการไหล 20 กรัมต่อ 10 นาที (ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส และน้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม)

2.2 การเตรียมเส้นใย

ขั้นตอนแรกของการเตรียมเส้นใยคือ การสกัดด้วยตัวทำละลายผสม ซึ่งจะเป็นการกำจัดองค์ประกอบพวกไขมัน (wax) และสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอื่นๆ โดยจะนำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาตัดให้ได้เส้นใยสั้นความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยคัดเอาเฉพาะส่วนโคนประมาณ 2 ใน 3 ของความยาวทั้งหมด ตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอลกับเบนซีน ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อเส้นใยคือ 10 ต่อ 1 (liquor ratio 10:1) ใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเส้นใยไปอบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน เพื่อกำจัดน้ำและตัวทำละลายที่อาจหลงเหลืออยู่

ขั้นตอนต่อมาคือ การทำอัลคาไลน์เซชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยจะทำที่อุณหภูมิห้อง เริ่มจากเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อเส้นใยคือ 10 ต่อ 1 (liquor ratio 10:1) โดยจะแช่เส้นใยเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำเปล่าให้ได้ค่า pH ประมาณ 7 เสร็จแล้วนำไปอบให้แห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน แล้วเก็บในโถสุญญากาศ

2.3 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ใช้คือ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณสารช่วยให้เข้ากันที่ 1, 2, 4, 6, 8, 10 ส่วนใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์คอมโพสิต การผสมระหว่างเส้นใยกับพอลิโพรพิลีนใช้เครื่องบดผสมภายใน (internal mixer, HAAKE Rheomix 3000p) ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้คือ 170 องศาเซลเซียส โดยผสมพอลิโพรพิลีนและสารช่วยให้เข้ากันก่อนประมาณ 5 นาที แล้วจึงใส่เส้นใยลงไป รวมเวลาในการผสมทั้งหมด 13 นาที หลังจากนั้นนำพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ไปบดและนำไปฉีดเป็นชิ้นทดสอบต่างๆ โดยเครื่องฉีด (Chuan Lih Fa, CLF- 80T)

ในกรณีการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิต ปริมาณเส้นใยที่ใช้ คือ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณสารช่วยให้เข้ากัน คือ PP-g-MA ที่ 1, 3 และ 5 ส่วนใน 100 ส่วนพอลิเมอร์คอมโพสิต ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตทำเช่นเดียวกับข้างต้น

2.4 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

2.4.1 สมบัติทางความร้อน

การทดสอบอุณหภูมิหลอมเหลว (melt temperature, T_m) อุณหภูมิตกผลึก (crystallization temperature, T_c) และปริมาณผลึก (% crystallinity, $\%X_c$) โดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC, Perkin Elmer รุ่น DSC 7) ในการทดสอบจะทำการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง (5-10 มิลลิกรัม) ที่อุณหภูมิ 25-180 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในสภาวะก๊าซไนโตรเจน จากนั้นทำการหล่อเย็นไปที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นทำการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจากอุณหภูมิ 25-180 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ปริมาณผลึก (% crystallinity) คำนวณได้จากความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 1

$$\% \text{crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0 w} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ ค่าความร้อนของการฟิวชัน (heat of fusion, ΔH_f) ของตัวอย่าง หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของการให้ความร้อนในครั้งที่สอง ΔH_f^0 คือ ความร้อนของการฟิวชันของพอลิโพรพิลีนที่เป็นผลึก 100 เปอร์เซ็นต์ (100% crystalline PP) มีค่า 209 จูลต่อกรัม [Arbelaz et al., 2005] และ w คือ สัดส่วนโดยน้ำหนัก (mass fraction) ของพอลิโพรพิลีนในพอลิเมอร์คอมโพสิต

การทดสอบหาค่าอุณหภูมิการเสื่อมสลาย (decomposition temperature) ของตัวอย่างนั้น นำพอลิเมอร์คอมโพสิตไปทดสอบด้วยเครื่อง Thermo-gravimetric Analyzer (TGA, TA Instrument รุ่น SDT 2960) โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง (10-20 มิลลิกรัม) ด้วยอัตราเร็ว 20 องศาต่อนาที ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 600 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน

การทดสอบค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยว (heat distortion temperature, HDT) ของชิ้นงานใช้เครื่องทดสอบอุณหภูมิการบิดเบี้ยวรุ่น HDV 1 Manual DTVL/VICAT ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่ 455 กิโลปาสกาล (kPa)

2.4.2 สมบัติทางกระแสวิทยา

การทดสอบค่าดัชนีการไหล (melt flow index) ทำที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องทดสอบ melt flow indexer (Kayeness, model 4004) เวลาในการหลอม 360 วินาที น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม

การทดสอบค่าความหนืด (viscosity) ที่อัตราเลื่อนต่างๆ จะทดสอบโดยเครื่อง capillary rheometer (Kayeness, model D5052m) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และค่าอัตราเลื่อนระหว่าง 10-1000 ต่อวินาที (1/sec)

2.4.3 สมบัติทางกล

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (tensile properties) ทำโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (Instron, model 5565) โดยใช้เซลล์วัดแรง (load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN) ความยาวของเกท (gauge length) 80 เซนติเมตร ความเร็วในการดึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดัด (flexural properties) แบบ 3 จุด (3 point bending) ซึ่งใช้เครื่อง Universal Testing Machine (Instron, model 5565) โดยค่าระยะกว้างระหว่างแท่งค้ำยัน (support span) เท่ากับ 56 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการกด 15 มิลลิเมตรต่อนาที ชิ้นงานที่ทดสอบเป็นชิ้นทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงนำมาตัดปลายทั้งสองข้างออกให้เหลือความยาวประมาณ 70 มิลลิเมตร

การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (unnotch izod impact strength) ใช้เครื่อง Basic Pendulum Impact Tester (Atlas, model BPI) โดยใช้น้ำหนัก (load) 2.7 จูล (J)

2.4.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (JEOL, model JSM6400) ที่ 10 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ (keV) การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ เตรียมโดยการนำชิ้นทดสอบไปแช่ในโครเจนเหลวแล้วหัก และนำพื้นผิวที่ได้จากการหัก (fracture surface) ไปเคลือบด้วยทอง ก่อนนำไปศึกษา

บทที่ 3

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้มีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาผลของสารช่วยให้เข้ากัน คือ PP-g-MA และ PP-g-AA และปริมาณสารช่วยให้เข้ากันที่ 1, 2, 4, 6, 8, 10 ส่วนใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์คอมโพสิต (phr) ต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกระแสวิทยา สมบัติทางกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน ที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกระแสวิทยา สมบัติทางกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน โดยมีการปรับปรุงความเข้ากันระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยด้วยสารช่วยให้เข้ากันที่ส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ที่ปริมาณ 1, 3, และ 5 ส่วนใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์คอมโพสิต

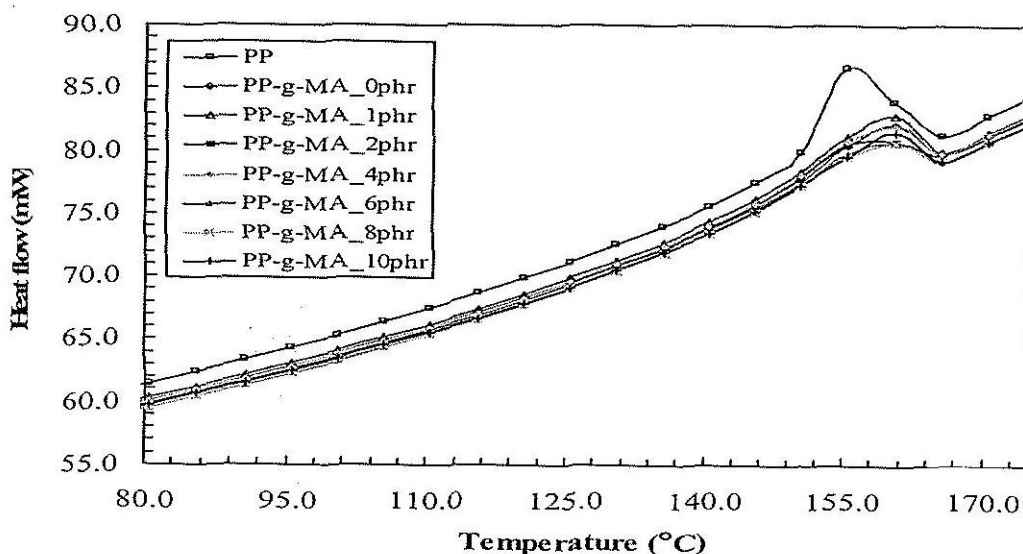
3.1 ผลของชนิดและปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ปริมาณเส้นใยคงที่

ในการศึกษาส่วนนี้ สารช่วยให้เข้ากันที่ใช้คือ PP-g-MA และ PP-g-AA ที่ปริมาณ 1, 2, 4, 6, 8, และ 10 ส่วนของ 100 ส่วนพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

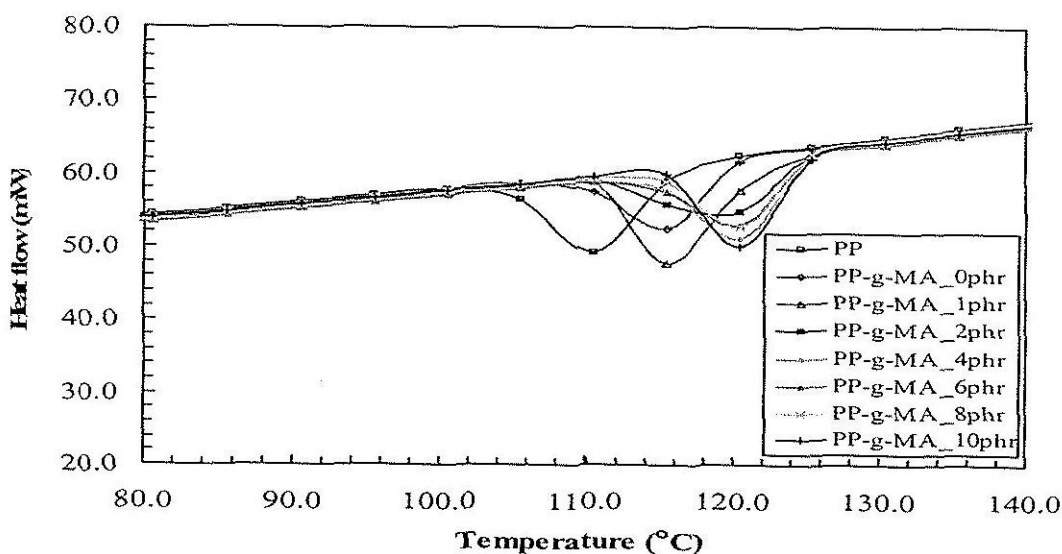
3.1.1 สมบัติทางความร้อน

จากรูปที่ 3.1-3.4 และตารางที่ 3.1 พบว่าเมื่อใส่เส้นใย อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากันทั้งสองชนิดในพอลิเมอร์คอมโพสิตจะเห็นว่าอุณหภูมิหลอมเหลวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ichazo และคณะ ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีน เมื่อมีการใส่ผงไม้และการทรีทเมนต์ผงไม้ด้วยไซเลนและการใส่ PP-g-MA [Ichazo et al., 2001] ส่วนอุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการใส่เส้นใย เนื่องจากเส้นใยทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดผลึก (nucleating agent) ในการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีน [Joseph et al., 2003, Amesh and Zugenmaier, 2000, Quillim et al., 1994] เมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากันทั้งสองชนิดพบว่าอุณหภูมิตกผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณสารช่วยให้เข้ากัน เนื่องจากการมีอันตรกิริยาที่เพิ่มขึ้นระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีน เมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน [Qui et al., 2003] และเมื่อมีการใส่เส้นใย พบว่าปริมาณผลึกมีค่าลดลง อาจเนื่องจากการใส่เส้นใยจะส่งผลต่อการขัดขวางการเกิดการเติบโตของผลึก การใส่สารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ

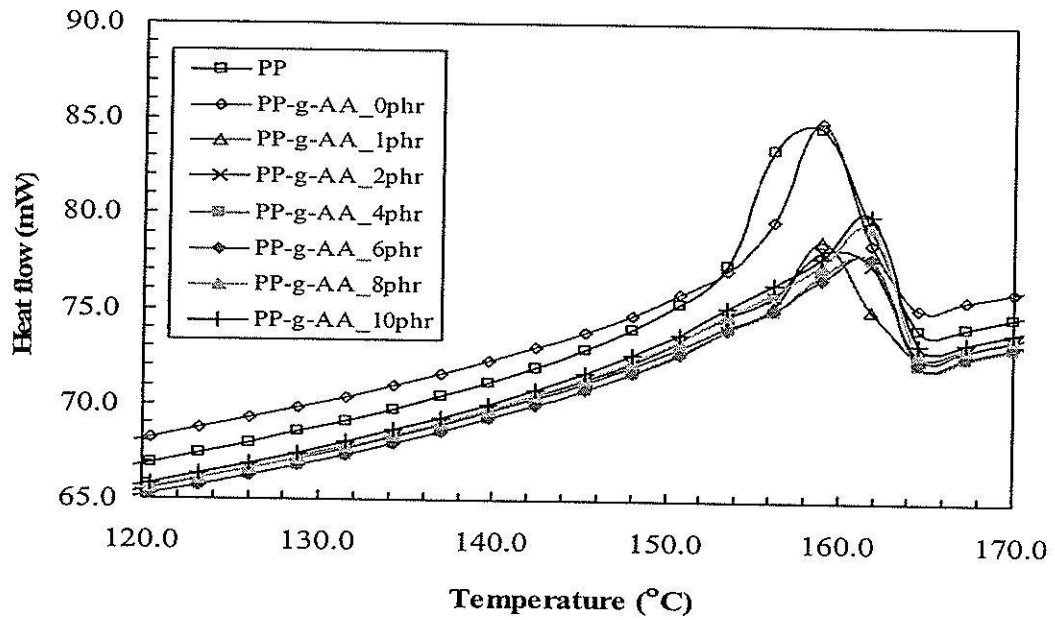
ปริมาณผลึก แต่เมื่อปริมาณสารช่วยให้เข้ากันเพิ่มขึ้น ปริมาณผลึกมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจากสารช่วยให้เข้ากันลดการเกิด *trancrystallinity* [Araujo et al., 2008] ซึ่งตรงกันข้ามกับผลการศึกษาของ Joseph และคณะ [Joseph et al., 2003] และ Qiu และคณะ [Qiu, Endo, and Hirotsu, 2006] ที่อุณหภูมิตกผลึกและปริมาณผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดผลึกของคอมพอสิต เนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเซลล์โลสและพอลิโพรพิลีน ส่วนกรณีของสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยให้เข้ากัน ปริมาณผลึกไม่เปลี่ยนแปลง



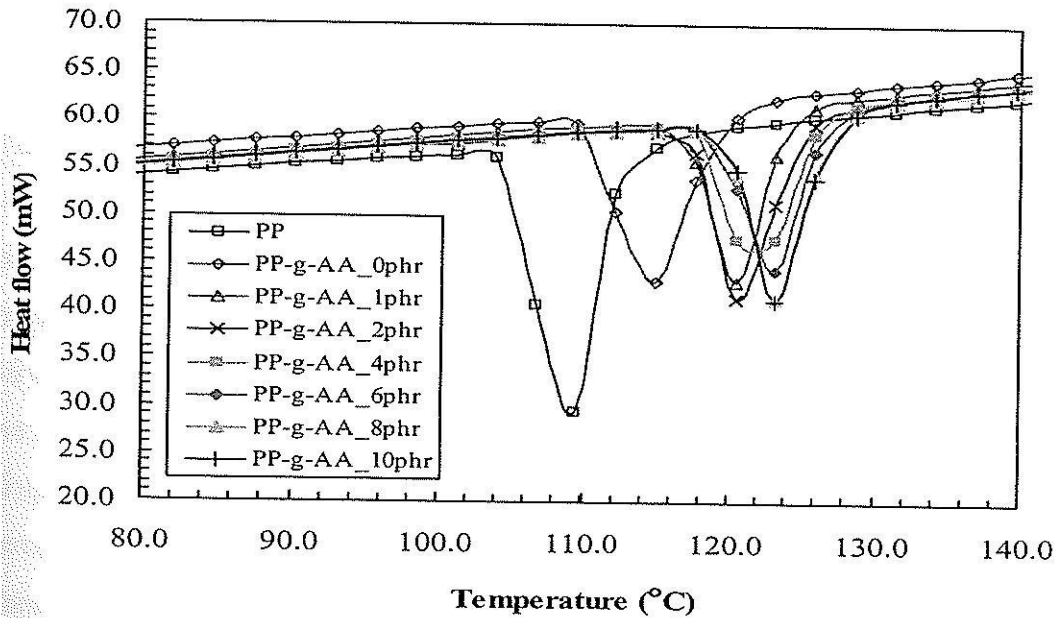
รูปที่ 3.1 อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA ต่างๆ กัน



รูปที่ 3.2 อุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA ต่างๆ กัน



รูปที่ 3.3 อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน

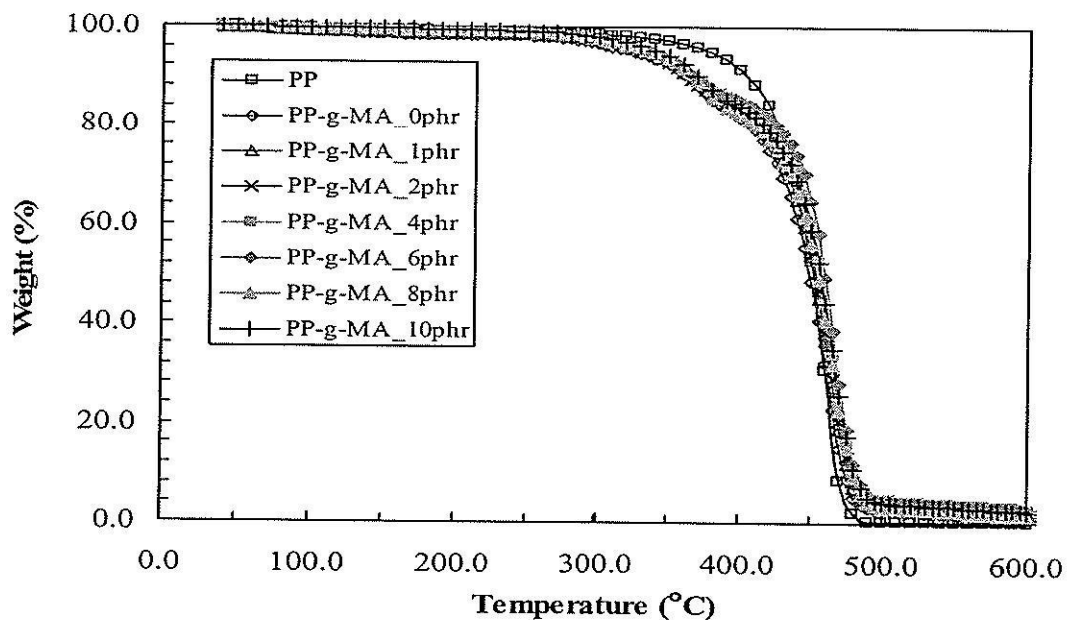


รูปที่ 3.4 อุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน

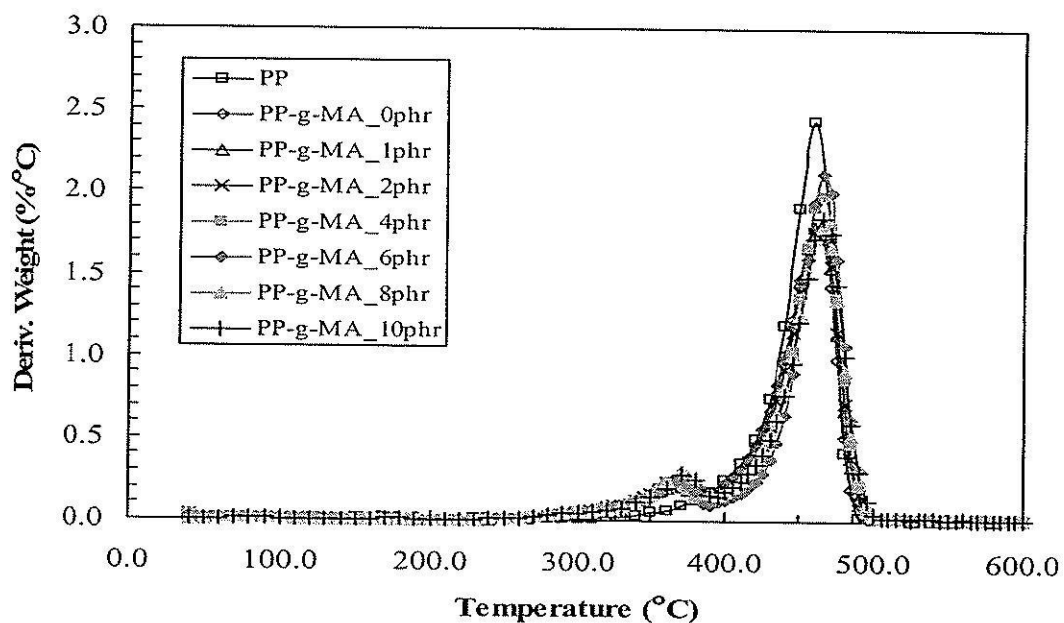
ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิตกผลึก และปริมาณผลึกของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

Compatibilizer content	T_m (°C)		T_c (°C)		% Crystallinity	
	PP-g-MA	PP-g-AA	PP-g-MA	PP-g-AA	PP-g-MA	PP-g-AA
PP	157.2		108.4		51.09	
0phr	159.1		114.1		42.04	
1phr	159.0	159.8	116.4	119.9	58.73	41.62
2phr	158.4	160.3	117.6	121.0	55.00	43.29
4phr	159.0	160.9	118.8	122.1	50.93	43.95
6phr	158.4	160.9	118.2	122.6	48.15	43.76
8phr	159.0	160.9	118.8	123.1	44.26	43.81
10phr	159.0	161.4	120.0	123.1	43.68	43.12

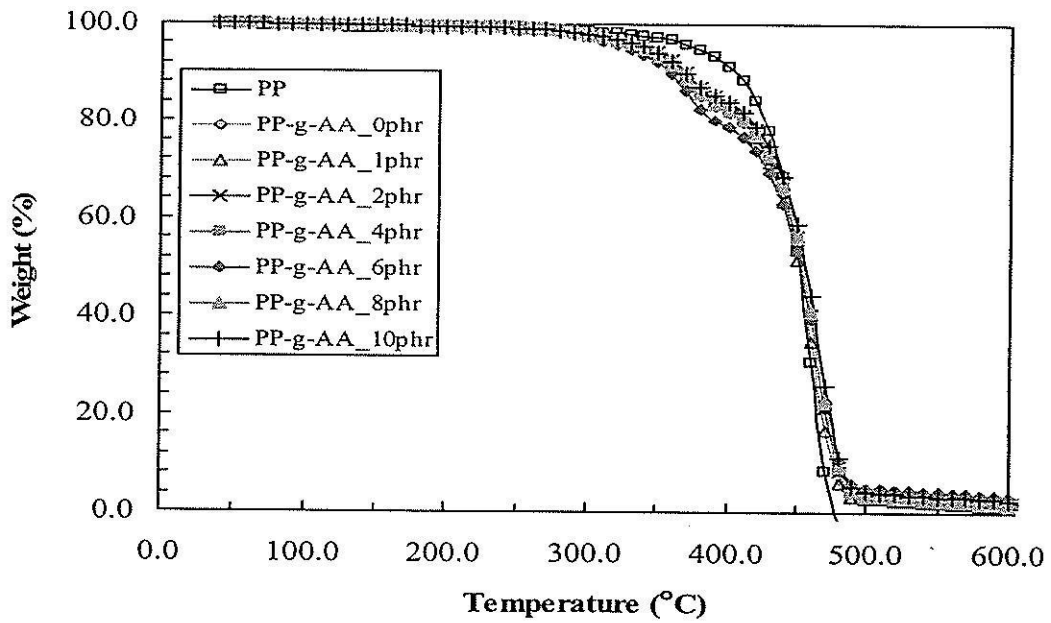
กราฟ TGA และกราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมพอสิตที่มีและไม่มีการเติมสารช่วยให้เข้ากันแสดงในรูปที่ 3.5-3.8 พบพีคที่ประมาณ 370 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิการเสื่อมสลายทางความร้อนของเซลลูโลส (cellulose) [Saheb and Jog, 1999] และพีคที่สองที่ประมาณ 470 องศาเซลเซียส คือ อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีน ตารางที่ 3.2 แสดงค่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใยและพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่มีและไม่มีการเติมสารช่วยให้เข้ากัน พบว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนมีค่าลดลงเมื่อมีการใส่เส้นใย แสดงว่าเส้นใยส่งผลกระทบต่ออัตราการลดลงของความเสถียรทางความร้อน แต่เมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน พบว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนมีค่าสูงขึ้นประมาณ 100 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากเกิดการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ (esterification reaction) [Joseph, Joseph, and Thomas, 1999] ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยและหมู่แอนไฮดไรด์ และคาร์บอนิลของ PP-g-MA ส่วนกรณีของ PP-g-AA มีการเกิดปฏิกิริยาควบนั่น (condensation) ระหว่างหมู่คาร์บอนิลใน PP-g-AA และหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นใย ทำให้เกิดพันธะเอสเทอร์ (ester linkages) ระหว่างเส้นใยกับ PP-g-AA [Mohd Ishak, Aminullah, Ismail, and Rozman, 1998,]



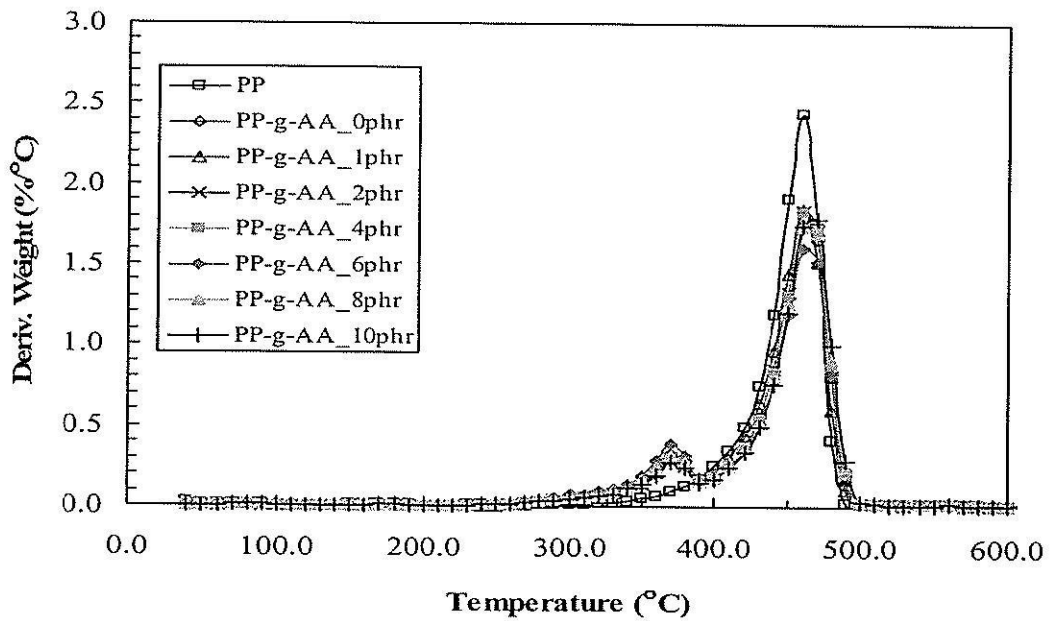
รูปที่ 3.5 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA ต่างๆ กัน



รูปที่ 3.6 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA ต่างๆ กัน



รูปที่ 3.7 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมพอลิทีระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน



รูปที่ 3.8 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมพอลิทีระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน

ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใย และพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

Compatibilizer content	Fiber decomposition temperature (°C)		PP decomposition temperature (°C)	
	PP-g-MA	PP-g-AA	PP-g-MA	PP-g-AA
PP	-		460.1	
0phr	358.6		363.9	
1phr	359.7	372.3	465.4	461.7
2phr	363.7	373.9	464.2	463.8
4phr	362.7	372.5	464.3	463.9
6phr	368.4	371.8	465.6	463.9
8phr	373.1	373.1	464.6	464.5
10phr	372.8	372.8	465.6	465.6

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตของพอลิโพรพิลีน พบว่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีน ซึ่งโดยทั่วไปค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่สารตัวเติม และค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารช่วยให้เข้า การเพิ่มขึ้นของค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิเมอร์คอมโพสิตเมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน อาจเนื่องมาจากการปรับปรุงการยึดติดระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใย

ตารางที่ 3.3 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

Compatibilizer content	HDT (°C)	
	PP-g-MA	PP-g-AA
PP	84.3±2.52	
0phr	134.7±1.53	
1phr	134.7±1.15	135.7±1.26
2phr	136.3±2.52	139.2±1.44
4phr	137.3±2.52	140.5±0.50
6phr	136.7±1.53	140.5±1.32
8phr	136.3±1.04	139.3±0.76
10phr	137.8±1.04	139.8±1.97

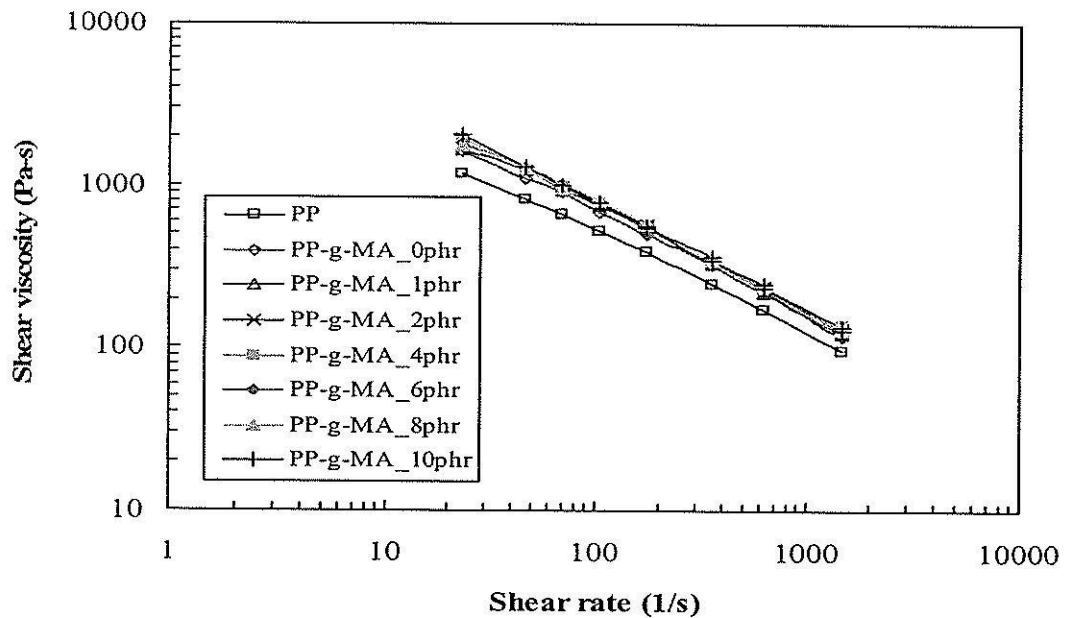
3.1.2 สมบัติทางกระแสวิทยา

ค่าดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิต แสดงในตารางที่ 3.4 เมื่อมีการใส่เส้นใยป่านศรนารายณ์ในพอลิโพรพิลีน ส่งผลต่อการลดลงของค่าดัชนีการไหล และเมื่อมีการเติมสารช่วยให้เข้ากันลงในพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าปริมาณสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิต

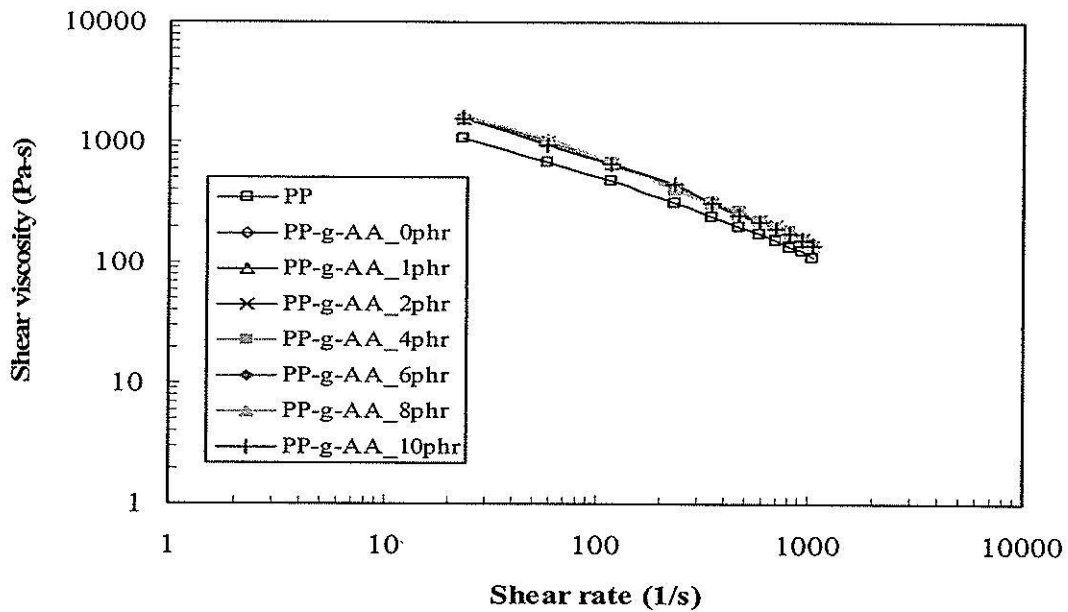
ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีและไม่มี การใส่ PP-g-MA และ PP-g-AA แสดงดังรูปที่ 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ ค่าความหนืดของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าสูงกว่าค่าความหนืดของพอลิโพรพิลีนที่ทุกอัตราเฉือน ค่าความหนืดของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการใส่สารช่วยให้เข้ากันทั้งชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Schemenauer และคณะ ซึ่งพบว่า PP-g-MA ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนืดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยปอกระเจา 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับพอลิโพรพิลีน ที่ปริมาณ PP-g-MA 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [Schemenauer, Osswald, Sanadi, and Caulfield, 2000]

ตารางที่ 3.4 คัดชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

Compatibilizer content	MFI (g/10min)	
	PP-g-MA	PP-g-AA
PP	4.22±0.040	3.05±0.009
0phr	2.22±0.018	1.42±0.016
1phr	2.21±0.011	1.27±0.040
2phr	1.93±0.029	1.29±0.032
4phr	1.88±0.027	1.34±0.057
6phr	1.83±0.010	1.40±0.020
8phr	1.74±0.038	1.40±0.023
10phr	1.72±0.031	1.54±0.007



รูปที่ 3.9 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA ต่างๆ กัน



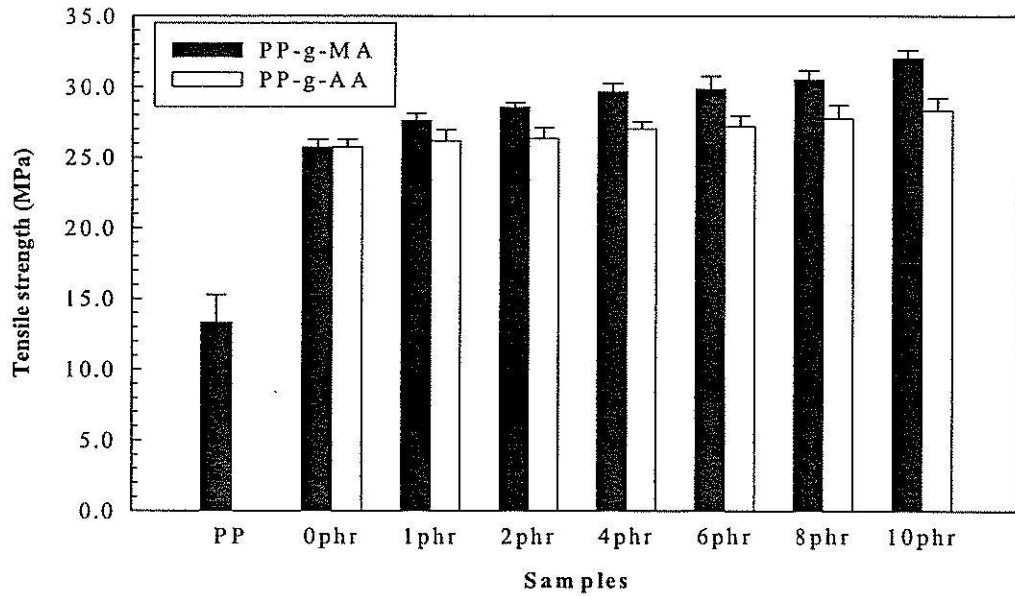
รูปที่ 3.10 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านสรณารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-AA ต่างๆ กัน

3.1.3 สมบัติทางกล

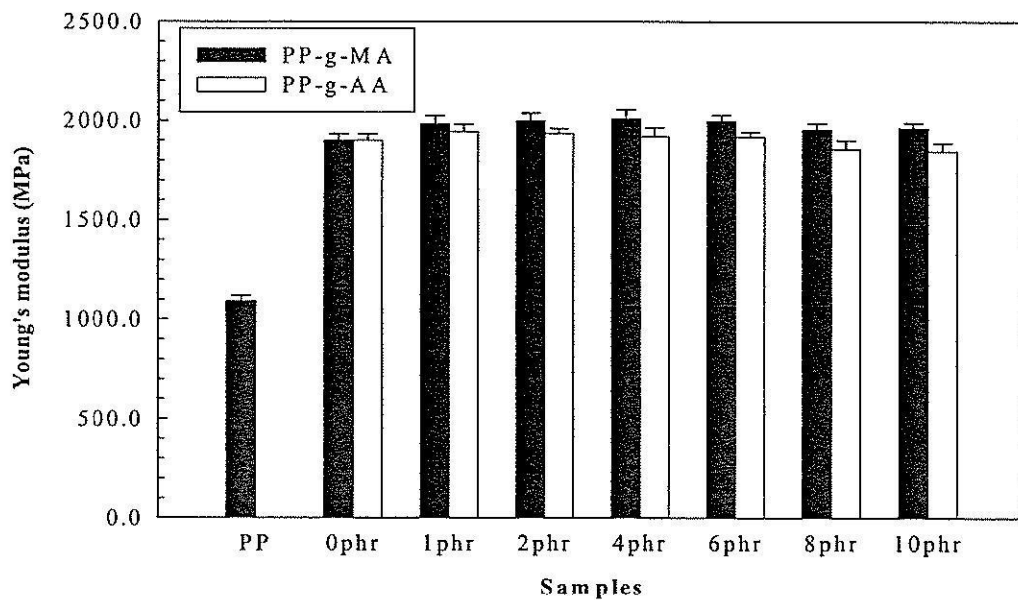
ค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่มีและไม่มีสารช่วยให้เข้ากัน แสดงในรูปที่ 3.11 และตารางที่ 3.5 จากผลที่ได้พบว่า การใส่เส้นใยส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความทนต่อแรงดึง และเมื่อมีการเติมสารช่วยให้เข้ากันในพอลิเมอร์คอมพอสิตทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณสารช่วยให้เข้ากันทั้งกรณี PP-g-MA และ PP-g-AA เพิ่มขึ้น ค่าความทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารช่วยให้เข้ากันมีส่วนในการปรับปรุงการยึดติดที่อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีน และการปรับปรุงการถ่ายโอนความเค้น (stress transfer) จากเมทริกซ์ไปยังเส้นใยผ่านสารช่วยให้เข้ากัน Hedenberg และ Gatenholm พบการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างหมู่มาเลอิกและไฮดรอกซิลของเซลลูโลส โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Infrared Spectroscopy และ Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยให้เข้ากันทั้งสองชนิด จะเห็นว่า PP-g-MA จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงกว่า PP-g-AA อาจเนื่องมาจากการมีความไวปฏิกิริยาที่สูง (reactivity) ที่สูงของหมู่แอนไฮดรายด์กับไฮดรอกซิลของเส้นใย [Hedenberg and Gatenholm, 1995]

การใส่เส้นใยส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่ามอดูลัสของยังก์ของพอลิโพรพิลีนประมาณ 2 เท่า เนื่องจากค่ามอดูลัสของเส้นใยมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีน และเมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากันทั้งชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ค่ามอดูลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมพอสิตนั้นมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และตารางที่ 3.5 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ [Felix and Gatenholm, 1991, Rana et al., 1998]

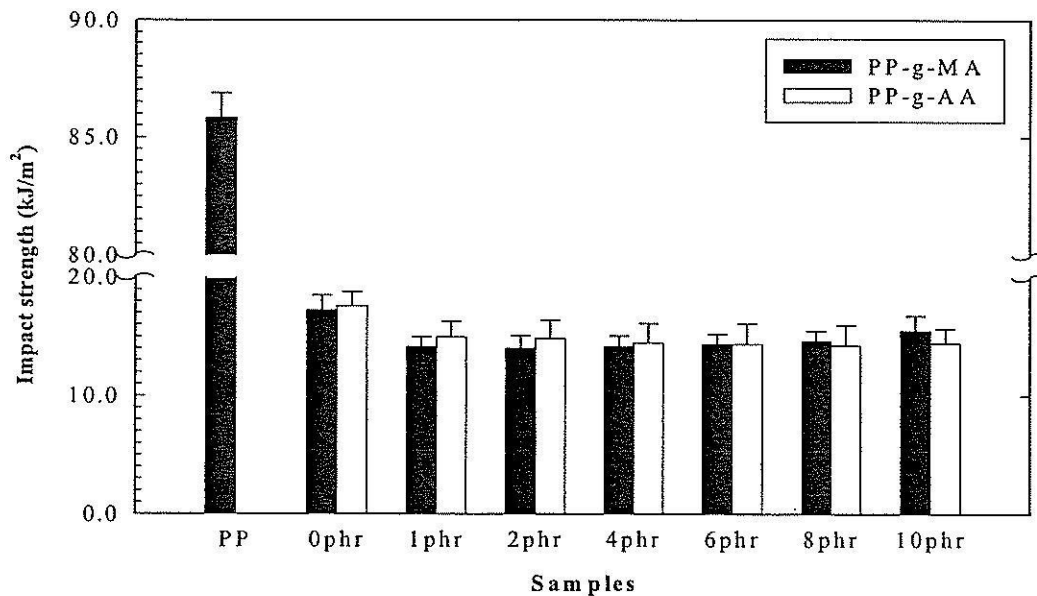


รูปที่ 3.11 ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ทรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ



รูปที่ 3.12 โมดูลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน ทรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

สำหรับผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกพบว่า เมื่อใส่เส้นใยลงในพอลิโพรพิลีน ค่าความทนต่อแรงกระแทกจะลดลง เนื่องจากการเติมเส้นใยก่อให้เกิดพื้นที่ของ stress concentration ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าในการเริ่มการร้าว (cracking) [Sanadi et al., 1995] และเมื่อเติมสารช่วยให้เข้ากันค่าความทนต่อแรงกระแทกจะมีค่าค่อนข้างคงที่และไม่ขึ้นกับปริมาณสารช่วยให้เข้ากันทั้งกรณี PP-g-MA และ PP-g-AA ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และตารางที่ 3.5 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mohd Ishak และคณะ ในกรณีการศึกษาการใช้ poly (propylene-ethylene-acrylic acid) (PPEAA) ในพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยปาล์ม [Mohd Ishak et al., 1998] นอกจากนี้ Yang และคณะ พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยให้เข้ากันเพิ่มขึ้น ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับผงแคลบอลดลงเล็กน้อย และสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลต่อค่าความทนต่อแรงกระแทก เมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน การยึดติดระหว่างเฟสระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ดังนั้น เมื่อมีการให้แรงกระแทกการร้าวจะไม่เกิดที่อินเทอร์เฟซ แต่เกิดที่สารตัวเติมเอง ส่งผลต่อการลดลงของค่าความทนต่อแรงกระแทก [Yang et al., 2007]

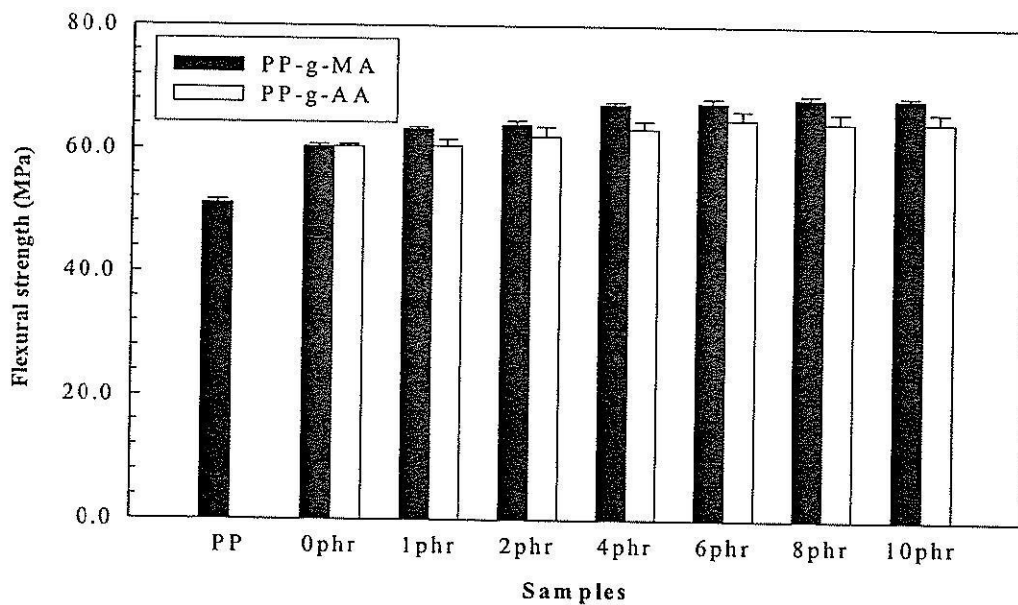


รูปที่ 3.13 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน สรณารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

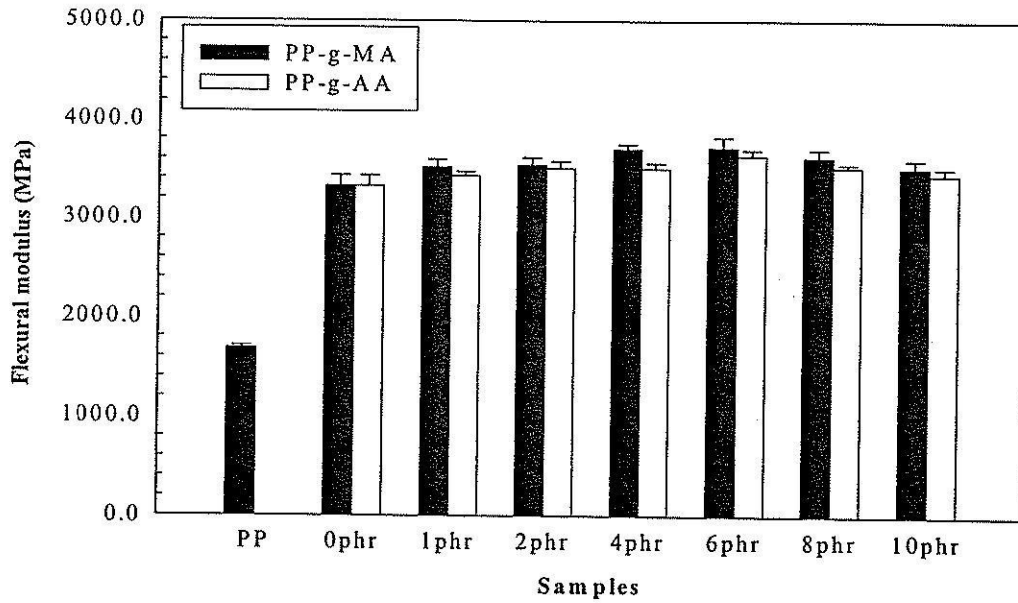
ตารางที่ 3.5 ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก และมอดุลัสของแข็งของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครามาแรง 20 เมอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้ง่ายแก่การขึ้นรูป PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

Compatibilizer content	Tensile strength (MPa)		Impact strength (kJ/m ²)	Young's modulus (MPa)	
	PP-g-MA	PP-g-AA		PP-g-MA	PP-g-AA
PP	13.90±1.98		85.80±1.05		1092.66±27.02
0phr	25.74±0.55		17.42±1.23		1900.25±32.99
1phr	27.63±0.49	26.20±0.75	14.14±0.81	14.95±1.31	1946.85±37.06
2phr	28.58±0.30	26.36±0.76	14.02±1.03	14.82±1.54	1936.60±24.61
4phr	29.66±0.58	27.03±0.53	14.13±0.91	14.48±1.61	1920.99±45.18
6phr	29.86±0.90	27.20±0.74	14.36±0.85	14.35±1.73	1919.54±21.26
8phr	30.53±0.65	27.77±0.94	14.63±0.84	14.24±1.72	1858.26±42.08
10phr	32.03±0.56	28.34±0.87	15.49±1.26	14.43±1.24	1847.02±41.71

ผลการทดสอบค่าความทนต่อแรงดัดสอดคล้องกับความทนต่อแรงดึงคือ เมื่อมีการใส่เส้นใยลพอลิโพรพิลีน ค่าความทนต่อแรงดัด (flexural strength) มีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยให้เข้ากันเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าความทนต่อแรงดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ด้วย PP-g-AA มีค่าต่ำกว่ากรณีของ PP-g-MA เล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.14 การเพิ่มขึ้นของค่าความทนต่อแรงดัดนี้เนื่องจาก สารช่วยให้เข้ากันจะช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ได้ดีขึ้น ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความเค้นจากเมทริกซ์ไปยังเส้นใย สำหรับค่ามอดุลัสของการดัด (flexural modulus) การใส่เส้นใยส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่ามอดุลัสของการดัดของพอลิโพรพิลีนประมาณ 2 เท่า และเมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากันทั้งชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ค่ามอดุลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตนั้นมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.14 ความทนต่อแรงดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานสรณารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ



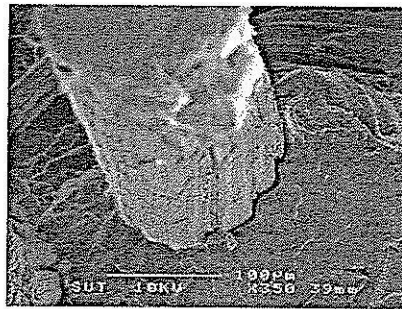
รูปที่ 3.15 มอดุลัสของการดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

ตารางที่ 3.6 ความทนต่อแรงดัด และมอดุลัสของการดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA และ PP-g-AA ต่างๆ

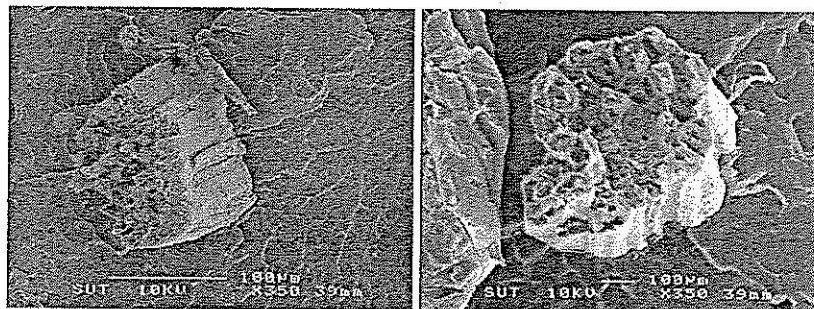
Compatibilizer content	Flexural strength (MPa)		Flexural modulus (MPa)	
	PP-g-MA	PP-g-AA	PP-g-MA	PP-g-AA
PP	46.40±1.53		1689.45±23.40	
0phr	60.47±0.33		3321.28±106.17	
1phr	63.32±0.32	60.59±1.05	3513.20±77.53	3424.90±41.64
2phr	64.05±0.64	62.14±1.61	3535.65±73.46	3503.68±68.47
4phr	67.34±0.40	63.37±1.24	3695.32±47.28	3498.07±54.31
6phr	67.63±0.70	64.92±1.51	3712.60±101.37	3627.70±60.05
8phr	68.35±0.64	64.51±1.55	3610.17±79.90	3512.39±31.56
10phr	68.36±0.43	64.57±1.64	3504.36±83.77	3436.92±66.16

3.1.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ผลจากการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตแสดงดังรูปที่ 3.16 (a)-(g) รูปที่ 3.16 (a) แสดงพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านครนารายณ์ พบว่าพื้นผิวของเส้นใยไม่มีพอลิเมอร์อยู่ และมีช่องว่างระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ การใส่สารช่วยให้เข้ากันนั้นมีผลต่อการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับพอลิโพรพิลีน สังเกตจากช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ลดลง และมีพอลิเมอร์บางส่วนติดอยู่ที่พื้นผิวของเส้นใย แต่สำหรับผลของชนิดและปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่อการปรับปรุงความเข้ากันได้ของเส้นใยและเมทริกซ์ ไม่สามารถสังเกตความแตกต่างได้จากรูป SEM

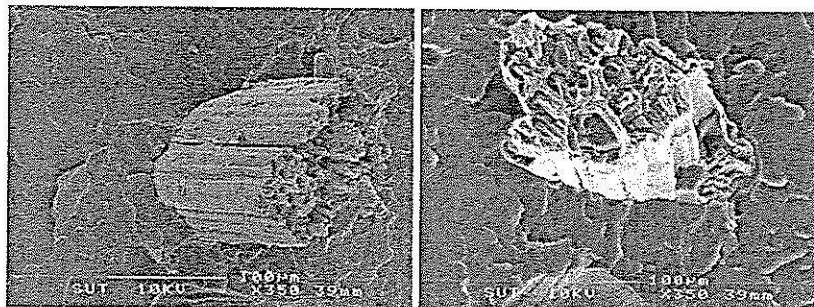


(a)



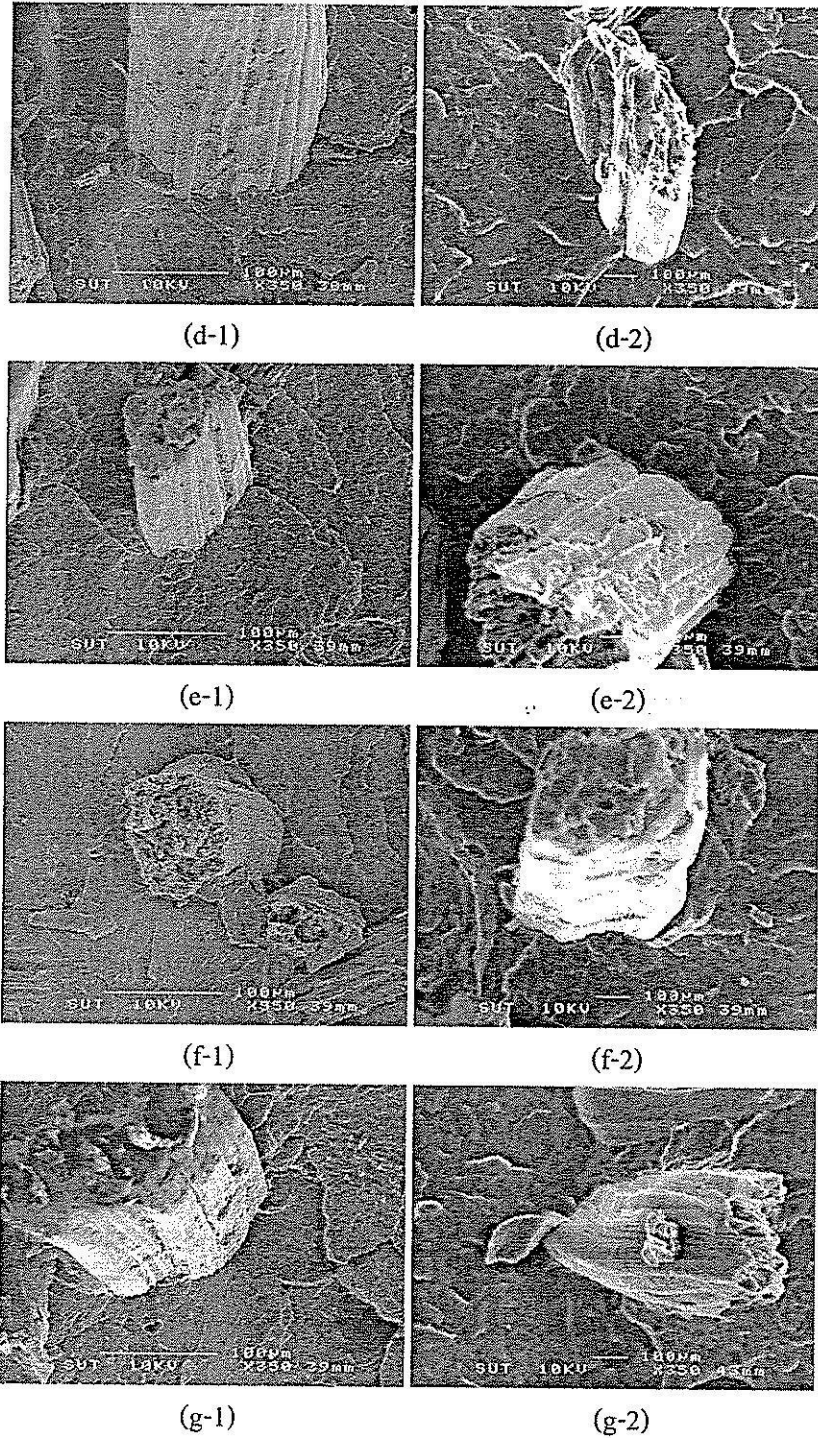
(b-1)

(b-2)



(c-1)

(c-2)



รูปที่ 3.16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปาน
 ทรนารายณ์ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันชนิด PP-g-MA (เลข 1) และ PP-g-AA (เลข 2)
 (a) 0 phr, (b) 1 phr, (c) 2 phr, (d) 4 phr, (e) 6 phr, (f) 8 phr, (g) 10 phr ต่างๆ กัน

3.2 ผลของปริมาณเส้นใย และปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

จากการศึกษาในส่วนที่ 1 พบว่า PP-g-MA มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยที่คิดกว่า PP-g-AA ดังนั้น จึงเลือกใช้ PP-g-MA เป็นสารช่วยให้เข้ากันในการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยปริมาณเส้นใยปานศรณารายณ์ที่ใช้ คือ 10, 20, 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณสารช่วยให้เข้ากัน คือ 1, 3, 5 ส่วนใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์คอมโพสิต (phr)

3.2.1 สมบัติทางความร้อน

จากตารางที่ 3.7 พบว่าเมื่อมีการใส่เส้นใย อุณหภูมิหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ปริมาณเส้นใยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Manchado และคณะ พบว่าเส้นใยปานศรณารายณ์ส่งผลอย่างไร้มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลว [Manchado et al., 2000] นอกจากนี้ Amash และ Zugenmaier พบว่าปริมาณของเส้นใยเซลลูโลสไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลว [Amash and Zugenmaier, 2000] ส่วนอุณหภูมิตกผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่เส้นใย แต่ปริมาณเส้นใยไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตกผลึก ปริมาณผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่เส้นใย แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใย ปริมาณผลึกมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณเส้นใยที่มากขึ้นขัดขวางการการเติบโตของผลึกของพอลิเมอร์ สารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลว แต่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตกผลึกเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีน แต่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลค่าอุณหภูมิตกผลึก

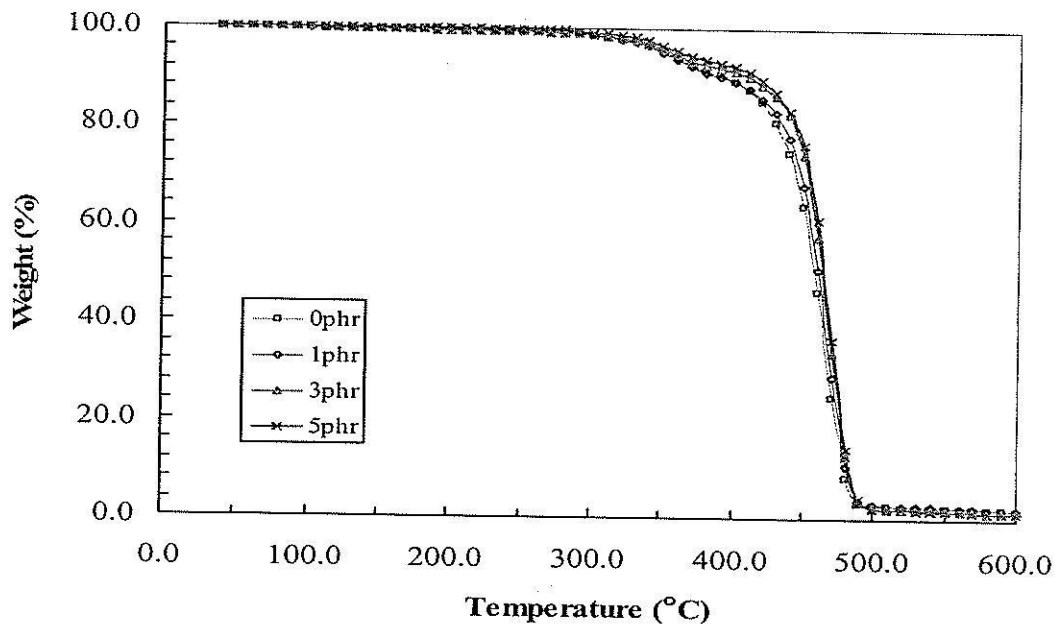
ตารางที่ 3.7 อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิตกผลึก และปริมาณผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานศรณารายณ์ ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

Compatibilizer content	T_m (°C)			T_c (°C)			% Crystallinity		
	10wt%	20wt%	30wt%	10wt%	20wt%	30wt%	10wt%	20wt%	30wt%
PP	157.7			108.7			42.03		
0phr	159.1	159.1	159.7	115.1	114.1	115.1	47.34	42.04	37.52
1phr	159.7	159.0	160.2	117.3	117.4	118.3	47.45	58.73	37.78
3phr	159.7	159.1	160.7	117.8	118.3	118.9	47.39	53.58	39.82
5phr	159.7	160.2	160.7	117.8	118.9	118.9	48.23	49.29	38.80

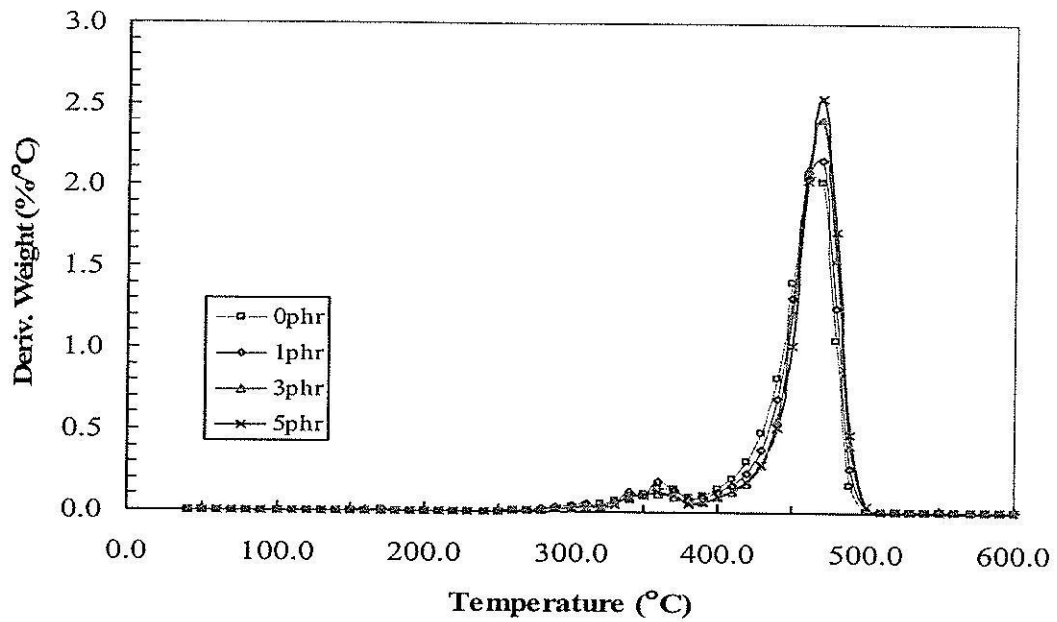
อุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่เส้นใย แต่ปริมาณเส้นใยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเสื่อมสลายอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเสื่อมสลายเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 3.8 และรูปที่ 3.17-3.22

ตารางที่ 3.8 อุณหภูมิการเสื่อมสลายของเส้นใย และพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

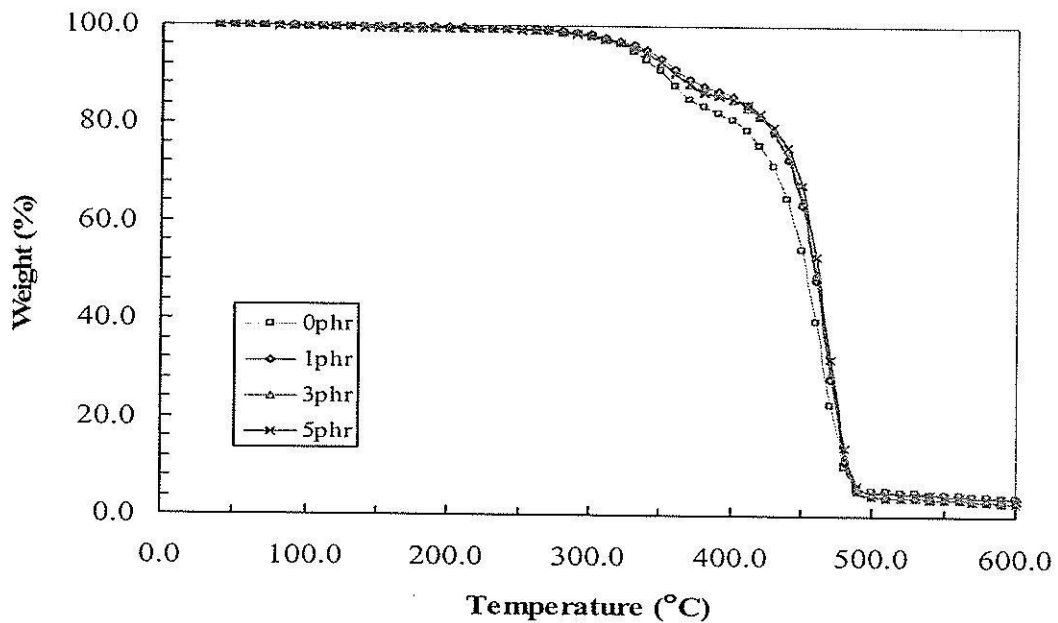
Compatibilizer content	Fiber decomposition			PP decomposition		
	temperature (°C)			temperature (°C)		
	10wt%	20wt%	30wt%	10wt%	20wt%	30wt%
PP	-			460.1		
0phr	361.8	359.6	360.9	464.6	463.9	463.1
1phr	361.9	359.7	362.2	465.4	465.4	465.8
3phr	361.3	362.0	360.9	468.0	466.7	466.1
5phr	360.7	362.0	361.4	468.8	467.6	466.4



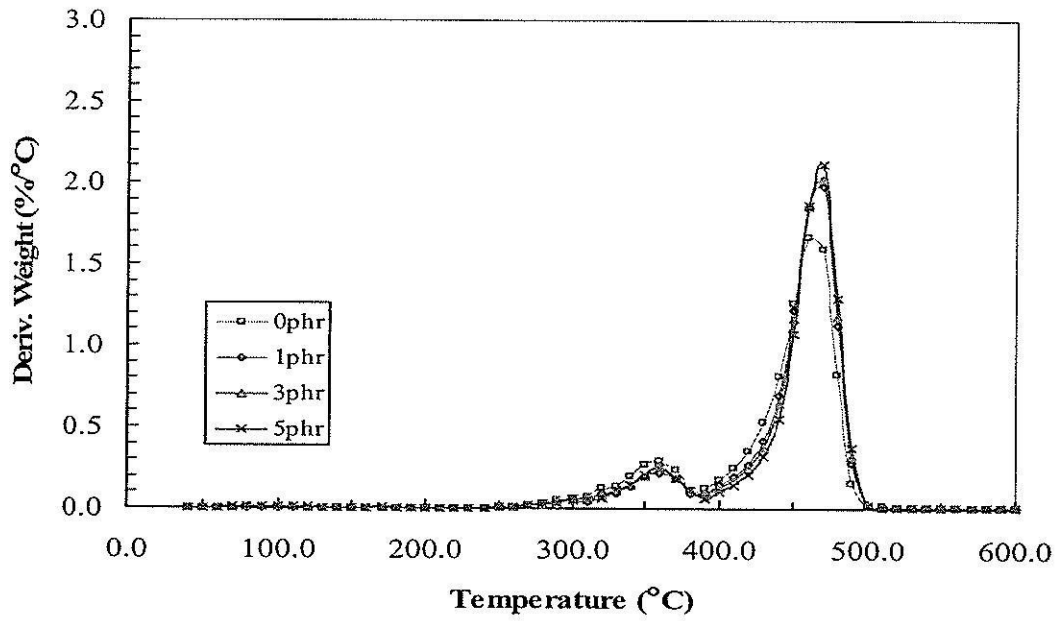
รูปที่ 3.17 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



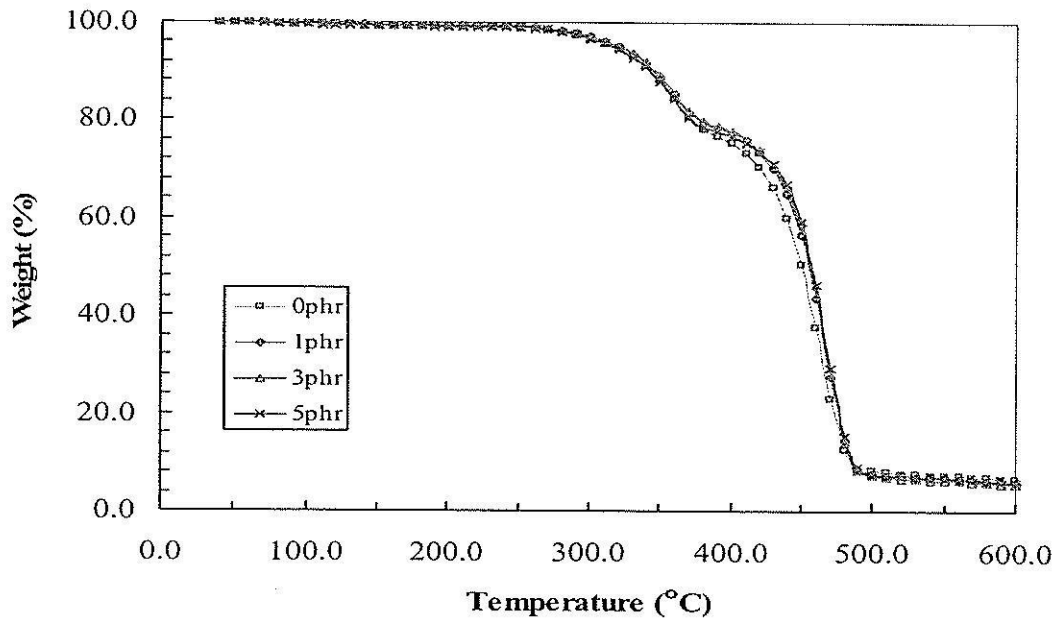
รูปที่ 3.18 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



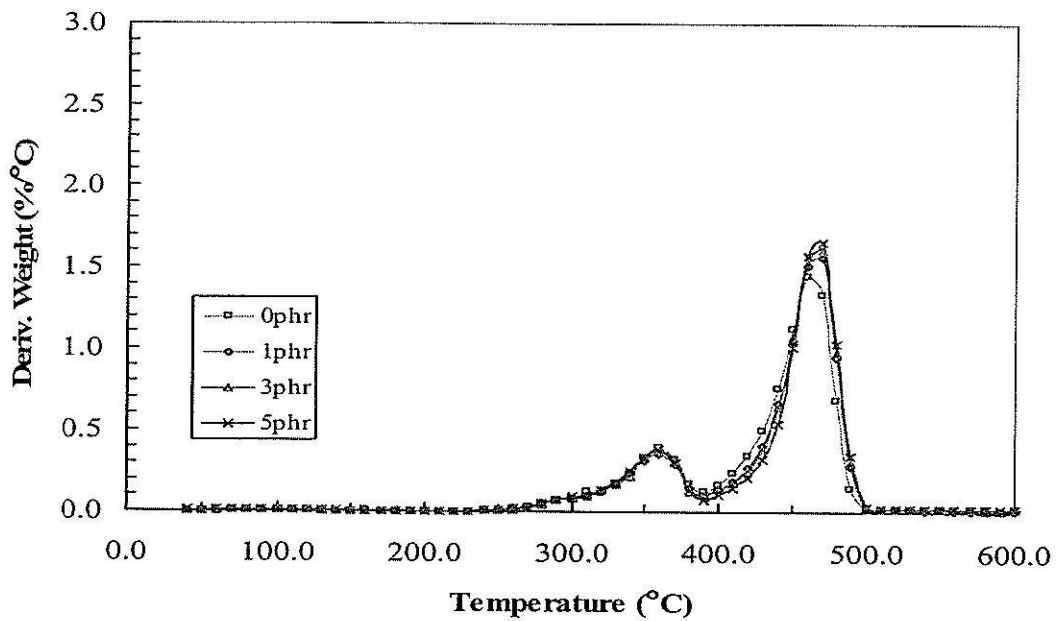
รูปที่ 3.19 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



รูปที่ 3.20 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



รูปที่ 3.21 กราฟ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



รูปที่ 3.22 กราฟอนุพันธ์ TGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิเมอร์คอมโพสิตแสดงในตารางที่ 3.9 พบว่า การเพิ่มของปริมาณเส้นใยส่งผลต่อการปรับปรุงค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิเมอร์คอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญ สารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิเมอร์คอมโพสิต และมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณสารช่วยให้เข้ากันเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.9 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิโพรพิลีน และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

Compatibilizer content	HDT (°C)		
	10wt%	20wt%	30wt%
PP	84.3±2.52		
0phr	115.2±3.62	134.7±1.53	138.2±1.76
1phr	129.5±2.78	134.7±1.15	142.0±0.50
3phr	130.5±2.29	136.7±1.53	143.5±0.50
5phr	129.2±3.25	138.0±1.80	143.8±0.76

3.2.2 สมบัติทางกระแสวิทยา

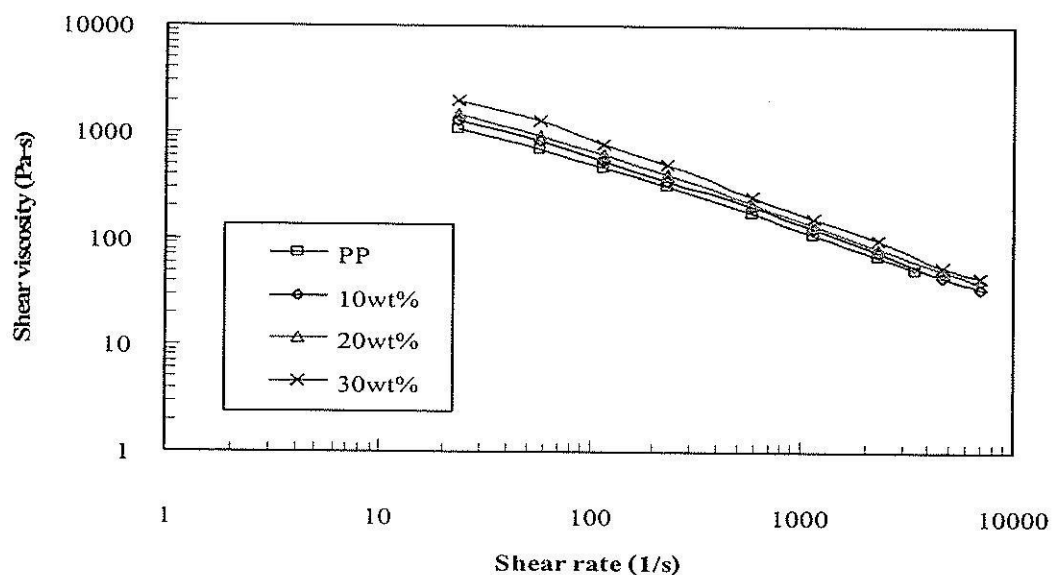
ตารางที่ 3.10 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีการไหลจะลดลง

หรือความหนืดเพิ่มขึ้น ผลของปริมาณสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอม โพลีท

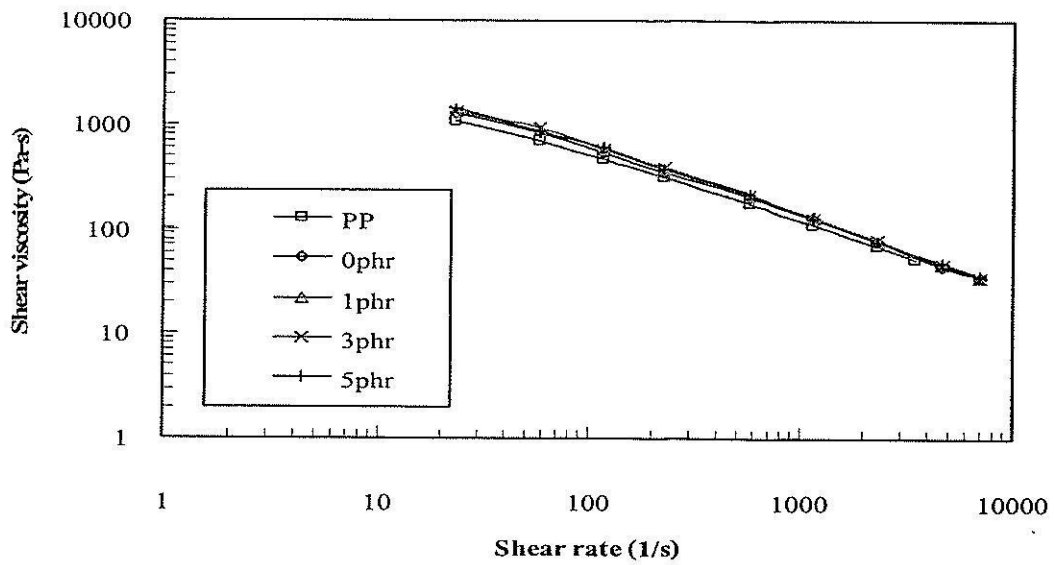
ตารางที่ 3.10 ดัชนีการไหลของพอลิโพรพิลีน และพอลิเมอร์คอม โพลีทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

Compatibilizer content	MFI (g/10min)		
	10wt%	20wt%	30wt%
PP	4.22±0.040		
0phr	3.56±0.058	2.22±0.018	1.40±0.033
1phr	3.31±0.025	2.21±0.011	1.25±0.045
3phr	3.31±0.042	1.90±0.081	1.21±0.034
5phr	3.13±0.023	1.87±0.050	1.10±0.044

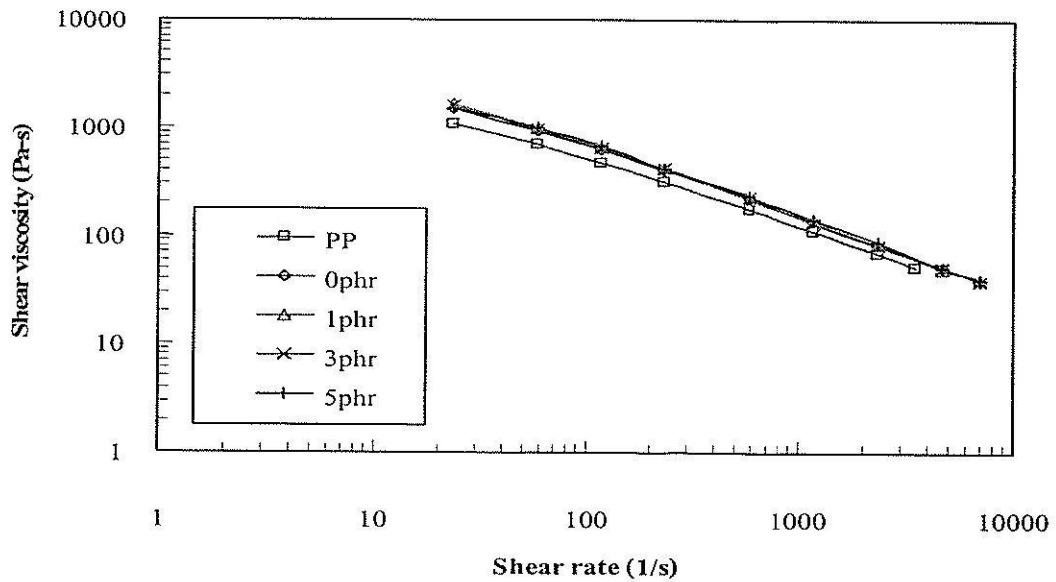
ค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอม โพลีทที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างกัน แสดงดังรูปที่ 3.23-3.26 พบว่าปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ เพิ่มขึ้น และปริมาณสารช่วยให้เข้ากันไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ



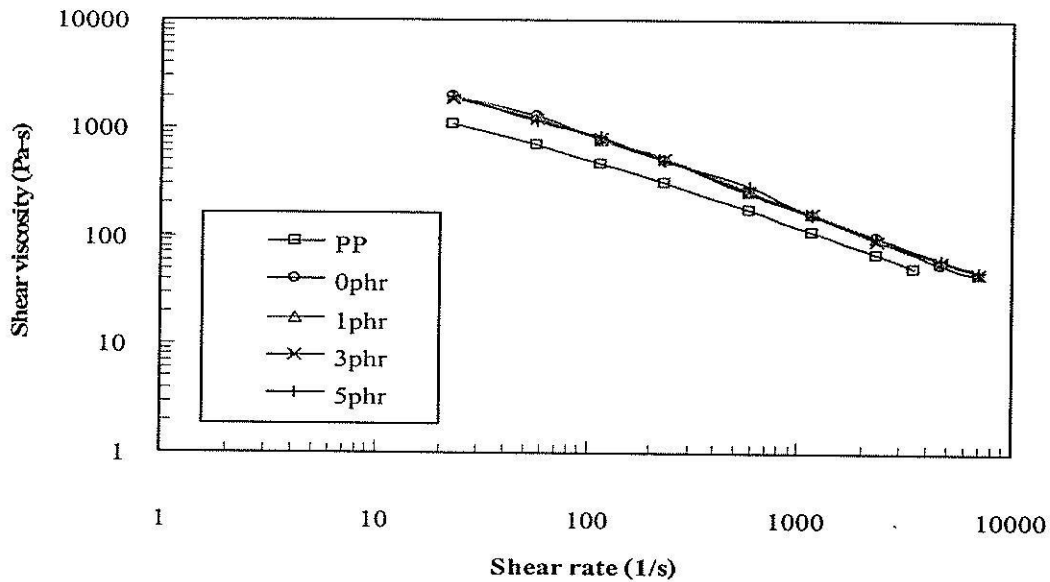
รูปที่ 3.23 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอม โพลีทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานครนารายณ์ 10, 20, และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.24 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



รูปที่ 3.25 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



รูปที่ 3.26 ความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

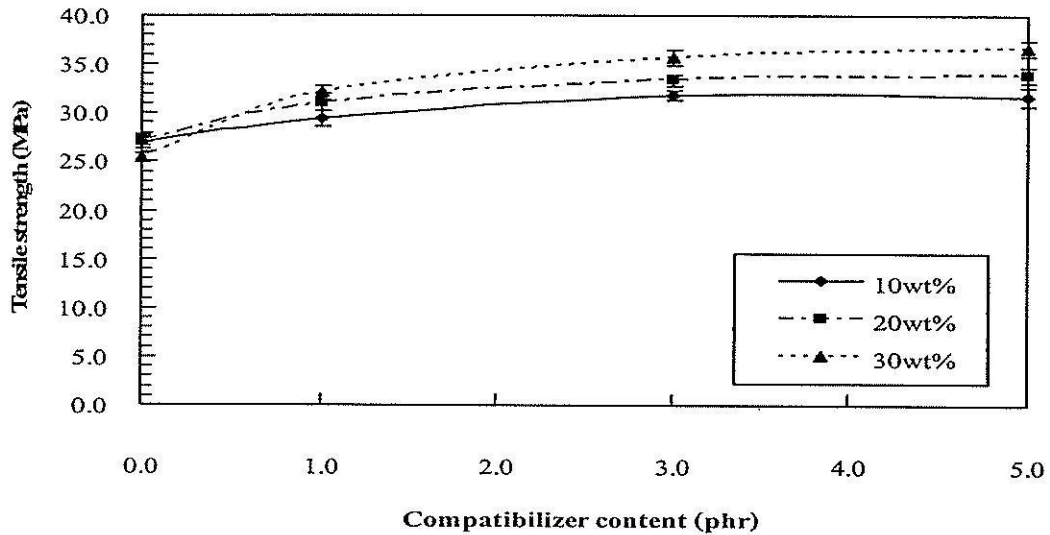
3.2.3 สมบัติทางกล

ตารางที่ 3.11 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก และมอดุลัสของยั้งค์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

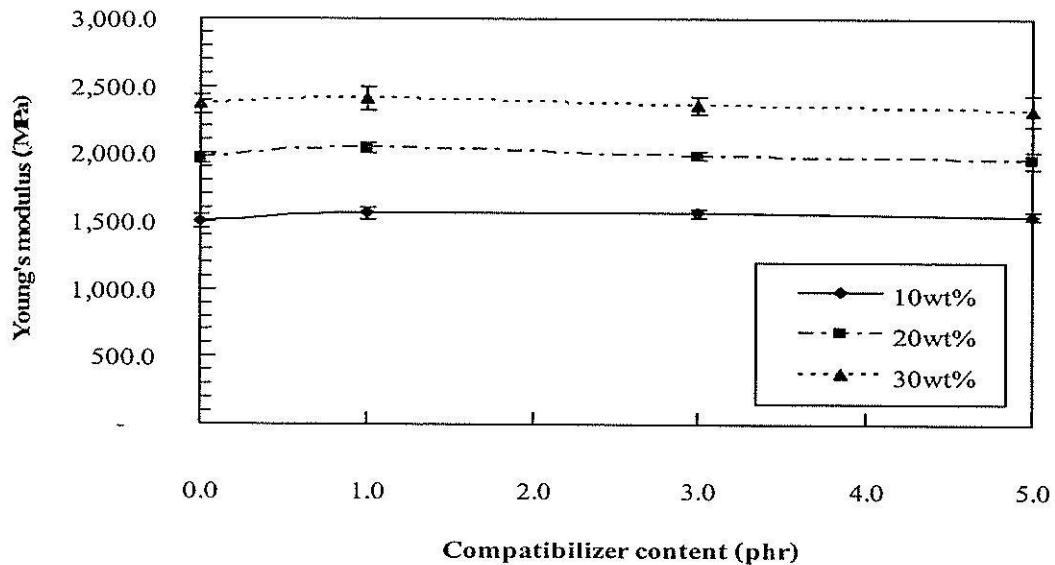
รูปที่ 3.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงและปริมาณสารช่วยให้เข้ากันของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเส้นใย จากผลการทดลองพบว่าค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การใส่สารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความทนต่อแรงดึง เมื่อปริมาณสารช่วยให้เข้ากันมากกว่า 3 phr จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความทนต่อแรงดึงเล็กน้อย การเพิ่มขึ้นของความทนต่อแรงดึงกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยของระบบที่มีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน อาจเนื่องมาจากการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ และการปรับปรุงการกระจายตัวของเส้นใย [Arbelaiz et al., 2005, Gassan and Bledzki, 1997]

มอดุลัสของยั้งค์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตแสดงในรูปที่ 3.28 พบการเพิ่มขึ้นของค่ามอดุลัสของยั้งค์กับปริมาณของเส้นใย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Felix and Gatenholm และ Rana และคณะ [Felix and Gatenholm, 1991, Rana et al., 1998] แต่เมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากันในพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าค่ามอดุลัสของยั้งค์ลดลงเล็กน้อย การลดลงของมอดุลัสของยั้งค์ อาจ

เนื่องจากกลไกพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ การเกิด transcrystallization และการเปลี่ยนแปลงมอดูลัสของเมทริกซ์สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมอดูลัสของคอมโพสิต [Rana et al., 1998]



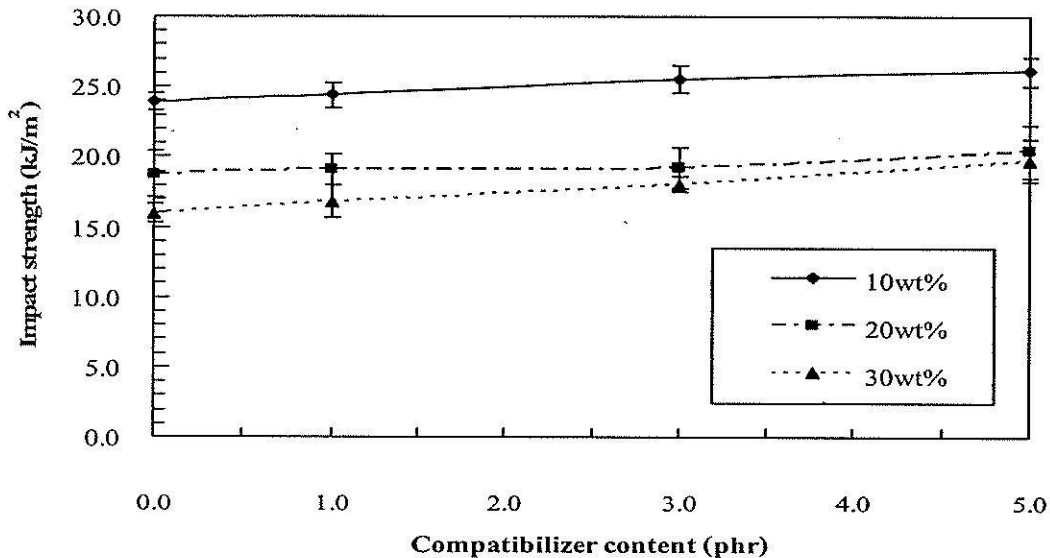
รูปที่ 3.27 ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน สรณารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



รูปที่ 3.28 มอดูลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน สรณารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

ปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของค่าความทนต่อแรงกระแทก การมีปริมาณเส้นใยที่มากในพอลิเมอร์คอมโพสิต สามารถก่อให้เกิดการเริ่มต้นของการร้าว (crack

initiation) และส่งผลต่อการวิบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณเส้นใยยังเพิ่มโอกาสในการเกิดการรวมตัวของเส้นใย (fiber agglomeration) ซึ่งทำให้เกิดบริเวณที่เป็นจุดรวมความเค้น (stress concentration) [Arbelaiz et al., 2005] ส่วนปริมาณสารช่วยให้เข้ากันนั้นไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความทนต่อแรงกระแทกอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 3.29

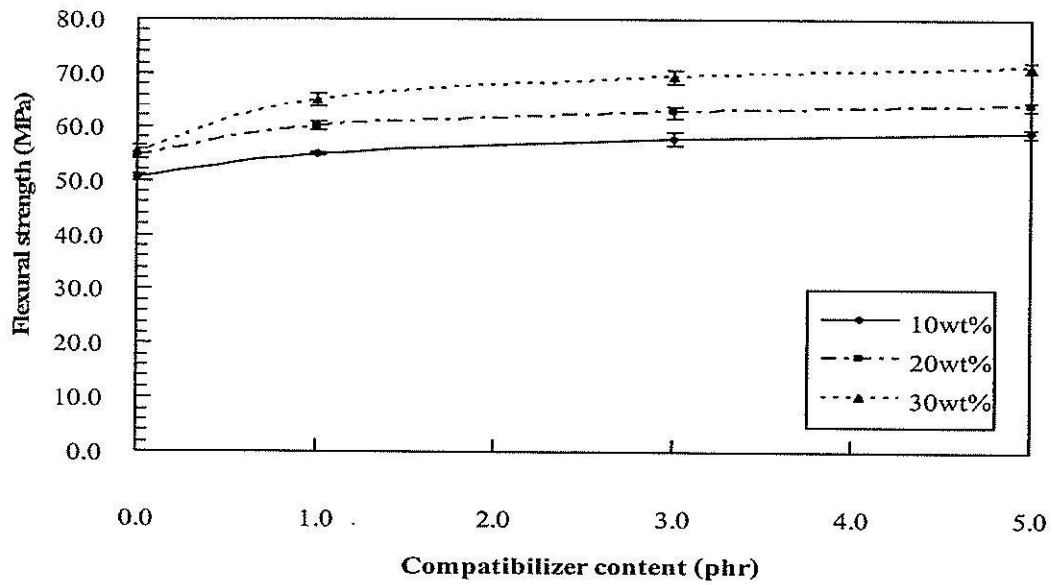


รูปที่ 3.29 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

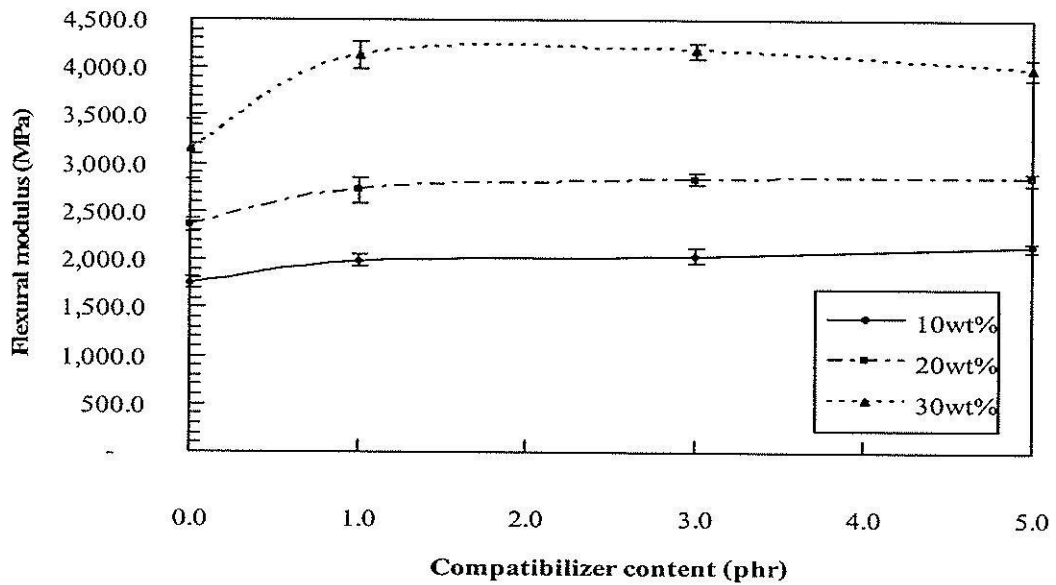
ตารางที่ 3.12 แสดงค่าความทนต่อแรงดัด และโมดูลัสของการดัด ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของค่าความทนต่อแรงดัดและโมดูลัสของการดัดกับปริมาณสารช่วยให้เข้ากันแสดงในรูปที่ 3.30 และ 3.31 ตามลำดับ พบว่าค่าความทนต่อแรงดัดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยให้เข้ากันและปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ค่าความทนต่อแรงดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ใส่สารช่วยให้เข้ากันมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีพันธะที่อินเทอร์เฟซ (interfacial bonding) ในการถ่ายโอนของแรงจากเมทริกซ์ไปยังเส้นใยที่น้อย แต่เมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน เกิดพันธะที่อินเทอร์เฟซที่เพียงพอระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ แนวโน้มของค่าโมดูลัสของการดัดมีลักษณะคล้ายกับค่าโมดูลัสของยางค์ คือมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณเส้นใยในระบบมากขึ้น และเมื่อมีการเพิ่มสารช่วยให้เข้ากันมากขึ้น พบว่าค่าโมดูลัสของการดัดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3.11 ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก และโมดูลัสของยังค์ของพอลิโพรพิลีน และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปาน
 ครงารายฉัที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยใหัเข้ากันต่าง ๆ

Compatibilizer content	Tensile strength (MPa)			Impact strength (kJ/m ²)			Young's modulus (MPa)		
	10wt%	20wt%	30wt%	10wt%	20wt%	30wt%	10wt%	20wt%	30wt%
PP	13.90±1.98			85.80±1.05			1092.66±27.02		
0phr	26.98±0.68	27.21±0.51	25.43±0.49	23.93±0.62	18.74±1.64	15.96±0.64	1497.86±46.64	1964.59±34.55	2363.75±70.34
1phr	29.33±0.80	31.05±0.90	32.08±0.71	24.36±0.91	19.10±1.09	16.82±1.18	1557.37±42.70	2047.45±38.58	2407.67±93.83
3phr	31.77±0.48	33.35±0.52	35.69±0.78	25.52±0.95	19.19±1.40	17.99±0.53	1556.97±31.59	1983.36±30.95	2360.54±60.18
5phr	31.69±0.95	33.96±0.81	36.66±0.85	26.10±1.04	20.38±1.87	19.72±1.53	1539.83±30.99	1952.94±68.43	2354.60±55.15



รูปที่ 3.30 ค่าความทนต่อแรงดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน
 ทรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



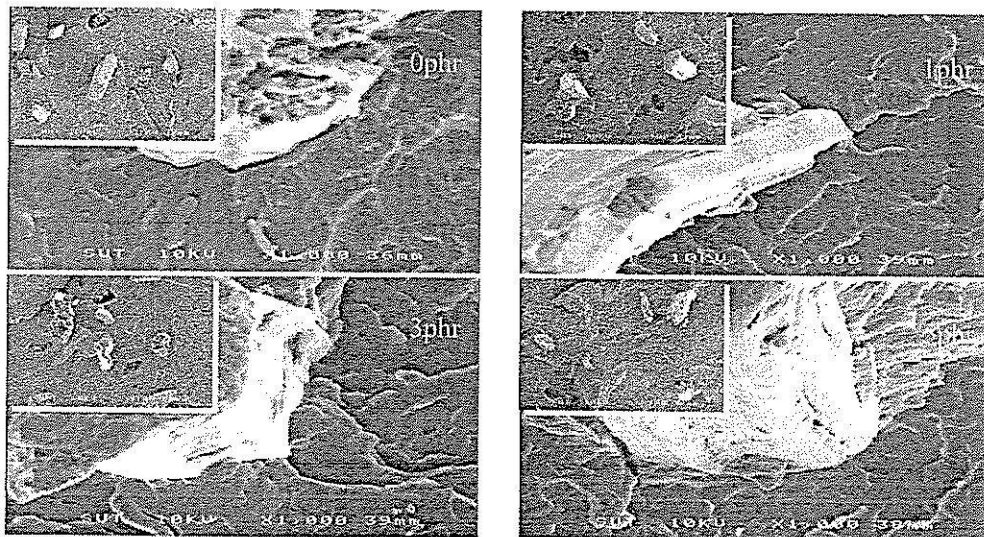
รูปที่ 3.31 มอดุลัสของการดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน
 ทรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใย และสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

ตารางที่ 3.12 ความทนต่อแรงดัด และโมดูลัสของการดัด ของพอลิโพรพิลีนและพอลิเมอรัคคอมโพสิทระหว่างพอลิโพร-พิลีนกับเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยและสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

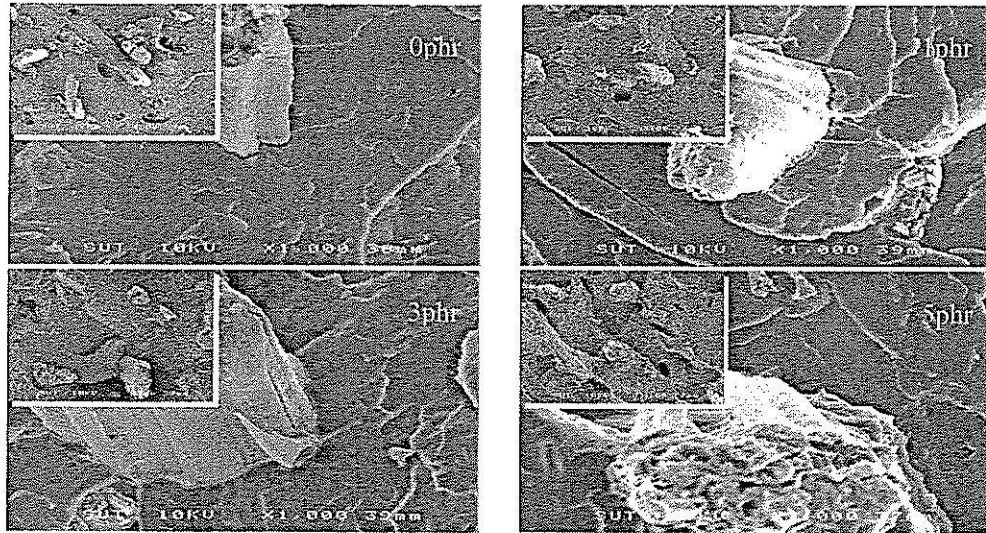
Compatibilizer content	Flexural strength (MPa)			Flexural modulus (MPa)		
	10wt%	20wt%	30wt%	10wt%	20wt%	30wt%
PP	46.40±1.53			1689.45±23.40		
0phr	50.55±0.58	54.54±0.49	55.18±1.30	1757.01±59.75	2357.06±75.71	3420.24±152.81
1phr	54.86±0.35	59.95±0.80	64.90±1.16	1986.97±61.14	2725.24±132.93	4130.48±136.55
3phr	57.65±1.22	62.71±1.11	69.36±1.31	2042.57±83.51	2836.71±61.21	4176.45±81.81
5phr	58.88±0.76	63.91±0.84	71.23±0.83	2139.71±45.00	2844.85±68.54	3986.05±114.77

3.2.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

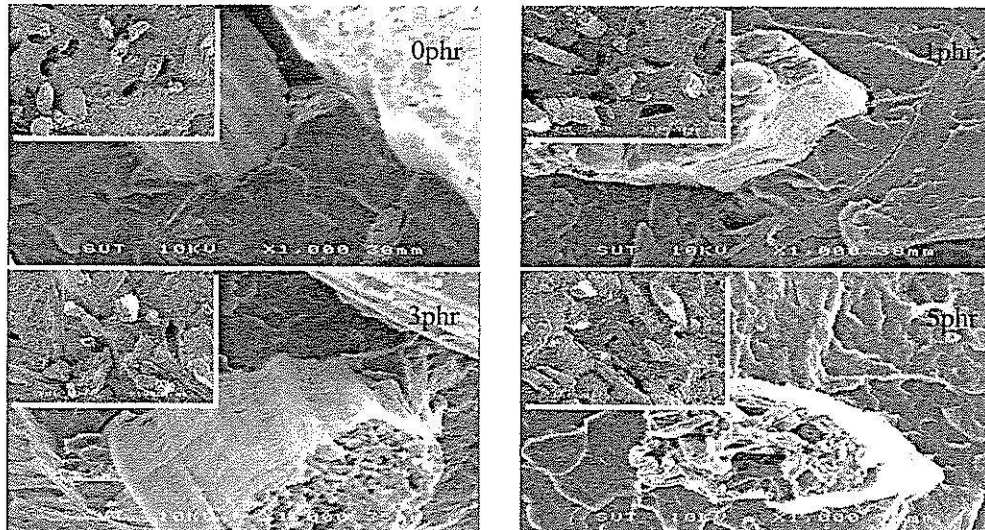
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอรัคคอมโพสิทที่ปริมาณเส้นใย 10, 20, และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 3.32-3.34 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาพอลิเมอรัคคอมโพสิทที่ไม่มีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น พบการรวมกลุ่มของเส้นใยมากขึ้น เมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน พบว่าช่องว่างระหว่างเส้นใยและพอลิเมอรัคเมทริกซ์ลดลง และมีเมทริกซ์เคลือบติดอยู่บนเส้นใยมากขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการยึดติดระหว่างเส้นใยและพอลิโพรพิลีนดีขึ้น นอกจากนี้ สารช่วยให้เข้ากันยังส่งผลต่อการปรับปรุงการกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอรัคเมทริกซ์



รูปที่ 3.32 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอรัคคอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยปานสรนารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



รูปที่ 3.33 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรพิลีนกับเส้นใยป่าน
ศรณารายณ์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ



รูปที่ 3.34 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรพิลีนกับเส้นใยป่าน
ศรณารายณ์ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณสารช่วยให้เข้ากันต่างๆ

บทที่ 4

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

- สมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์กับพอลิโพรพิลีน ขึ้นกับปริมาณของเส้นใย ชนิดและปริมาณของสารช่วยให้เข้ากัน สารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อการปรับปรุงความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงดัด แต่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อมอดูลัสของยังก์ มอดูลัสของการดัด และความทนต่อแรงกระแทก พอลิโพรพิลีนกราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮดไรด์ (PP-g-MA) มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิโพรพิลีนและเส้นใยป่านสรนารายณ์มากกว่าพอลิโพรพิลีนกราฟด้วยอะคริลิกแอซิด (PP-g-AA) อาจเนื่องมาจากการมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาที่มากกว่า นอกจากนี้ ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงดัด มอดูลัสของยังก์ และมอดูลัสของการดัด มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่เส้นใยมากขึ้น แต่ความทนต่อการกระแทกมีค่าลดลง

- การใส่เส้นใยส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนืดของพอลิโพรพิลีนและความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใย แต่อย่างไรก็ตาม สารช่วยให้เข้ากัน ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

- สารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อการปรับปรุงการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และพื้นผิวของเส้นใย และยังส่งผลต่อการปรับปรุงการกระจายตัวของเส้นใย

- การใส่เส้นใยส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิตกผลึก และเปอร์เซ็นต์ผลึกของพอลิโพรพิลีน สารช่วยให้เข้ากัน ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าอุณหภูมิหลอมเหลว และอุณหภูมิตกผลึก ส่วนอุณหภูมิเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่สารช่วยให้เข้ากัน อุณหภูมิตกผลึกของพอลิเมอร์คอมโพสิต อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิโพรพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่เส้นใย และสารช่วยให้เข้ากันส่งผลต่อเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ข้อเสนอแนะ

- การศึกษาผลของการใช้เส้นใยสองชนิด (hybrid fibers) หรือการใช้สารตัวเติมอื่นๆ ร่วมกับเส้นใยธรรมชาติต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

- การศึกษาผลของสภาวะในการขึ้นรูป และผลของความยาวของเส้นใยต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

- การศึกษาการดูดซึมน้ำ (water absorption) และการเสื่อมสภาพ (degradation) ของพอลิเมอร์คอมโพสิต
- การศึกษาการนำพอลิเมอร์คอมโพสิตมารีไซเคิลทางกล (mechanical recycling)

บรรณานุกรม

Abdelmouleh, M., Boufi, S., Belgacem, M.N., and Dufresne, A. (2007). Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibres loading. Comp. Sci. Tech. 67. 1627-1639.

Amash, A. and Zugenmaier, P. (2000). Morphology and properties of isotropic and oriented samples of cellulose fibre-polypropylene composites. Polymer. 41. 1589-1596.

Araujo, J.R., Waldman, W.R., and De Paoli, M.A. (2008). Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: Coupling agent effect. Polym. Degrad. Stab. 93. 1770-1775.

Arbelaz, A., Fernandez, B., Ramos, J.A., Retegi, A., Llamas-Ponte, R., and Mondragon, I. (2005). Mechanical properties of short flax fibre bundle/polypropylene composites: Influence of matrix/fibre modification, fibre content, water uptake, and recycling. Comp. Sci. Tech. 65. 1582-1592.

Belgacem, M.N., Bataille, P., and Sapieha, S. (1994). Effect of corona modification on the mechanical properties of polypropylene/cellulose composites. J. Appl. Polym. Sci. 53. 379-385.

Bisanda, E.T.N. (2000). The effect of alkali treatment on the adhesion characteristics of sisal fibres. Appl. Comp. Mat. 7. 331-339.

Bledzki, A.K. and Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibers. Prog. Polym. Sci. 24. 221-274.

Bledzki, A.K., Reihmane, S., and Gassan, J. (1996). Properties and modifications for vegetable fiber composites. J. Appl. Polym. Sci. 59. 1329-1336.

Cantero, G., Arbelaz, A., Ponte, R.L., and Mondragon, I. (2003). Effects of fibre treatment on wettability and mechanical behavior of flax/polypropylene composites. Comp. Sci. Tech. 63. 1247-1254.

Caulfield, D. F., Feng, F., Prabawa, S., Young, R.A., and Sandi, A.R. (1999). Interphase effects on the mechanical and physical aspects of natural fiber composites. Die Angew. Makromol. Chem. 272. 57-64.

Dalvag, H., Klason, C., and Stromvall, H.-E. (1985). The efficiency of cellulosic fillers in common thermoplastics. 2. Filling with processing aids and coupling agents. Int. J. Polym. Mater. 11. 9-38.

Fang, D., Caulfield, D.F., and Sanadi, A.R. (2001). Effect of compatibilizer on the structure-property relationships of kenaf filler/polypropylene composites. Polym. Comp. 22(4). 506-517.

Felix, J.M. and Gatenholm, P. (1991). The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibres and polypropylene. J. Appl. Polym. Sci. 42. 609-620.

Felix, J.M., Gatenholm, P., and Schreiber, H.P. (1993). Controlled interactions in cellulose polymer composites. I. Effect on mechanical properties. Polym. Comp. 14. 449-457.

Gassan, J. and Bledzki, A.K. (1997). The influence of fibre-surface treatment on the mechanical properties of jute-polypropylene composites. Comp. Part A. 28. 1001-1005.

Hedenberg, P. and Gatenholm, P. (1995). Conversion of plastic cellulose waste into composites. I. Model of interphase. J. Appl. Polym. Sci. 56. 641-651.

Ichazo, M.N., Albano, C., Gonzalez, J., Perera, R., and Candal, M.V. (2001). Polypropylene/wood flour composites: Treatments and properties. Comp. Struct. 54. 207-214.

Joseph, P.V., Joseph, K., and Thomas, S. (1999). Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal fiber reinforced polypropylene. Comp. Sci. Tech. 59. 1625-1640.

Karnani, R., Krishnan, M., and Narayan, R. (1997). Biofiber-reinforced polypropylene composites. Polym. Eng. Sci. 37(2). 476-483.

Kazayawoko, M., Balatinecz, J.J., and Woodhams, R.T. (1997). Diffuse reflectance Fourier transform infrared spectra of wood fibers treated with maleated polypropylenes. J. Appl. Polym. Sci. 66. 1163-1173.

Manchado, M.A.L., Biagiotti, J., Torre, L., and Kenny, J.M. (2000). Effects of reinforcing fibers on the crystallization of polypropylene. Polym. Eng. Sci. 40. 2194-2204.

Meyers, G.E., Chahyadi, J.S., Coberly, C.A., and Ermen, D.S. (1991). Wood flour/polypropylene composites: Influence of maleated polypropylene and process and compositions variables on mechanical properties. Int. J. Polym. Mater. 15. 21-44.

Mohd Ishak, Z.A., Aminullah, A., Ismail, H., and Rozman, H.D. (1998). Effect of silane-based coupling agents and acrylic acid based compatibilizers on mechanical properties of oil palm empty fruit bunch filled high density polyethylene composites. J. Appl. Polym. Sci. 68. 2189-2203.

Nachtigall, S.M.B., Cerveira, G.S., and Rosa, S.M.L. (2007). New polymeric-coupling agent for polypropylene/wood-flour composites. Polym Test. 26. 619-628.

Oksman, K. and Clemons, C. (1998). Mechanical properties and morphology of impact modified polypropylene-wood flour composites. J. Appl. Polym. Sci. 67. 1503.

Qiu, W., Zhang, F., Endo, T., and Hirotsu, T. (2003). Preparation and characterization of composites of high crystalline cellulose with polypropylene: Effects of maleated polypropylene and cellulose content. J. Appl. Polym. Sci. 87. 337-345.

Qiu, W., Endo, T., and Hirotsu, T. (2006). Structure of properties of composites of highly crystalline cellulose with polypropylene: Effects of polypropylene molecular weight. Eur. Polym. J. 42. 1059-1068.

Rana, A. K., Mandal, A., Mitra, B.C., Jacobson, R., Rowell, R., and Benerjee, A.N. (1998). Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: Effect of compatibilizer. J. Appl. Polym. Sci. 69. 329-338.

Rong, M.Z., Zhang, M.Q., Liu, Y., Yang, G.C., and Zeng, H.M. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. Comp. Sci. Tech. 61. 1437-1447.

Saheb, D. N. and Jog, J.P. (1999). Natural fiber polymer composites: A review. Adv. Polym. Tech. 18. 351-363.

Sanadi, A.R., Caulfield, D.F., Jacobson, R.E., and Rowell, R.M. (1995). Renewable agricultural fibres as reinforcing fillers in plastics: mechanical properties of kenaf fibre-polypropylene composites. Ind. Eng. Chem. Res. 34. 1889-1896.

Satyanarayana, K.G., Sukumaran, K., Mukherjee, P.S., Pavithran, C., and Pillai, S.G.K. (1990). Natural fiber-polymer composites. Cem. Concr. Comp. 12. 117-136.

Schemenauer, J.J., Osswald, T.A., Sanadi, A.R., and Caulfield, D.E. (2000). Melt rheological properties of natural fiber reinforced polypropylene. The Society of Plastics Engineer: Annual Technical Conference, SPE ANTEC Technical Paper. 7-11 May. Florida. USA. 2206-2210.

Xie, X. L., Fung, K.L., Li, R.K.Y., Tjong, S.C., and Mai, Y-W. (2002). Structural and mechanical behavior of polypropylene/maleated styrene-(ethylene-co-butylene)-styrene/sisal fiber composites prepared by injection molding. J. Polym. Sci. Part B: Polymer Physics. 40. 1214-1222.

Yang, H-S, Kim, H-J, Park, H-J, Lee, B-J, and Hwang, T-S. (2007). Effect of compatibilizing agents on rich-husk flour reinforced polypropylene composites. Comp. Struct. 77. 45-55.

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 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล และ พ.ศ. 2542 Ph.D. (Polymer Engineering) University of Akron, OH, USA สาขาวิชาการที่มีความสนใจ กระบวนการขึ้นรูปและตรวจสอบพอลิเมอร์ (polymer processing and characterization) และพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต (polymer blends and composites) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 31 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ

ผู้ร่วมวิจัย

นาง วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000 การศึกษา พ.ศ. 2531 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2536 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ พ.ศ. 2544 Ph.D. (Macromolecular Science) Case Western Reserve University, OH, USA สาขาวิชาการที่มีความสนใจ สเปกโทรสโกปีของพอลิเมอร์ (spectroscopy of polymers) และคอมโพสิตอินเทอร์เฟส (composite interface/interphase) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 31 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 5 ฉบับ