



รายงานการวิจัย

การผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์
กับพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว

[The Production of Sisal / Unsaturated Polyester Resin Composite]

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราณี ชุมสำโรง

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2548-2549

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2553

บทคัดย่อ

พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านสรนารายณ์เตรียมขึ้นโดยวิธีลามิเนตด้วยมือ เส้นใยที่ใช้ได้แก่ เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน ขนาดความยาวเส้นใยประมาณ 2 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใยในพอลิเมอร์คอมโพสิตเท่ากับ 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตเปรียบเทียบกับพอลิเอสเตอร์เรซิน จากผลการทดสอบพบว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายสูงกว่าพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ค่ามอดูลัสของยังก์ ค่ามอดูลัสแรงดัดและค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าสูงกว่าพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และจากผลการทดสอบยังพบว่าสมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น แต่อย่างไรก็ตามค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าต่ำกว่าพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว

พอลิเมอร์คอมโพสิตที่แสดงผลโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดีและขึ้นรูปได้ไม่ยุ่งยาก คือ พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้นโดยใช้ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนนี้ใช้ในศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน

สารประสานไซเลนที่ใช้ในการศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้แก่ 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate , MPTS และ γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane , GPMS ระยะเวลาในการปรับสภาพพื้นผิวเท่ากับ 3 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยเท่ากันแต่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว พบว่า สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ผลที่ดี คือ พอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการบิดเบี้ยวที่สูงกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว

Abstract

Sisal/unsaturated polyester resin composites were produced using hand lay up lamination. Non-pretreated and alkalized fibers with the average length of 2 millimeter were employed. The amount of fibers in composites was 10, 15, 20 and 25 weight percentage. Thermal and mechanical properties of the composites were evaluated to compare with those of pure unsaturated polyester resin. Test results showed that degradation temperature of all composites was higher than that of unsaturated polyester resin. In addition, in comparison with unsaturated polyester resin, the composites possessed higher Young's modulus, flexural modulus and impact strength. Young's modulus and impact strength of the composites also increased with an increase of fiber contents. Moreover, from the test results, the composites prepared from alkalized fiber showed better properties than those produced using non-pretreated fibers. However, tensile strength and elongation at break of all composites were lower than those of unsaturated polyester resin.

The composites produced using 15 percent by weight of alkalized fibers were easily prepared and possessed good properties. Therefore, this ratio was selected to study the effect of fiber surface modification using silane coupling agent.

Silane coupling agents applied in this study were 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate, MPTS and γ -glycidoxy-propyltrimethoxysilane, GPMS. Duration of fiber surface modification was 3 and 24 h. Test results revealed that composites that contained surface modified fibers had insignificantly different properties from composites that contained non-surface modified fibers. However, composites produced from surface modified fibers tended to have a higher heat deflection temperature.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
1.5 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	3
บทที่ 2 ความเป็นมาและภูมิหลัง	
2.1 ป่านศรนารายณ์.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ป่านศรนารายณ์	6
2.3 พอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์คอม- โพลีระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยธรรมชาติ	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	11
3.1.1 การผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์	11
3.1.2 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอม โพลีท	11
3.2 วัสดุและวิธีการทดลอง	12
3.2.1 วัตถุดิบ.....	12
3.2.2 การเตรียมเส้นใย	12
3.2.3 การเตรียมพอลิเมอร์คอม โพลีท	13
3.2.4 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอม โพลีท	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	
4.1 ผลของอัตราส่วนของเส้นใยปานครนารายณ์ต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอม- โพลีท.....	17
4.1.1 สมบัติทางความร้อน	17
4.1.2 สมบัติทางกล	19
4.2 ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยปานครนารายณ์ด้วยสารประสานไซ- เลนต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพลีท.....	25
4.2.1 สมบัติทางความร้อน	25
4.2.2 สมบัติทางกล	27
4.2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	32
บทที่ 5 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย.....	35
ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม.....	37
ประวัติผู้วิจัย	39

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำหนักของเส้นใยปานครนารายณ์ต่อน้ำหนักของพอลิ- เอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว	14
4.1	อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่าง พอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพ พื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	27

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	
ชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นจากพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยธรรมชาติในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ Mercedes-Benz รุ่น E-class	4
2.2	
ลักษณะของต้นป่านศรนารายณ์.....	5
2.3	
ปริมาณส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์.....	6
2.4	
ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว	8
2.5	
ตัวอย่างลักษณะการเกิดโครงสร้างร่างแหของพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว....	9
4.1	
กราฟ (a) TGA และ (b) DTGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ.....	17
4.2	
กราฟ (a) TGA และ (b) DTGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ.....	18
4.3	
ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ	19
4.4	
ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ.....	20
4.5	
มอดุลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ	21

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ความแข็งแรงตัดของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่ อิมตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และ เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ ปริมาณเส้นใยต่างๆ	22
4.7 มอดุลัสแรงตัดของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่ อิมตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และ เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ ปริมาณเส้นใยต่างๆ	23
4.8 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์กับเส้น ใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ เมื่อใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาด เบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการ ทำอัลคาไลน์เซชัน (CL)	24
4.9 โครงสร้างโมเลกุลของ (a) GPMS และ (b) MPTS	25
4.10 กราฟ (a) TGA และ (b) DTGA ของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์และพอลิเมอร์คอม- โพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิมตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่าน การปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก	26
4.11 ความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่าง พอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิมตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพ พื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	28
4.12 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์และพอลิเมอร์คอมโพ- สิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบ ไม่อิมตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่าน การปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก	28
4.13 ค่ามอดุลัสของยั้งก์ของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่าง พอลิเอสเทอร์เรซินแบบ ไม่อิมตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพ พื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ความแข็งแรงตัดของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	30
4.15 โมดูลัสแรงคัดของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	31
4.16 ความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	32
4.17 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเอสเทอร์ และพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยปานสรนารายณ์ (a) polyester, (b) polyester/NP, (c) polyester/CL, (d) polyester/GPMS-3hr, (e) polyester/GPMS-24hr, (f) polyester/ MPTS-3hr, (g) polyester/MPTS-24hr....	33

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

phr	Part per hundred resin
SEM	Scanning electron microscope
CL	เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน
NP	เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (ล้างด้วยน้ำสะอาดและอบให้แห้งไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

พอลิเมอร์จัดเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ปัจจุบันยังคงมีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์อยู่เสมอ เพื่อให้มีคุณภาพและสมบัติดียิ่งขึ้น และต้นทุนการผลิตต่ำ แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ และลดต้นทุนการผลิต คือการทำ "พอลิเมอร์คอมโพสิต" (Polymer composites) ซึ่งเป็นวัสดุประกอบจากวัสดุสองชนิดคือ พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix) และเส้นใยเสริมแรง (Reinforcing fibers) พอลิเมอร์คอมโพสิตมีข้อดีหลายประการ [1] คือ

1. น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ
2. มีความแข็งแรง และก้ำบอดูลัสต่อน้ำหนักสูง
3. ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย จากขบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ฯลฯ
4. มีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ผุกร่อนง่าย และไม่ถูกทำลายโดยแมลงเช่น มอด ปลวก ฯลฯ
5. มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดี ดูดซับน้ำได้ต่ำกว่าไม้

ในปัจจุบันพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มากมายเช่นอุตสาหกรรมก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์รถยนต์ และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้เป็นวัสดุคอมโพสิตอาจเป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และเทอร์โมเซต (Thermosets) เช่น พอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin) อีพอกซี (Epoxy) ฯลฯ เส้นใยเสริมแรงที่นิยมใช้ได้แก่เส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) และเส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar fibers) ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยสังเคราะห์มีสมบัติเชิงกลดี อย่างไรก็ตามการใช้เส้นใยสังเคราะห์มีข้อดีหลายอย่าง ได้แก่ ทำให้เครื่องมือขึ้นรูปสึกกร่อน ผลิตจากวัสดุประเภทใช้แล้วหมดไป กำจัดยากเนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ใช้พลังงานในการผลิตสูงและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน จากเหตุผลดังกล่าวทำให้หลาย ๆ ประเทศมุ่งศึกษาค้นคว้าเพื่อนำเส้นใยธรรมชาติมาเป็นวัสดุเสริมแรงแทนเส้นใยสังเคราะห์ [2] ประเทศไทยมีเส้นใยธรรมชาติมากมาย บางชนิดเป็นเศษเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่น เส้นใย้อ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาล เส้นใยมะพร้าวจากอุตสาหกรรมกะทิ ซึ่งเหลือจากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ

ไม้อื่น ๆ เช่นอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมกระดาษเย็บกระดาษ ฯลฯ เส้นใยธรรมชาติมีข้อดีหลายประการ[1] ดังนี้

1. หาง่าย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีใช้ไม่หมดสิ้น และมีให้เลือกมากมายหลายชนิด
2. เส้นใยบางชนิดเป็นของเหลือทิ้ง หรือเป็นวัชพืช มีราคาถูก ทำให้สามารถใช้ลดต้นทุนการผลิต
3. เส้นใยมีสมบัติเชิงกลดี บางชนิดมีความแข็งแรงและมอดูลัสสูง
4. ความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีน้ำหนักเบา
5. สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่เป็นปัญหาในการกำจัด
6. ช่วยกำจัดและลดกากของเสียจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม

จากที่กล่าวไปจะเห็นได้ว่าเส้นใยธรรมชาติมีความสำคัญและมีผู้สนใจศึกษากันมาก รวมทั้งมีการผลิตผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเสริมแรงแล้วจริง ได้แก่ การผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในรถยนต์ [3] แต่ประเทศไทยเราซึ่งมีทรัพยากรเหล่านี้อยู่แล้วกลับไม่มีผู้ใดให้การสนับสนุนในการศึกษาและพัฒนาอย่างจริงจัง ในโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวและใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรง โดยเลือกใช้เส้นใยป่านสรนารายณ์ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเส้นใยที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีและมีผู้ศึกษากันกว้างเพื่อใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์กันมาก และมีการเพาะปลูกมากในเขตจังหวัดนครราชสีมา ในปัจจุบันเกษตรกรเพาะปลูกป่านสรนารายณ์เพื่อจำหน่ายให้กับกลุ่มแม่บ้านที่นำไปจักสานงานฝีมือ มีผลให้ราคาของเส้นใยไม่ดีนักและปริมาณที่ต้องการไม่แน่นอน สิ่งนี้อาจมีผลให้เกษตรกรผู้ปลูกป่านสรนารายณ์ละทิ้งอาชีพและถิ่นฐานเพื่อไปหางานอื่นทำในเขตเมืองใหญ่ ดังนั้นการวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์คอมโพสิตจึงเป็นเรื่องสำคัญและเร่งด่วนเนื่องจากการสร้างแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตผลทางการเกษตร ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น สร้างความเข้มแข็งให้กับสังคมพอเพียง และการนำทรัพยากรที่เรามีอยู่มาไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมเป็นการส่งเสริมการพึ่งพาตนเอง ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้การใช้เส้นใยเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์จะใช้ในปริมาณสูง ($\geq 30\%$ โดยปริมาตร) มีผลให้ช่วยลดปริมาณของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้มาจากทรัพยากรประเภทใช้แล้วหมดไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยพืชที่มีในประเทศไทย
2. เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตร
3. เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในงานวิจัยขั้นต่อไป

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เปรียบพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ใช้จะอยู่ในรูปแบบเส้นใยสั้นที่มีและไม่มี การปรับสภาพพื้นผิว
2. ขึ้นรูปใช้วิธีลามิเนตด้วยมือ โดยจะมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใยป่านศรนารายณ์
3. ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยแบบที่ไม่มี การปรับสภาพและมีการปรับสภาพพื้นผิว ตัวแปรที่ศึกษาประกอบไปด้วย ผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่องานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงคาดว่าจะได้รับประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. เป็นแนวทางการลดต้นทุนการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบโดยใช้เส้นใยพืชเป็นวัสดุเสริมแรง
2. เป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตร
3. เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้มีอาชีพเพาะปลูกป่านศรนารายณ์และสร้างความเข้มแข็งให้กับสังคมพอเพียง

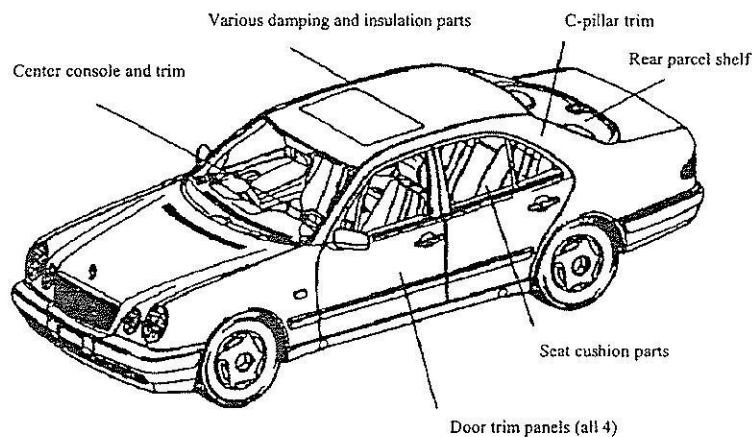
1.5 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยที่ได้จะเป็นความรู้เบื้องต้นที่สามารถนำไปวิจัยและพัฒนาต่อในระดับที่สูงขึ้น ดังนั้นหน่วยงานแรกที่สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ คือ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ โดยใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับโครงการวิจัยในระดับบัณฑิตศึกษา หน่วยงานลำดับต่อมา คือ อุตสาหกรรมการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบซึ่งสามารถนำผลงานวิจัยไปเป็นแนวทางสำหรับการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบที่มีต้นทุนต่ำกว่าการใช้เส้นใยสังเคราะห์เป็นวัสดุเสริมแรง นอกจากนี้ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกพืชเส้นใยป่านศรนารายณ์อาจมีตลาดรองรับสินค้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น เมื่อความต้องการเส้นใยเพิ่มมากขึ้นจะมีผลให้ราคาสินค้าเพิ่มขึ้นด้วย

บทที่ 2

ความเป็นมาและภูมิหลัง

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำเส้นใยธรรมชาติมาผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบกันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เนื่องจากการตระหนักถึงผลกระทบของการผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยสังเคราะห์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ใช้แล้วหมดไป (non-renewable resource) และสุขภาพของผู้ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต อุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เช่น ส่วนประกอบหลายชิ้นในรถยนต์ยี่ห้อ Mercedes Benz ผลิตขึ้นจากพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยธรรมชาติดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นจากพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยธรรมชาติในรถยนต์ส่วนบุคคลยี่ห้อ Mercedes-Benz รุ่น E-class [4]

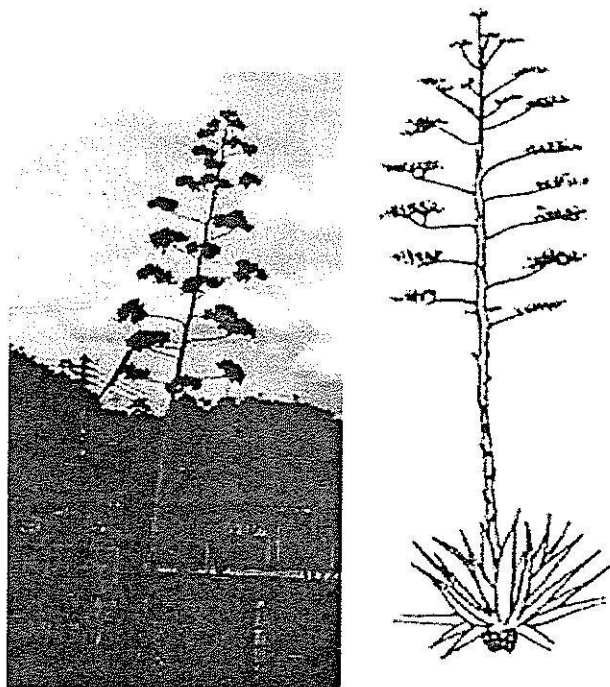
เส้นใยธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเหมาะสมและมีการนำมาศึกษาเพื่อผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบกันมากได้แก่ เส้นใยพืช ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามแหล่งของเส้นใย ได้แก่ เส้นใยจากเปลือกหุ้มลำต้น (bast fibers) และเส้นใยจากใบและส่วนของใบ (leaf fibers) โดยเส้นใยจากเปลือกหุ้มลำต้น ได้แก่ เส้นใยกล้วยง ปอกระเจา ป่านลินิน ปอควินา และป่านรามี่ สำหรับเส้นใยจากใบและส่วนของใบ ได้แก่ ป่านสรนารายณ์และเส้นใยกล้วย [5] ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกใช้เส้นใยชนิดที่ได้จากใบและส่วนของใบซึ่งได้แก่ เส้นใยป่านสรนารายณ์ เหตุผลของการเลือกใช้เส้นใยดังกล่าว คือ เส้นใยป่านสรนารายณ์เป็นเส้นใยที่มีการเพาะปลูกกันมากในเขตจังหวัดนครราชสีมา

เส้นใยธรรมชาติมีข้อดีหลายประการจึงได้รับความสนใจในการศึกษาเพื่อนำมาผลิตพอลิเมอร์เชิงประกอบดังที่กล่าวไปในบทที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงมีข้อด้อยที่ต้องคำนึงถึง คือ เส้นใยธรรมชาติมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic material) จึงทำให้เข้ากันได้ไม่ดีกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic materials) และเส้นใยธรรมชาติดูดซับความชื้น ซึ่งปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อความเสถียรของรูปร่างของพอลิเมอร์เชิงประกอบ เช่น เกิดการบวมตัว

ในบทนี้จะกล่าวถึงพืชเส้นใยที่เลือกใช้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งกล่าวถึงวิธีการปรับปรุง (modification) เส้นใยที่มีผู้ศึกษาเพื่อลดข้อด้อยของเส้นใยและเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์เมทริกซ์

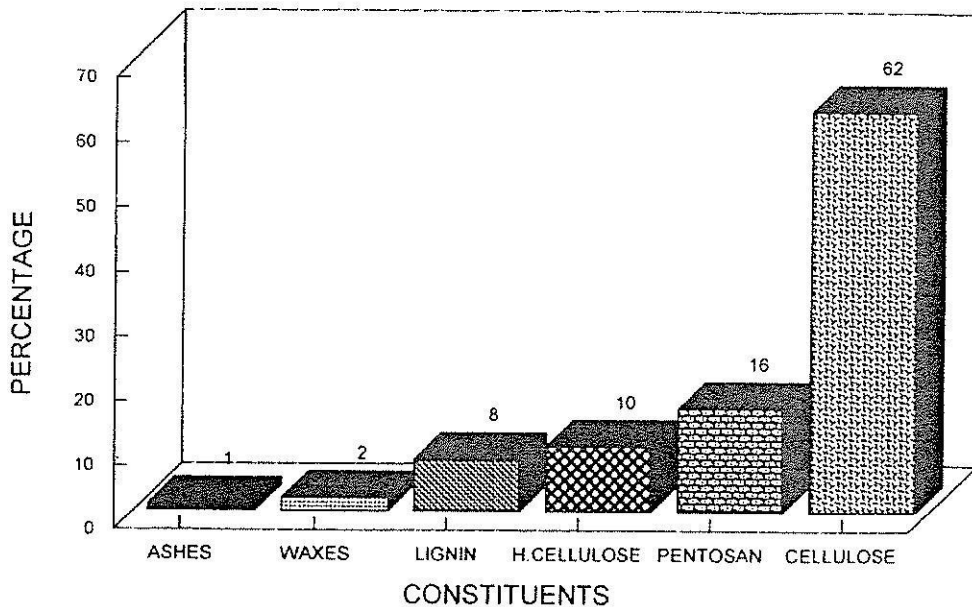
2.1 ป่านศรนารายณ์ (Sisal)

ป่านศรนารายณ์มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อะกาเว ไชซาลานา (*Agave sisalana* L) มีลำต้นหนา ปล้องถี่ มีรากอยู่ใต้พื้นดิน (Rhizome) ที่เกิดจากตาตรงมุมใบของลำต้นผิวดิน เจริญในแนวผิวดิน ห่างจากต้นแม่ไปประมาณ 2 เมตร และมีหน่อ (sucker) เกิดขึ้น รากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) ใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว (simple leaf) เกิดเป็นพุ่มแฉ่ (rosette) เวียนรอบลำต้นอย่างหนาแน่น สีเขียวเข้ม มีไข (waxy bloom) คลุมตลอดใบ ปลายใบมีหนามแข็งสีดำ [6]



รูปที่ 2.2 ลักษณะของต้นป่านศรนารายณ์ [6]

ส่วนใบของต้นป่านศรนารายณ์ คือ ส่วนที่ถูกนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรง มีส่วนประกอบทางเคมีหลักๆ คือ เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemi-cellulose), ลิกนิน (Lignin), เพนโทซาน (Pentosan) และ แวกซ์ (Waxes) โดยมีอัตราส่วนตามแผนภูมิในรูปที่ 2.3 ซึ่งคุณภาพของเส้นใยที่ได้จะขึ้นอยู่กับ สภาวะแวดล้อมของเส้นใยป่านศรนารายณ์ เช่น แหล่งเพาะปลูก, ปริมาณน้ำและอาหารที่พืชได้รับ และอายุของพืชเป็นต้น



รูปที่ 2.3 ปริมาณส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ [7]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นวัสดุเสริมแรง

การใช้ประโยชน์หลักของเส้นใยป่านศรนารายณ์ คือ ใช้ทำเชือกขนาดใหญ่สำหรับลากจูงเรือและใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ [8] ด้วยคุณสมบัติที่มีความแข็งแรงดังกล่าว จึงมีการศึกษาการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ในการเสริมแรงให้แก่พอลิเมอร์ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ตัวอย่างเทอร์โมพลาสติกที่มีการศึกษาได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง [9] พอลิโพรพิลีน [10] และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ [11] สำหรับตัวอย่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ชนิดเทอร์โมเซต ได้แก่ อีพอกซีเรซิน ฟีนอลิกเรซิน และพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว [12] และจากที่กล่าวไปข้างต้นว่า เส้นใยธรรมชาติที่มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) นั้นมักเข้ากันได้ไม่ดีกับพอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เส้นใยป่านศรนารายณ์ก็เช่นเดียวกันจึงมีการศึกษาถึงการเพิ่มความเข้ากันได้โดยทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีต่าง ๆ ด้วย ตัวอย่างวิธีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยได้แก่ การทำอัลคาไลเซชัน [13] และการดัดแปรเส้นใยโดยใช้สารเคมี [14-15] หรือการเติมสารประสาน

(coupling agent) รวมทั้งการเคลือบเส้นใยด้วยพอลิเมอร์ [16] ผลการศึกษาถึงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นวัสดุเสริมแรงสามารถสรุปได้ดังนี้

Rong และคณะ [17] ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของอีพอกซีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ตามธรรมชาติกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 % ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ ปริมาณของเส้นใย คณะผู้วิจัยพบว่า พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์มีคุณสมบัติเชิงกลเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นด้วย และให้ค่าที่ดีขึ้นเมื่อใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

Antich และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาถึงผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ชนิดสั้นให้กับพอลิสไตรีนชนิดความต้านทานสูง (High impact polystyrene, HIPS) โดยใช้เส้นใยในปริมาณต่างๆ กัน พบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ชนิดสั้นสามารถเพิ่มค่าความต้านทานการเปลี่ยนรูปให้แก่พอลิเมอร์คอมโพสิต แต่มีผลให้ค่าความแข็งแรงในเชิงการดึงลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ชนิดสั้นสามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงกระแทกได้สูงสุดที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น

Jacob และคณะ [19] ศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยมีตัวแปรต่างๆ คือ ปริมาณเส้นใย ความยาวของเส้นใย การทำอัลคาไลน์เซชันให้กับเส้นใยที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงในเชิงการดึง, ค่าความต้านทานการฉีกขาด และค่ามอดูลัสให้แก่พอลิเมอร์คอมโพสิต แปรผันตามปริมาณเส้นใยและความยาวของเส้นใย และยังพบอีกด้วยว่าการทำอัลคาไลน์เซชันให้กับเส้นใยที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงในเชิงการดึง, ค่าความต้านทานการฉีกขาด และค่ามอดูลัสให้แก่พอลิเมอร์คอมโพสิตได้มากที่สุด

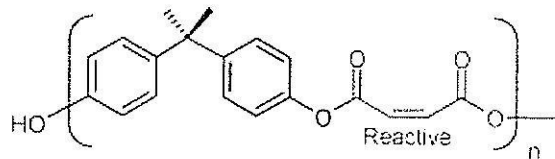
Choudhury [20] ได้ศึกษาถึงการเกิดผลึกและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างป่านศรนารายณ์กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยเส้นใยป่านศรนารายณ์ในการศึกษานี้เป็นเส้นใยสั้น (~ 4 มิลลิเมตร) ซึ่งผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน และมีการใช้สารประสานประเภทไอออนเมอร์ ผลที่ได้ คือ เส้นใยป่านศรนารายณ์สามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อเกิดนิวเคลียสของผลึก (nucleating agent) ให้กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอม

โพลีทรีมาสูงขึ้นด้วย โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าการใช้ไอออนเมอร์เป็นสารประสานทำให้การถ่ายโอนแรงจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

2.3 พอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยธรรมชาติ

พอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวเป็นเรซินที่มีพันธะคู่อยู่ในสายโซ่ การมีพันธะคู่นี้ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาและได้เป็น โครงสร้างร่างแหกับมอนอเมอร์ที่อยู่ในระบบ โดยผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ มอนอเมอร์ที่อยู่ในระบบโดยส่วนใหญ่คือ สไตรีน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายด้วย ตัวอย่าง โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวแสดงไว้ในรูปที่

2.4

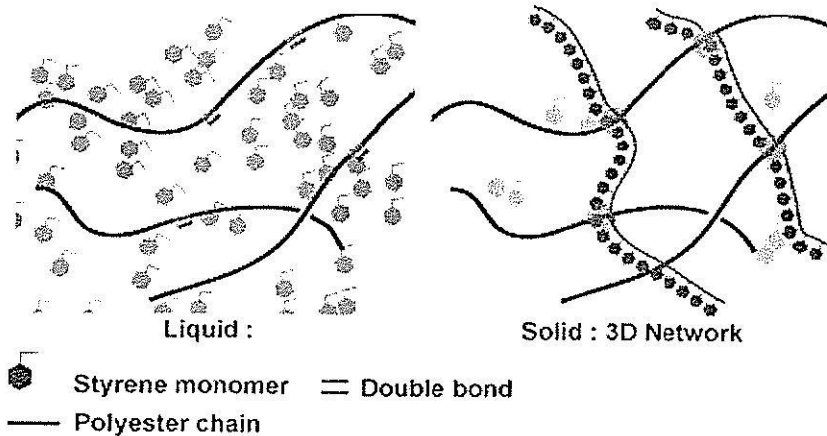


รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว [21]

พอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวเป็นเทอร์โมเซตที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวัสดุวิศวกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นๆ ดังต่อไปนี้ [22]

1. สามารถขึ้นรูปได้ง่าย แม้ที่อุณหภูมิห้อง
2. มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี และมีความโปร่งแสง
3. ไม่มีของเสียเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิด โครงสร้างร่างแห
4. ขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิ และความดันต่ำ

กระบวนการเกิดโครงสร้างร่างแห (crosslinking mechanism) ของพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวเริ่มด้วยตัวริเริ่มปฏิกิริยา (initiator) เช่น เปอร์ออกไซด์ แยกตัวได้อองค์ประกอบที่มีอนุมูลอิสระ (free radical) เข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์และกับพันธะคู่ (double bond) ในสายโซ่พอลิเอสเทอร์เรซิน แล้วทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้โครงสร้างที่เป็นร่างแห (network) ตัวอย่างลักษณะการเกิดโครงสร้างร่างแหของพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะการเกิดโครงสร้างร่างแหของพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว [19]

พอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวถูกนำมาใช้เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ในวัสดุคอมโพสิตอย่างแพร่หลาย ส่วนมากแล้วจะเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ทำมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ซึ่งเป็นเส้นใยที่มีราคาแพงและมาจากวัสดุที่ไม่สามารถทดแทนได้ (Nonrenewable resource) ปัจจุบันมีการพัฒนาพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งนอกจากจะหาได้ง่ายแล้ว ยังมีราคาที่ถูกลงและเป็นการใช้ทรัพยากรที่คุ้มค่าด้วย

Gowda และคณะ[23] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยปอที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงใดๆ โดยตัวแปรที่คณะผู้วิจัยใช้คือความยาวของเส้นใย ลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใย และ จำนวนชั้นของการเรียงตัวของเส้นใย จากการศึกษาของคณะผู้วิจัยพบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวแบบสานเป็นแผ่นๆ ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ และค่าสมบัติเชิงกลแปรผันตามจำนวนชั้นที่ใช้ในการเสริมแรง จากการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงตัวของเส้นใยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต

Aziz และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยปอกระเจา (kenaf) ที่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6% ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และใช้พอลิเอสเตอร์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ A, B, C และ D โดยที่ พอลิเอสเตอร์ A คือ พอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวในสไตรีนมอนอเมอร์ พอลิเอสเตอร์ B คือ พอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวในสไตรีนมอนอเมอร์ ที่ทำการปรับปรุงให้มีสภาพความเป็นขี้ เพื่อการยึดติดกับเส้นใยที่ดีขึ้น พอลิเอสเตอร์ C และ D คือ พอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวในสไตรีนมอนอเมอร์ ที่มีการเติมมอนอเมอร์ชนิดอื่นลงไปด้วย

ผลการศึกษาของคณะผู้วิจัยกลุ่มนี้พบว่า พอลิเอสเทอร์ B ซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์แบบไม่อิ่มตัวในสไตรีนที่ทำการปรับปรุงให้มีสภาพความเป็นขั้วมากขึ้นเพื่อการยึดติดกับเส้นใยที่ดีขึ้นนั้นให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด สรุปได้ว่า ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใยเสริมแรง เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต

Devi และคณะ [24] ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยจากใบสับปะรด โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ความยาวของเส้นใย จำนวนของเส้นใย และผลของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารประสาน ไชเลน คณะผู้วิจัยได้ใช้ความยาวของเส้นใยที่ต่างกัน 4 ขนาด คือ 10 , 20 , 30 และ 40 มิลลิเมตร พบว่าที่ 30 มิลลิเมตร ให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และศึกษาต่อถึงผลของปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน คือ 10 , 20 , 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแสดงสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จึงทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยสารประสาน ไชเลน 2 ชนิด คือ vinyltri(2-ethoxy methoxy) silane และ γ -aminopropyl trimethoxysilane จากการศึกษาพบว่าการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยสารประสาน ไชเลนทั้ง 2 ชนิด สามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลให้แก่พอลิเมอร์คอมโพสิต โดยที่สารประสาน ไชเลน vinyltri(2-ethoxy methoxy) silane ให้คุณสมบัติที่ดีกว่า

Baley และคณะ [25] ศึกษาถึงผลของการดัดแปรเส้นใยป่านลินิน (Flax) ด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติการยึดติดระหว่างเส้นใยป่านลินินกับพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว โดยสารเคมีที่คณะผู้วิจัยใช้ได้แก่ 1. กรดฟอร์มิก 2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล และ 3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับอะซิติกแอนไฮไดรด์ คณะผู้วิจัยพบว่าการใช้สารเคมีชนิดที่ 1 และ 3 มีแนวโน้มทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยป่านลินินกับพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวดีขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจะอยู่ในรูปของเส้นใยสั้นขนาดความยาว 2 มิลลิเมตร โดยทำการศึกษาทั้งชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวและทำการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใย

3.1.1 การผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์

ผสมเส้นใยป่านสรนารายณ์กับพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยน้ำหนักของเส้นใยต่อน้ำหนักของชิ้นงานคอมโพสิตที่ 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปโดยด้วยการลามิเนตด้วยมือ (Hand lay up lamination) และ ทำการศึกษาผลของสารปรับสภาพพื้นผิวจำนวน 2 ชนิด ที่ต่างชนิดกันคือ สารประสานไซเลน γ -glycidoxypopyl trimethoxysilane, GPMS และ สารประสานไซเลน 3-(trimethoxysilyl) propyl methacrylate , MPTS

3.1.2 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจะทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

สมบัติทางความร้อน ได้แก่

- อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (Heat distortion temperature, HDT) โดยใช้ HDT Tester
- อุณหภูมิการเสื่อมสลายโดยเครื่อง Thermogravimetric analyzer, TGA

สมบัติทางกล ได้แก่

- ความทนต่อแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine
- ความทนต่อแรงกระแทก โดยใช้เครื่อง Impact Tester
- ความทนต่อแรงค้ำ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope

3.2 วัสดุและวิธีการทดลอง

3.2.1 วัตถุดิบ

เส้นใยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้เส้นใยที่มีอยู่ในประเทศ โดยซื้อจากกลุ่มแม่บ้านหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ต.บ้านเก่า อ. ด่านขุนทด จ. นครราชสีมา และนำป่านศรนารายณ์ไปผ่านการเตรียมด้วยขั้นตอนต่างๆ ก่อน ได้แก่ การสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (Cleaned, CL) และการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานซิลเลน (Silane treated, ST) ต่างกันจำนวน 2 ชนิด คือ สารประสานซิลเลน γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane, GPMS และสารประสานซิลเลน 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate, MPTS พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้คือพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว สารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมเส้นใย ได้แก่ เมทิลแอลกอฮอล์ เบนซีน โซเดียมไฮดรอกไซด์ เอทิลแอลกอฮอล์ และกรดอะซิติก

3.2.2 การเตรียมเส้นใย

3.2.2.1 การทำความสะอาดเส้นใย

วัตถุดิบ

เส้นใยป่านศรนารายณ์ เมทิลแอลกอฮอล์ (Methanol: commercial grade) และเบนซีน (Benzene: commercial grade)

การล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด

นำเส้นใยป่านที่อยู่ในรูปเส้นใยยาวประมาณ 2 เมตร มาตัดให้มีมีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร โดยคัดเอาเฉพาะส่วนโคนประมาณ 2 ใน 3 ของความยาวทั้งหมด ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) คือ เส้นใยจากขั้นตอนนี้นำไปตัดให้ได้ความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร

3.2.2.2 การสกัดด้วยตัวทำละลายผสมด้วยวิธีการต้ม

นำเส้นใยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำและอบแห้ง ไปต้มกับตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอล (Methanol) กับเบนซีน (Benzene) ที่อัตราส่วน 1:1 คือ ตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร ต่อเส้นใย 10 กรัม (liquor ratio 10:1) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บเส้นใยที่แยกออกจากตัวทำละลายไว้ในตู้ดูดควัน 1 คืน เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไป หลังจากนั้นจึงจะนำไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำและตัวทำละลายที่อาจหลงเหลืออยู่ แล้วนำไปเก็บในโถดูดความชื้น (Desiccator)

3.2.2.3 การทำอัลคาไลน์เซชัน

วัตถุดิบ

เส้นใยป่านขนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: Merck)

วิธีทดลอง

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อเส้นใยคือ 10 ต่อ 1 (liquor ratio 10:1) ต้มเส้นใยกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วล้างให้สะอาดให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 7 หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.2.4 การปรับสภาพพื้นผิวของเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน

วัตถุดิบ สารประสานไซเลนชนิดต่างๆ จำนวน 2 ชนิดดังต่อไปนี้

- 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate , MPTS

- γ - glycidoxypropyltrimethoxysilane , GPMS

สารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ กรดอะซิติก เอทิลแอลกอฮอล์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์

การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใย

-การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน γ - glycidoxypropyl trimethoxysilane , GPMS ทำได้โดยเตรียมสารละลาย GPMS ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้เท่ากับ 3.5 หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมาแช่ในสารละลายไซเลน โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายไซเลนกับเส้นใยคือ 10:1 (liquor ratio 10:1) เวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ล้างออกให้สะอาดอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

-การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate , MPTS ทำได้โดยเตรียมน้ำผสมกับเอทานอล ในอัตราส่วน 70:30 แล้วจึงละลายสาร MPTS ให้มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้เท่ากับ 3.5 หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมาแช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ล้างออกให้สะอาดด้วยเมทานอล อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.3 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

วิธีการจัดเตรียมแม่พิมพ์

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้แม่พิมพ์ขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร ความยาว 25 เซนติเมตร ความหนา 6 มิลลิเมตร การเตรียมแม่พิมพ์ทำโดยเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยการ

ทาจี้ผึ้ง (Wax) และนำแผ่นใส วางรองไว้ในแม่พิมพ์เพื่อป้องกันชั้นงานติดแม่พิมพ์ นำแม่พิมพ์ไปวางไว้ในถาดอลูมิเนียมจัดให้อยู่กึ่งกลางของถาด ปรับระดับด้วยตัววัดระดับน้ำ วัดระดับของแม่พิมพ์ให้มีระดับที่เท่ากันทั่วทั้งแม่พิมพ์

การขึ้นรูปชิ้นงาน

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ อัตราส่วน โดยนำน้ำหนักระหว่างเส้นใยป่านสรนารายณ์ต่อน้ำหนักโดยรวมของชิ้นงานคอมโพสิต โดยกำหนดให้น้ำหนักรวมของชิ้นงานคอมโพสิตคงที่ที่ 1800 กรัม จากนั้นเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเส้นใยป่านสรนารายณ์ให้มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่แตกต่างกัน ซึ่งอัตราส่วนผสมที่พอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมตัวและตัวทำแข็งทำปฏิกิริยาพอดีกันคือ 100:1 (phr =1) สัดส่วนของปริมาณเส้นใยป่านสรนารายณ์ พอลิเอสเตอร์เรซินและปริมาณตัวทำแข็งที่ใช้ในการเตรียมพอลิเอสเตอร์คอมโพสิตที่อัตราส่วน โดยน้ำหนักต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำหนักของเส้นใยป่านสรนารายณ์ต่อน้ำหนักของพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมตัว

เปอร์เซ็นต์เส้นใยต่อน้ำหนัก รวมของคอมโพสิต (W/W)	น้ำหนักป่าน สรนารายณ์ (g)	น้ำหนักของพอลิเอสเตอร์ เรซินแบบไม่อิมตัว (g)	น้ำหนักของตัว ทำแข็ง(g)
0	0	1782	18
10	180	1604	16
15	270	1515	15
20	360	1426	14
25	450	1337	13

ในการเตรียมชิ้นงานคอมโพสิตจากเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น, เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดพื้นผิว และเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว จะทำการการเตรียมชิ้นงาน โดยวิธีที่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น การเตรียมชิ้นงานที่ 10 เปอร์เซ็นต์เส้นใยต่อน้ำหนักรวมของคอมโพสิต ของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น

เริ่มต้นด้วยนำเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านขบวนการเตรียมเส้นใยเรียบร้อยแล้ว นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ทำการชั่งน้ำหนักเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่เย็นแล้วจำนวน 180 กรัม ใส่ถุงซิปรอทำการผสมในขั้นตอนต่อไป เตรียมน้ำยาพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมตัวกับตัวทำแข็ง โดยชั่งน้ำยาพอลิเอสเตอร์

เรซิน 1604 กรัม และ ตัวทำแข็ง 16 กรัม ใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ ผสมน้ำยาพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่ อิ่มตัวและเส้นใยป่านครนารายณ์เข้าด้วยกัน ใส่เส้นใยป่านครนารายณ์ลงในภาชนะเดียวกับน้ำยาพอลิเอสเทอร์ที่ละน้อย แล้วกดให้จมน้ำยาพอลิเอสเทอร์ด้วยเกรียง ป้อนี ผสมน้ำยาพอลิเอสเทอร์และเส้นใยทั้งหมดให้เข้ากันเป็นอย่างดี สังเกตได้จากความขุ่นขึ้นของเส้นใยที่เปียกน้ำยาและทิ้งไว้สักครู่ ทำการเติมตัวทำแข็งลงไปและกวนผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องปั่นผสม (Mixer) เทส่วนผสมดังกล่าวลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แล้วปิดแม่พิมพ์ด้วยแผ่นเหล็ก จากนั้นเทน้ำเย็นลงในถาดอลูมิเนียมเพื่อช่วยในการคายความร้อนของชิ้นงานขณะเกิดปฏิกิริยา ปล่อยให้ทิ้งไว้ นาน 24 ชั่วโมงแล้วแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ตัดชิ้นงานขนาดต่าง ๆ ตามมาตรฐานการทดสอบแต่ละชนิด โดยใช้เครื่องเลื่อยชนิดสายพาน ทำการขัดขอบของชิ้นงานด้วยเครื่องกระดาดทรายชนิดสายพานเพื่อให้ผิวเรียบ นำชิ้นงานที่ได้ทำการอบบ่ม (post cure) โดยการอบในตู้อบ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้ปล่อยให้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมงจึงนำไปทดสอบ

3.2.4 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

3.2.4.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการเสื่อมสลาย (Decomposition temperature)

การทดสอบหาค่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของตัวอย่างนั้น จะนำพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผสมและบดแล้วไปทดสอบด้วยเครื่อง Thermo-gravimetric Analyzer (TGA, TA Instrument รุ่น SDT 2960) โดยจะให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง (10-20 มิลลิกรัม) ด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาต่อ นาที ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 600 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะก๊าซในโตรเจน

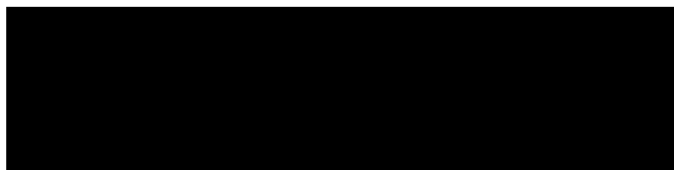
อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานโดยใช้ HDT Tester

โดยใช้เครื่องทดสอบ HDT รุ่น HDV 1 Manual DTVL/VICAT ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 648 ใช้แรงกดมาตรฐาน 1820 กิโลปาสคาล (kPa) เพิ่มอุณหภูมิในอัตราคงที่ 2 ± 0.2 องศาต่อ นาที หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากการทดสอบชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้น

3.2.4.2 การทดสอบสมบัติทางกล

ความทนต่อแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 5083-96 โดยเตรียมชิ้นงานขนาด กว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 210 มิลลิเมตร ทำการวัดขนาดชิ้นงาน ความกว้าง และความหนา ของชิ้นงานบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวของชิ้นงาน จากนั้นนำไปทดสอบ ความทนต่อแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ใช้ความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อ นาที ใช้ระยะความยาวเกท (gage length) 115 มิลลิเมตร



ความทนต่อแรงกระแทก โดยใช้เครื่อง Impact tester

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5941 ทำการเตรียมชิ้นงานกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 63.5 มิลลิเมตร จำนวน 10 ชิ้น ทำการวัดขนาดชิ้นงาน ความกว้าง และความหนา ของชิ้นงานบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวของชิ้นงาน จากนั้นนำไปทดสอบ ความทนต่อแรงกระแทกโดยใช้เครื่อง Impact tester ใช้ขนาดหัวตี 2.7 จูล (J)

ความทนต่อแรงค้ำ (Flexural test)

ทำการทดสอบทดสอบการค้ำดงแบบ 3 จุด (3-point bending) ตามมาตรฐาน ASTM D790-97 ทำการเตรียมชิ้นงานกว้าง 27 มิลลิเมตร ยาว 130 มิลลิเมตร ทำการวัดขนาดชิ้นงาน ความกว้าง และความหนา ของชิ้นงานบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวของชิ้นงาน จากนั้นนำไปทดสอบความทนต่อแรงค้ำดงโดยใช้อัตราเร็วในการกด 2.52 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้ระยะกว้างระหว่างแท่งค้ำยัน (support span) 96 มิลลิเมตร

3.2.4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) รุ่น JSM 6400 ที่ 10 keV ใช้กำลังขยาย 50 เท่า และ 2000 เท่า โดยใช้ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนต่อแรงกระแทกขยายตรงบริเวณที่เป็นรอยหักของชิ้นงาน โดยศึกษาจากบริเวณรอยแตกของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก

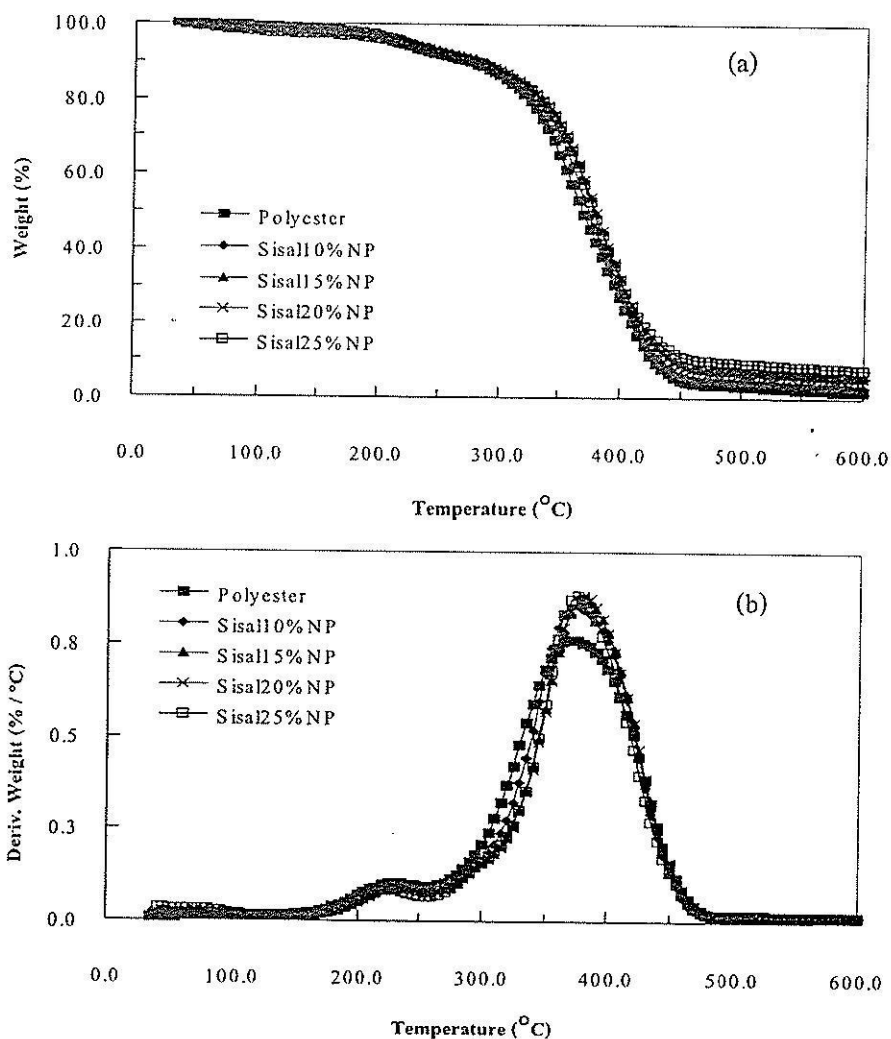
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

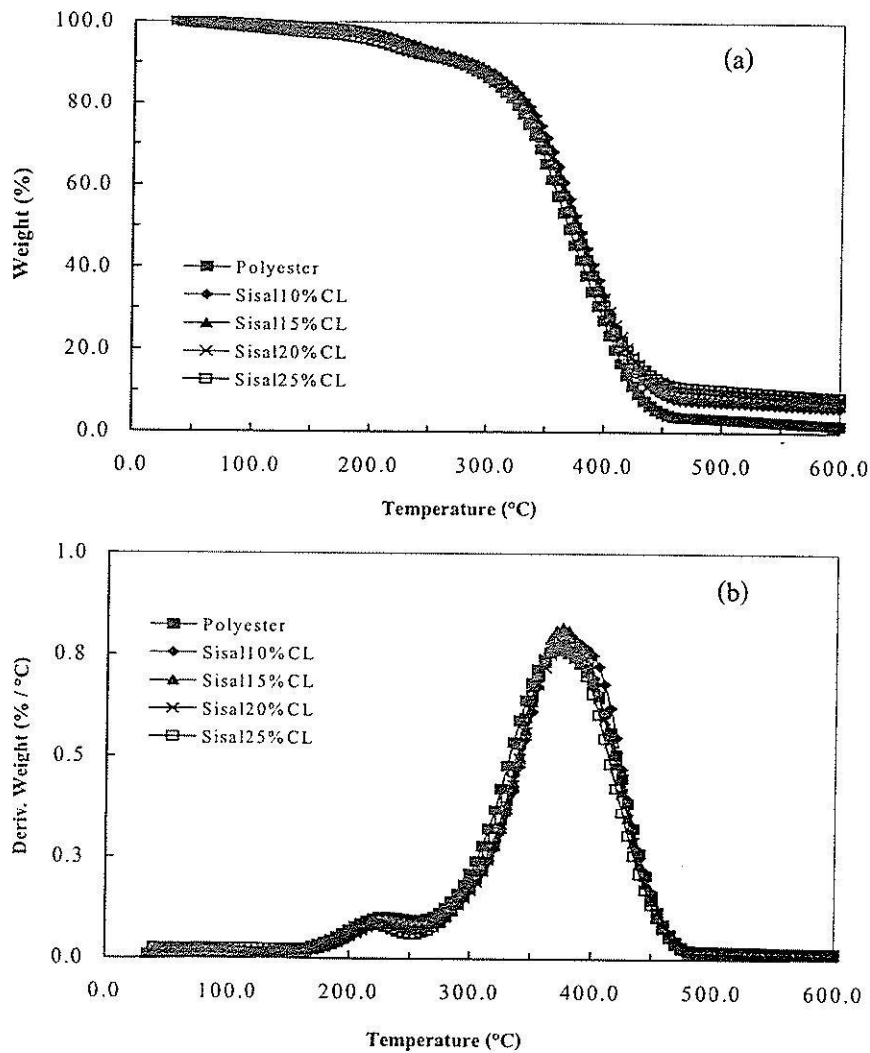
4.1 ผลของอัตราส่วนของเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

4.1.1 สมบัติทางความร้อน

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงอุณหภูมิการเสื่อมสลายของชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.1 กราฟ (a) TGA และ (b) DTGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ



รูปที่ 4.2 กราฟ (a) TGA และ (b) DTGA ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมดักกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

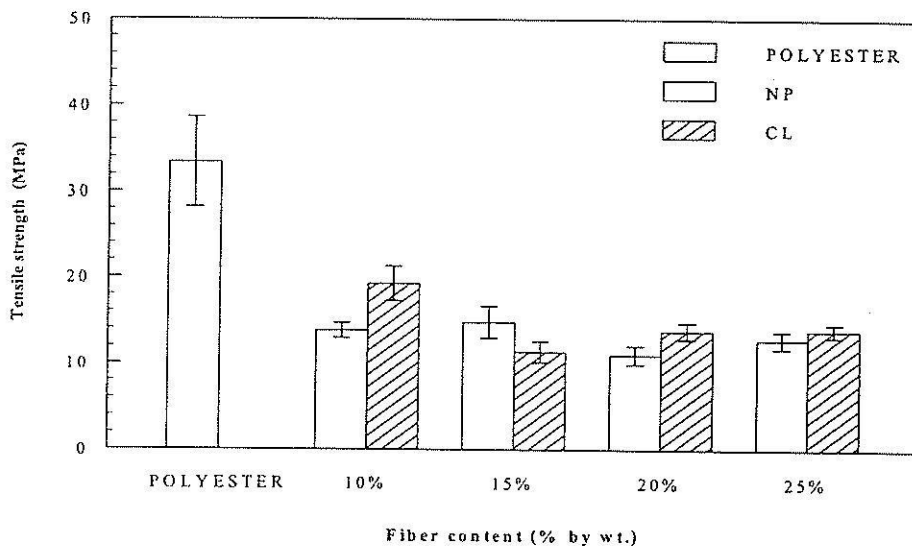
จากผลการทดลองค่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของชิ้นงานที่มีปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กันและใช้เส้นใยที่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (เส้นใย NP) และเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน (เส้นใย CL) ที่ได้ตามรูปที่ 4.1-4.2 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มสูงกว่าพอลิเอสเตอร์เรซินเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามค่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของชิ้นงานที่เตรียมขึ้นโดยใช้เส้นใยที่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (เส้นใย NP) และเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน (เส้นใย CL) มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเตรียม

พอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติทำให้อุณหภูมิการเสื่อมสลายของชิ้นงานสูงขึ้นส่งผลต่อการนำไปใช้งานในสภาวะที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติ เช่น ชิ้นส่วนภายในรถยนต์ที่บางครั้งอาจจอดในที่กลางแจ้งได้รับความร้อนสูง

4.1.2 สมบัติทางกล

4.1.2.1 สมบัติการทนต่อแรงดึง

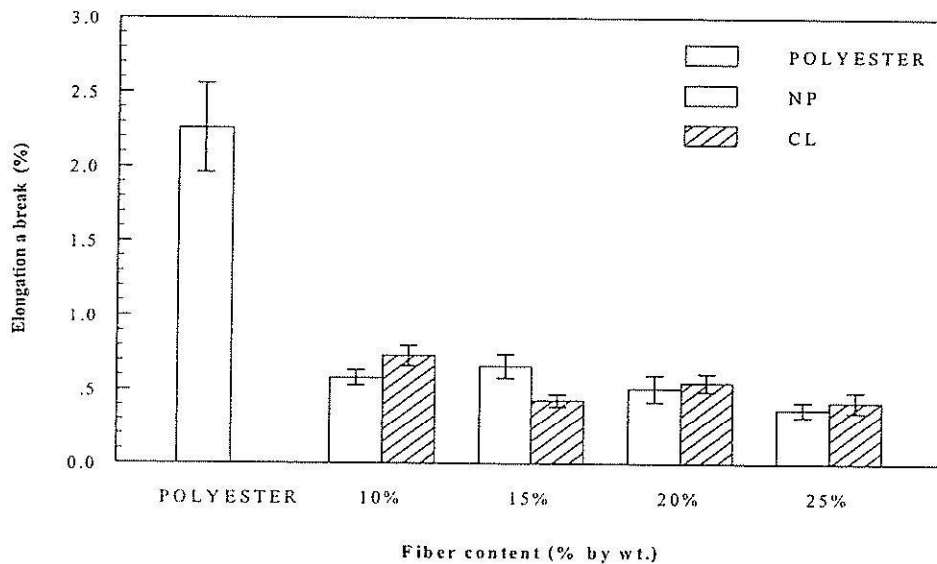
ค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดแตกหัก และมอดุลัสของยังก์ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.3-4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานคอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์และเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่าต่ำกว่าค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเอสเตอร์เรซิน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์แตกต่างกันนั้น พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และโดยส่วนใหญ่ชิ้นงานคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันจะมีค่าความทนต่อแรงดึงมากกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยป่านที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น

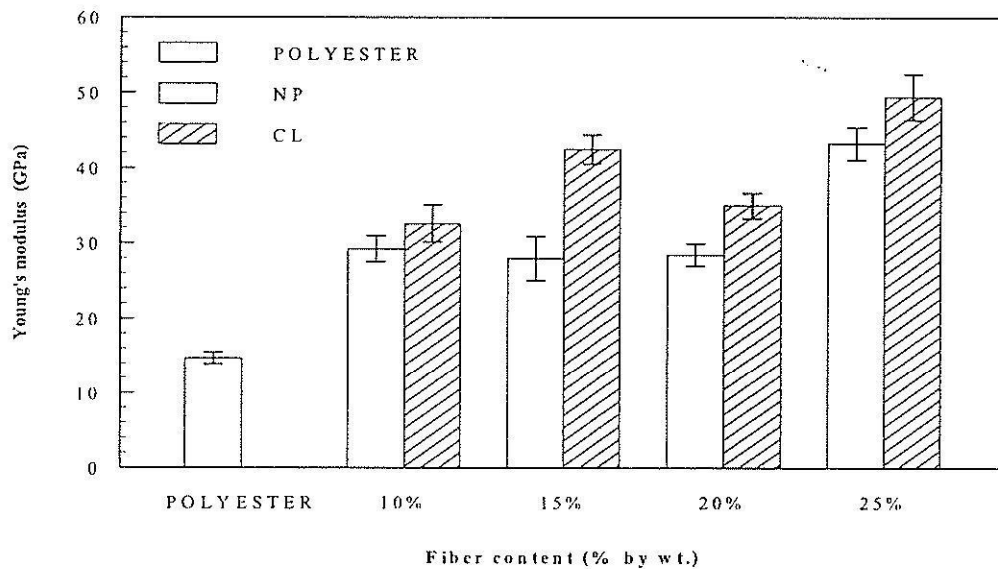
ความทนต่อแรงดึงที่ลดลงเมื่อทำการเติมเส้นใยเข้าในระบบคอมโพสิตอาจเนื่องมาจากธรรมชาติการดูดซับความชื้นของเส้นใยทำให้ภายในชิ้นงานมีฟองอากาศเกิดขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณของเส้นใย ผลที่ได้จะทำให้เกิดความเข้มข้นของแรง (stress concentration) ณ บริเวณที่เกิดฟองอากาศ ซึ่งเป็นรอยโหว่ (void) ทำให้ชิ้นงานแตกหักได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ไม่ดี ก็อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักง่าย เนื่องจากการถ่ายเทแรงที่ผิวสัมผัสไม่ดี เมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้นพื้นที่ผิวสัมผัสก็จะมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.4 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมมัลชันกับเส้นใยป่านทรายชนิดที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์มีค่าสูงกว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานของคอมโพสิต และค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแข็งของเส้นใยและความเข้ากันได้ก่อนข้างค้ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่เตรียมขึ้นจากเส้นใยป่านทรายชนิดที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น และกรณีที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันจะพบว่าการทำอัลคาไลน์เซชันมีแนวโน้มทำให้ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากการทำอัลคาไลน์เซชันมีผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ดีขึ้น

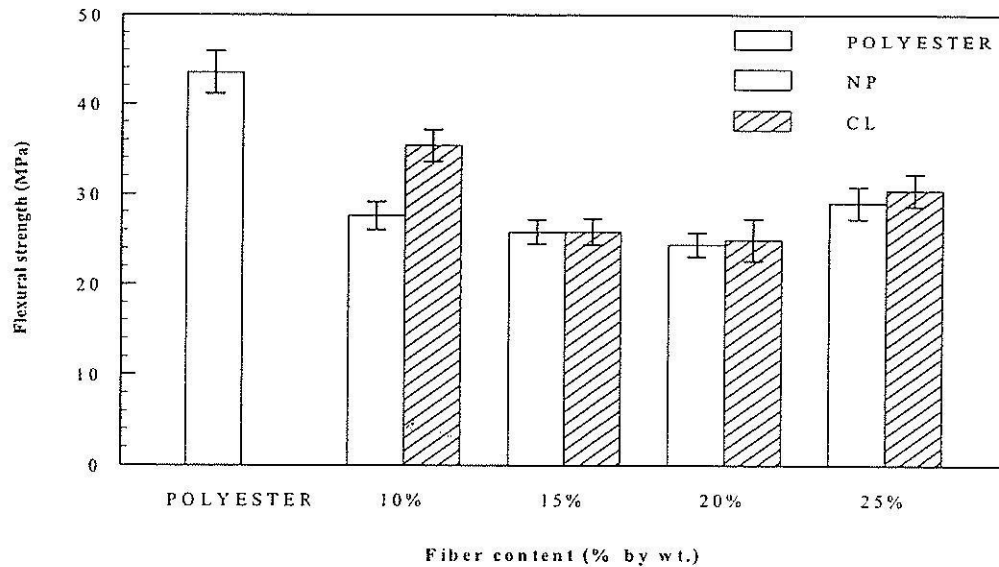
จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.5 พบว่าค่ามอดูลัสของยั้งก์ของชิ้นงานคอมโพสิตจะมีค่าสูงกว่าค่ามอดูลัสของยั้งก์ของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน พบว่าชิ้นงานที่เตรียมจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะมีค่ามอดูลัสน้อยกว่าคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน และเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสของยั้งก์จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับด้วย ผลที่ได้เป็นไปตามคาดเนื่องจากเส้นใยมีค่ามอดูลัสของยั้งก์สูง ดังที่อธิบายไปข้างต้นถึงการลดลงของค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก



รูปที่ 4.5 มอดูลัสของยั้งก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

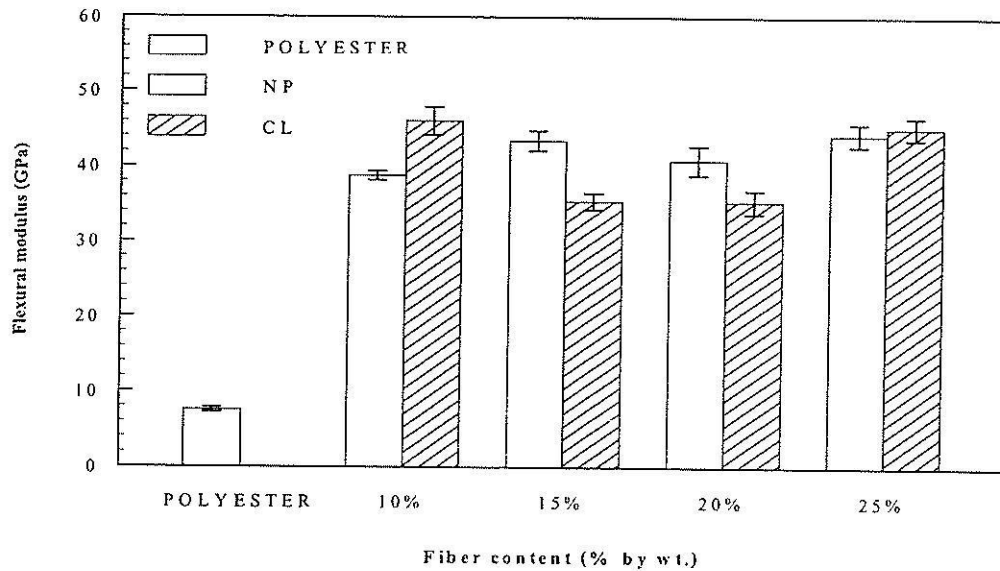
4.1.2.2 สมบัติการทนต่อแรงดัด

ค่าความแข็งแรงดัด และ ค่ามอดูลัสแรงดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่อัตราส่วน โดยน้ำหนักต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ความแข็งแรงคัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.6 พบว่าค่าความแข็งแรงคัดของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์มีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงคัดของชิ้นงานคอมโพสิต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยปานครนารายณ์ต่างกัน จะพบว่าในกรณีที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นในช่วงปริมาณ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีค่าความแข็งแรงคัดลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยปานครนารายณ์เพิ่มสูงขึ้น แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อมีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับกรณีเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน พบว่าความแข็งแรงคัดแนวโน้มเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ในช่วงปริมาณเส้นใย 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความแข็งแรงคัดจะลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยปานครนารายณ์เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักค่าความแข็งแรงคัดเพิ่มขึ้นแต่ยังคงต่ำกว่าพอลิเอสเตอร์เรซิน และผลโดยรวมจะเห็นว่าเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันจะให้ค่าที่ดีกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น สาเหตุการลดลงของค่าความแข็งแรงคัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตเมื่อเทียบกับพอลิเอสเตอร์เรซินนั้นอาจเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสของเส้นใยกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่ดีเพียงพอ การทำอัลคาไลน์เซชันช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวดังกล่าวได้ระดับหนึ่ง

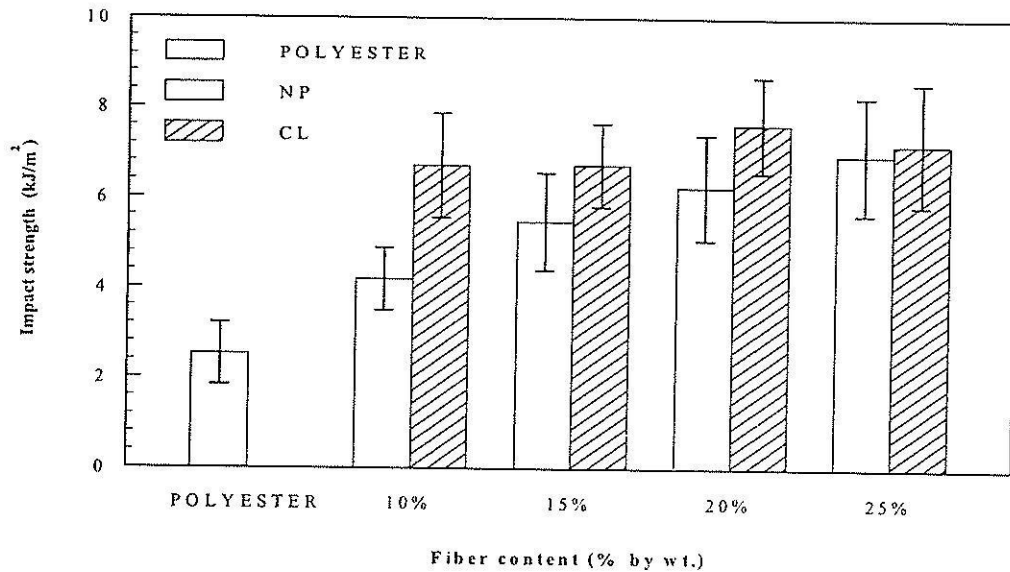


รูปที่ 4.7 มอดุลัสแรงดัดของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.7 พบว่าค่ามอดุลัสแรงดัด (Flexural modulus) ของชิ้นงานคอมโพสิตมีค่าสูงกว่าค่ามอดุลัสแรงดัดของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์มาก ผลที่ได้เนื่องมาจากเส้นใยป่านศรนารายณ์มีความแข็งแรงสูง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยมีค่าเพิ่มขึ้น ค่ามอดุลัสแรงดัดจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และในกรณีเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีผลให้ค่ามอดุลัสแรงดัดเพิ่มขึ้นที่มีปริมาณเส้นใยป่านเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเท่านั้น

4.1.2.3 สมบัติการทนต่อแรงกระแทก

ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเทอร์และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน แสดงในรูปที่ 4.8

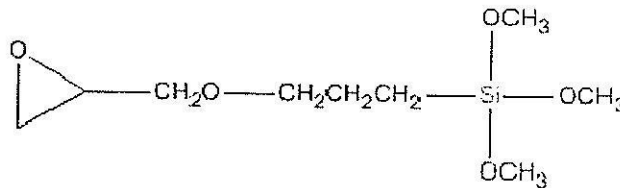


รูปที่ 4.8 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์กับเส้นใยป่าน
 ทรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ เมื่อใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP)
 และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL)

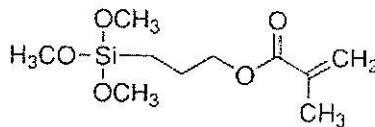
จากผลการทดสอบค่าความทนต่อแรงกระแทกในรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความทนต่อแรง
 กระแทกของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์มีค่าต่ำกว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิต และ
 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยป่านทรนารายณ์ต่างกัน พบว่าค่า
 ความทนต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าความทน
 ต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตอาจเป็นผลมาจากเส้นใยที่แข็งแรงเป็นทำหน้าที่เป็นจุดรวม
 แรงในชิ้นงานทำให้เกิดการเสียรูปที่ดูดซับพลังงานมากก่อนการแตกหัก นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความ
 ทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์และเส้นใยป่านทรนารายณ์ที่ผ่าน
 การทำอัลคาไลน์เซชันนั้นจะมีค่าสูงกว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง
 พอลิเอสเตอร์และเส้นใยป่านทรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก
 เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยและเนื้อพอลิเอสเตอร์ดีขึ้น จึงทำให้
 มีการถ่ายเทแรงได้ดีและส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาด
 เบื้องต้น

4.2 ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสานซิลิโคนต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

การศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสานซิลิโคนนั้นเลือกศึกษาเฉพาะพอลิเมอร์คอมโพสิตที่แสดงสมบัติทางกลโดยรวมดีที่สุด รวมทั้งการขึ้นรูปทำได้สะดวก ซึ่งพอลิเมอร์คอมโพสิตที่แสดงผลโดยรวมดีที่สุดและไม่มีปัญหาในการขึ้นรูปคือ พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้น โดยใช้ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สารประสานซิลิโคนที่เลือกใช้ได้แก่ สารประสานซิลิโคน γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane, GPMS และสารประสานซิลิโคน 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate, MPTS ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลของ GPMS และ MPTS แสดงไว้ในรูปที่ 4.9



(a)



(b)

รูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ (a) GPMS และ (b) MPTS

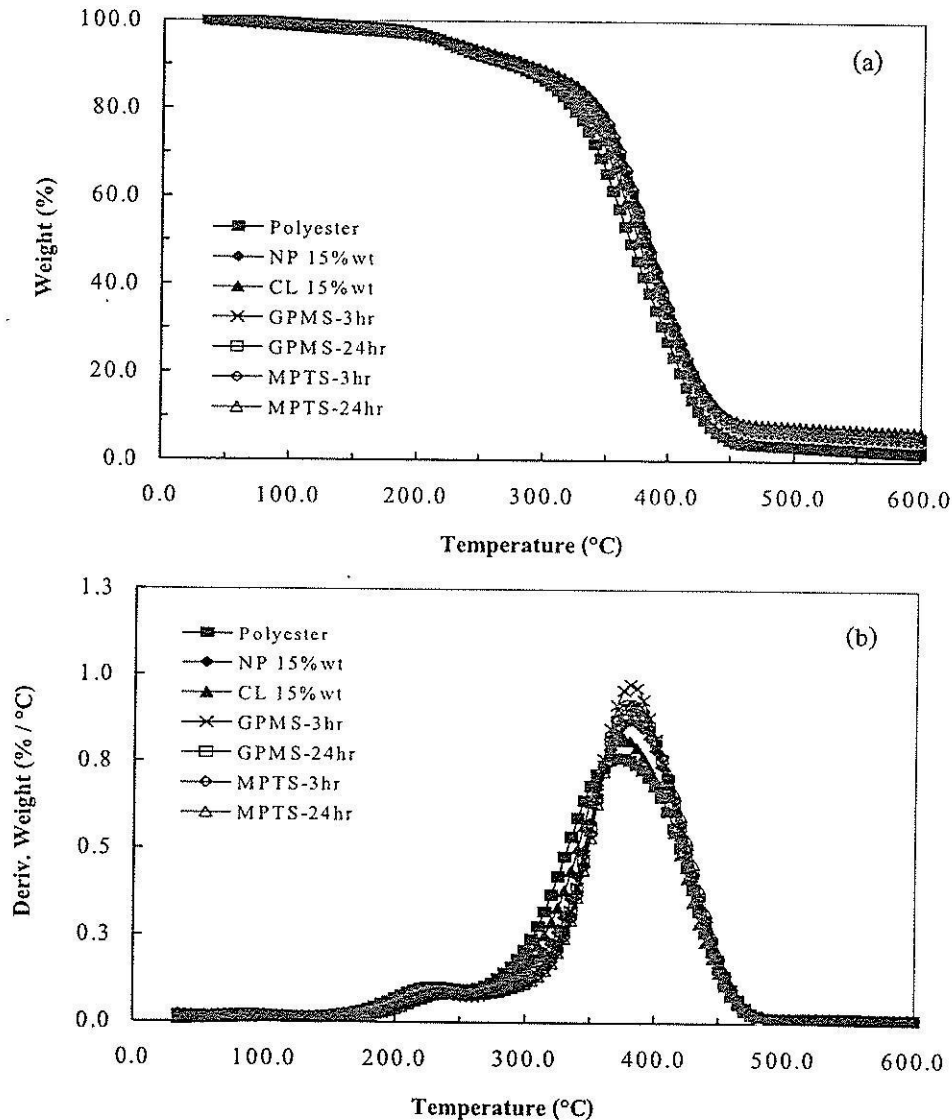
ผลที่คาดว่าจะได้จากการใช้สารประสานซิลิโคน คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ดีขึ้น

4.2.1 สมบัติทางความร้อน

4.2.1.1 การเสื่อมสลายด้วยความร้อน

รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิการเสื่อมสลายของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์เรซินกับชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ในอัตราส่วนเส้นใยเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้เส้นใยที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับ

สภาพพื้นผิวด้วยसानประสานไซเลน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนมีผลให้ค่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 4.10 กราฟ (a) TGA และ (b) DTGA ของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมดัวกับเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.2.1.2 อุณหภูมิการบิดเบี้ยว

ผลการทดสอบอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานในตารางที่ 4.1 พบว่าพอลิเมอร์คอม-โพลีที่มีอุณหภูมิการบิดเบี้ยวที่สูงกว่าพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมัตว และเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสาน GPMS และ MPTS จะแสดงค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวที่สูงกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว

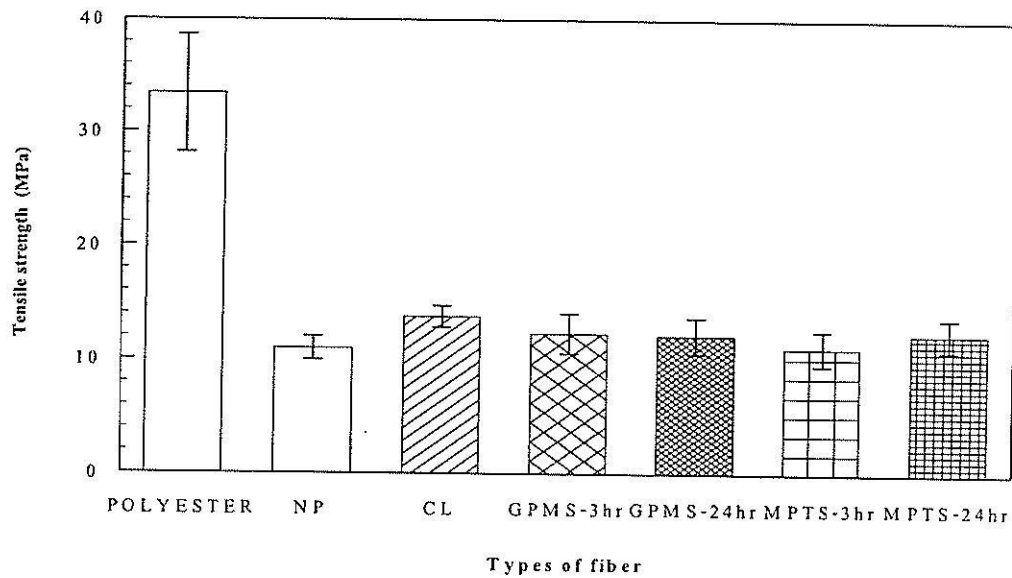
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพลีระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมัตวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชนิดเส้นใย	อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (°C)
Polyester pure	56.00 ± 2.65
NP 15%wt	63.33 ± 3.21
CL 15%wt	66.33 ± 4.04
GPMS-3 hr	69.00 ± 1.00
GPMS-24 hr	72.67 ± 2.52
MPTS-3 hr	71.00 ± 3.46
MPTS-24 hr	68.33 ± 2.52

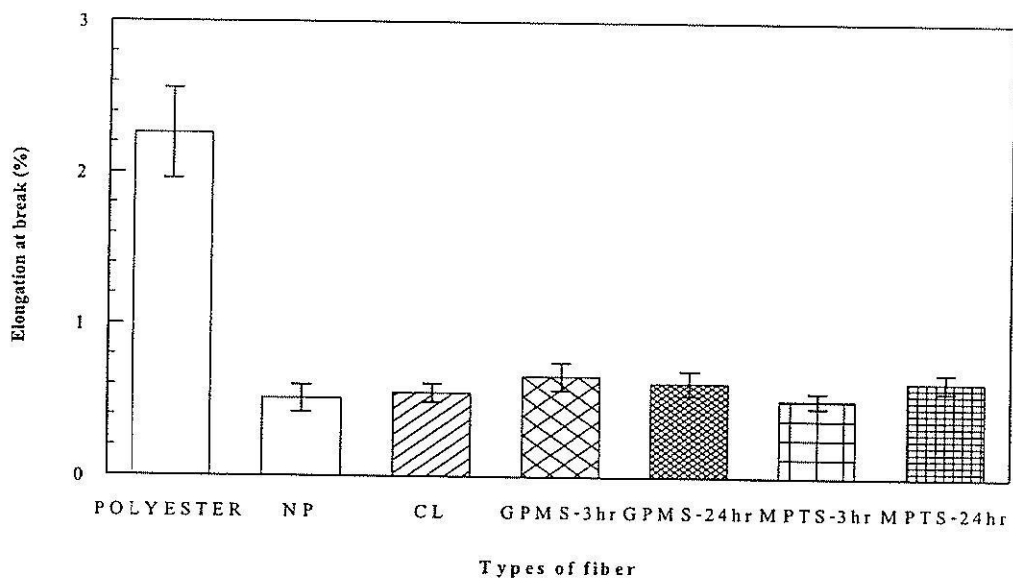
4.2.2 สมบัติทางกล

4.2.2.1 สมบัติการทนต่อแรงดึง

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์มีค่าสูงกว่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพลี และเมื่อเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสาน ไชเลนพบว่า ชิ้นงานคอมโพลีที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสาน ไชเลนจะมีค่าความทนต่อแรงดึงใกล้เคียงกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว ผลดังกล่าวที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากสารประสาน ไชเลนที่ติดอยู่บนพื้นผิวไม่สูงมากพอที่จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

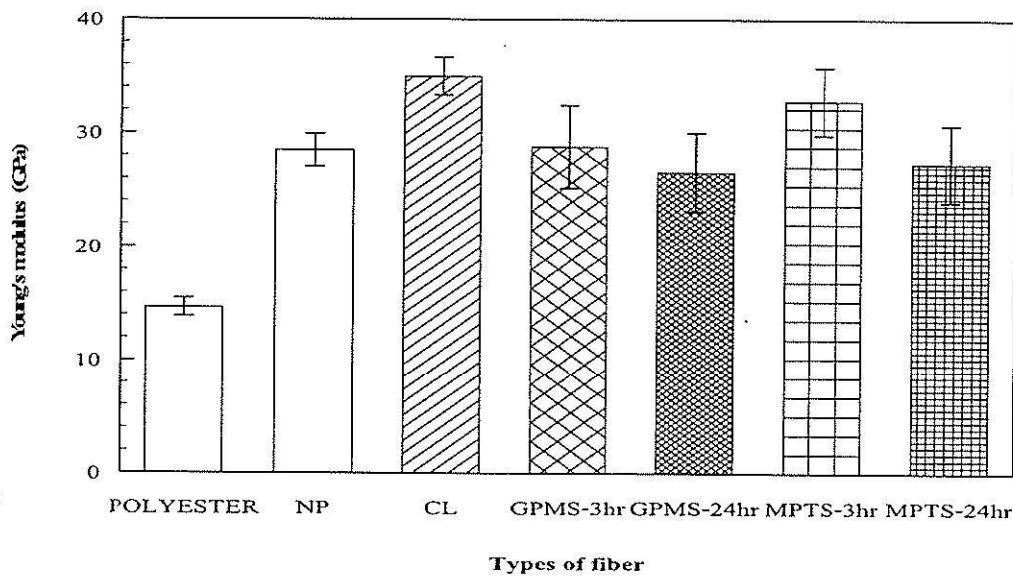


รูปที่ 4.11 ความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.12 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบตามรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (Elongation at break) ของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์มีค่าสูงกว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิตและเมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิต พบว่า กรณีใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชันจะมีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักใกล้เคียงกัน สำหรับชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการใช้เส้นใยที่มีการปรับสภาพพื้นผิวซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันมาก แม้ว่าจะใช้เวลาในการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยเป็นเวลานานก็ตาม

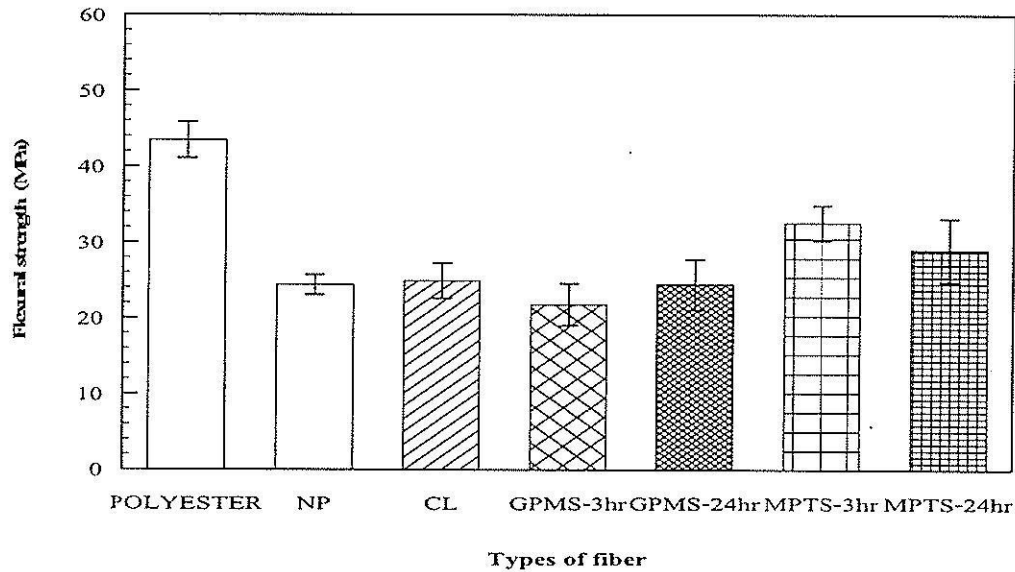


รูปที่ 4.13 ค่ามอดูลัสของยังก์ของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมมิดกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ส่วนค่ามอดูลัส (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.13) พบว่าชิ้นงานคอมโพสิต มีค่ามอดูลัสของยังก์ (Young's modulus) สูงกว่าชิ้นงานพอลิเอสเตอร์ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันกับชิ้นงานคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใย จะเห็นว่าคอมโพสิตทั้งสองชนิดนั้นมีค่ามอดูลัสของยังก์ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาการปรับสภาพพื้นผิวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ พบว่าสารประสานไซเลน MPTS จะส่งผลให้ค่ามอดูลัสของยังก์มีค่าสูงกว่าการใช้สารประสานไซเลน GPMS เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังคงใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

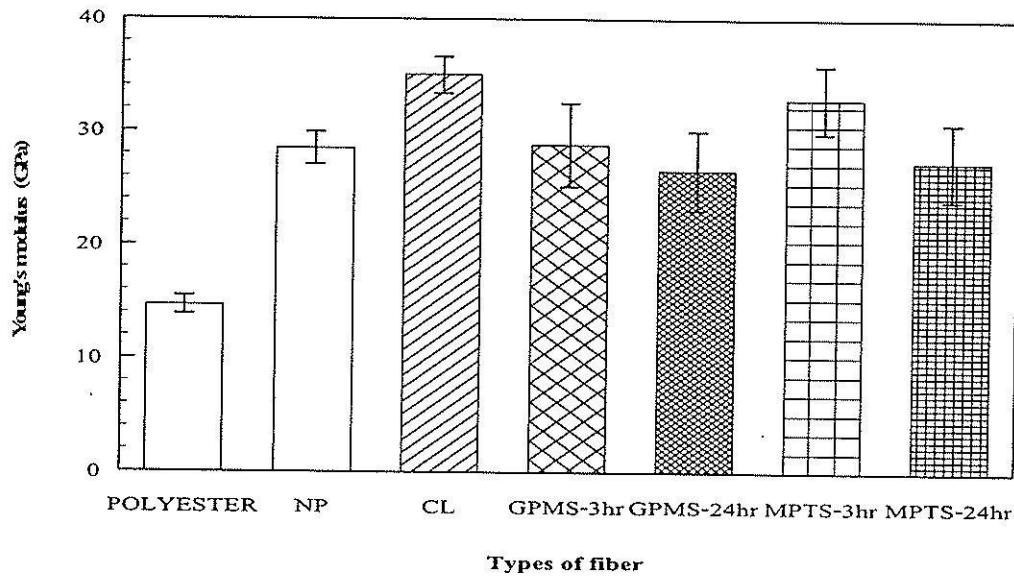
4.2.2.2 ความแข็งแรงดัด

ค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดุลัสของแรงดัดของพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์คอมโพสิตกับเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน GPMS และ MPTS ณ เวลาต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 ความแข็งแรงดัดของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมตัวกับเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานพอลิเอสเตอร์มีค่าความแข็งแรงดัด (Flexural strength) สูงกว่าค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานคอมโพสิต และเมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวและไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว พบว่ามีค่าแข็งแรงดัดใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรณีพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย MPTS เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่มีแนวโน้มให้ค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าเส้นใยชนิดอื่นเล็กน้อย

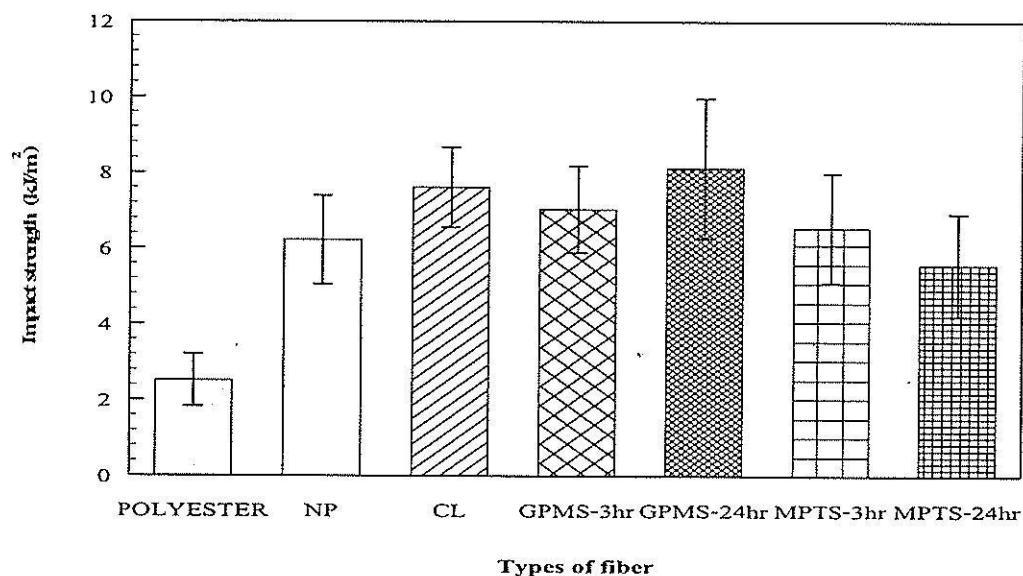


รูปที่ 4.15 มอดุลัสแรงคดของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองหาค่ามอดุลัสของแรงคดที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.15 ซึ่งให้เห็นว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่มีค่ามอดุลัสแรงคด (flexural modulus) สูงกว่าชิ้นงานพอลิเอสเตอร์ และเมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน GPMS และ MPTS พบว่าชิ้นงานคอมโพสิตของ MPTS มีแนวโน้มให้ค่ามอดุลัสของแรงคดสูงกว่า GPMS แต่ยังคงใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านเฉพาะการทำอัลคาไลน์เซชัน

4.2.2.3 สมบัติการทนต่อแรงกระแทก

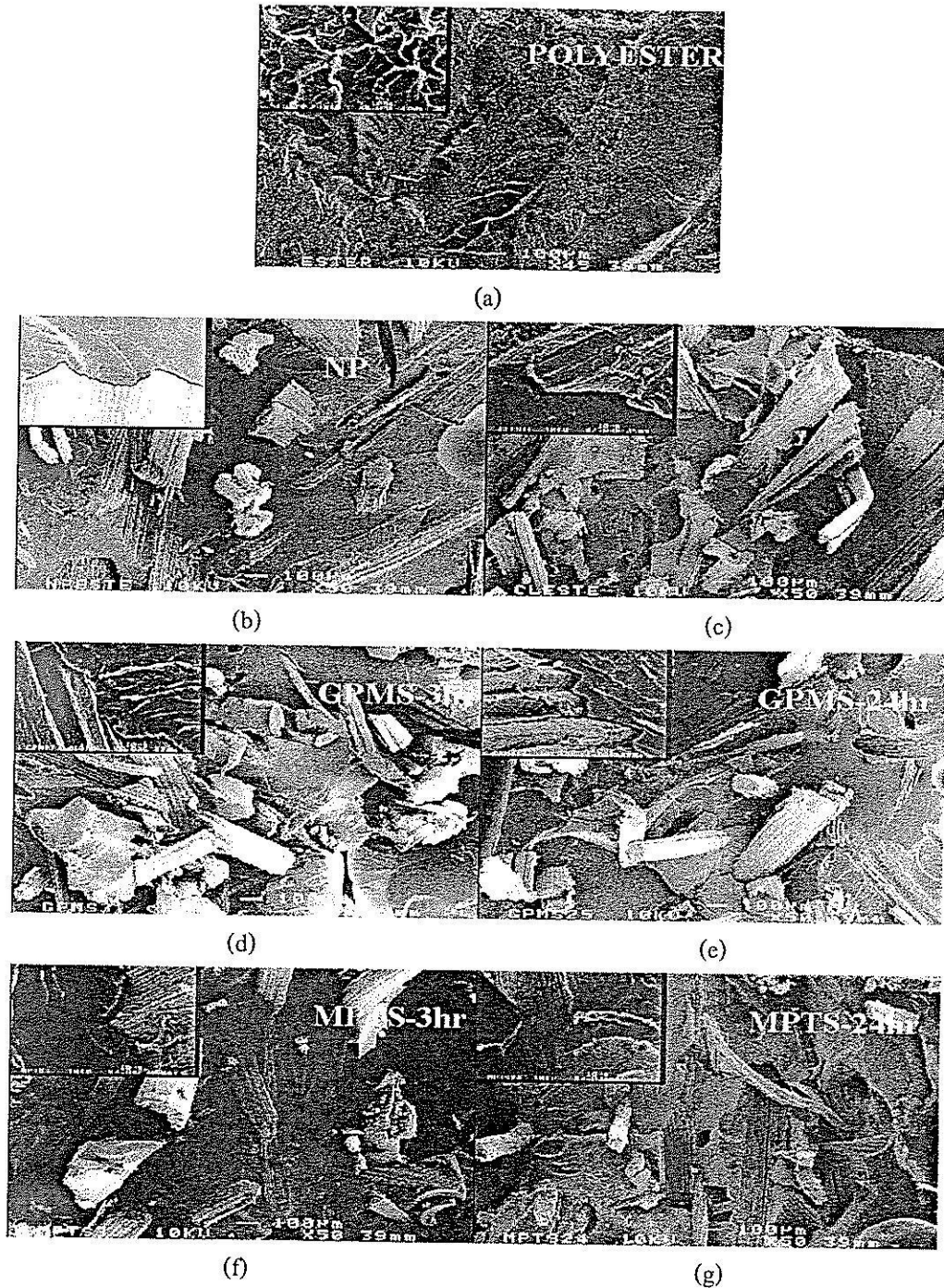
ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์กับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนทั้งสองชนิด ณ เวลาต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 4.16 ชิ้นงานพอลิเอสเตอร์มีค่าความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) ต่ำกว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิต และเมื่อเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิตเมื่อมีการใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันและปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนพบว่า ค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิต GPMS มีแนวโน้มสูงกว่า MPTS แต่ยังคงใกล้เคียงกับกรณีใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน



รูปที่ 4.16 ความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานพอลิเอสเตอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์กับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานโซเลนชนิด GPMS และ MPTS ณ เวลาต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเอสเตอร์ และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิมิตัวกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ (a) polyester, (b) polyester/NP, (c) polyester/CL, (d) polyester/GPMS-3hr, (e) polyester/GPMS-24hr, (f) polyester/MPTS-3hr, (g) polyester/MPTS-24hr

ภาพลัษฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้นจากปริมาณเส้นใยที่เท่ากันแต่เส้นใยผ่านการ
ดัดแปรด้วยวิธีต่าง ๆ กัน ในงานวิจัยนี้ไม่แสดงความแตกต่างที่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ คือ
เส้นใยที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีที่แตกต่างกันนั้นไม่ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต
ต่างกัน

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบสมบัติของชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้นจากพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ซึ่งไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายสูงกว่าพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ค่ามอดูลัสของยังก์ ค่ามอดูลัสแรงดัดและค่าการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าสูงกว่าพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว และพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้นจากเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีแนวโน้มดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น แต่อย่างไรก็ตามค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าต่ำกว่าพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว

ปริมาณเส้นใยที่มีผลให้สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตอยู่ในเกณฑ์ดีและการขึ้นรูปทำได้ไม่ยุ่งยาก คือ 15 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเลือกนำเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันไปปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน 2 ชนิด คือ γ -glycidoxy propyltrimethoxysilane, GMPS และ 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate, MPTS สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวมี 2 ช่วงเวลา คือ 3 และ 24 ชั่วโมงและเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้นจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวแล้วพบว่าไม่ได้แตกต่างจากชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมากนัก แต่ผลที่ดีคือชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้นจากเส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการบิดเบี้ยวที่สูงกว่าคอมโพสิตที่เตรียมขึ้นจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว

ข้อเสนอแนะ

1. การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสภาวะต่าง ๆ กัน เช่น ความเข้มข้นของสารประสานไซเลนและอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพอาจส่งผลต่อปริมาณการยึดเกาะของสารประสานไซเลนบนผิวเส้นใย

2. การใช้เส้นใยสั้น (2 มิลลิเมตร) กับพอลิเมอร์กลุ่มเทอร์โมเซตมีผลให้ทำการขึ้นรูปได้
ค่อนข้างยากและพบฟองอากาศในชิ้นงาน ควรหาแนวทางในการกำจัดฟองอากาศ เช่น อาจใช้ปั๊ม
สุญญากาศ เป็นต้น

บรรณานุกรม

1. อธิพิพด แจ่มชัด. วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก (online). Available URL: <http://www.forest.go.th/VetiverGrass/Project3.htm>.
2. P. Wambua, J. Ivens and I. Verpoest (2003). Natural fibers: can they replace glass in fiber reinforced plastics? *Compos. Sci. Technol.* 63:1259-1264.
3. <http://www.maff.gov.uk/farm/acu.htm>
4. Th. G. Schuh (2003). Renewable materials for automotive applications (online). Available URL: [ienica.net/fibreseminar/schuh.pdf](http://www.ienica.net/fibreseminar/schuh.pdf).
5. G. I. Williams and R. P. Wool (2000). Composites from natural fibers and soy oil resins. *Appl. Compos. Mater.* 7:421-432.
6. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาควิชาไร่พืชนา. บทปฏิบัติการที่ 23 ป่านขนารายณ์ (sisal).(online). Available URL: <http://agri.kps.ku.ac.th/agron/lesson23.shtml>.
7. R. P. Kumar, K. C. Manikanda Nair, S. Thomas, S.C. Schit and K. Ramaburthy, (2000). Morphology and melt rheological behaviour of short-sisal-fibre-reinforced SBR composite. *Compos. Sci. and Technol.* 60:1737-1751.
8. P. S. Murherjee and K. G Satyanarayana. (1984). Structure and properties of some vegetable fibres. Part 1. Sisal fibre. *J. Mater. Sci.* 19:3925-3934.
9. Y. Li, C. Hu and Y. Yu (2008). Interfacial studies of sisal fiber reinforced high density polyethylene (HDPE) composites. *Composites: Parts A*, 39; 570-578.
10. C.P.L. Chow, X.S. Xing and R.K.Y. Li (2007) Moisture absorption studies of sisal fiber reinforced polypropylene composites. *Compos. Sci. Technol.* 67:306-313.
11. A.S. Luyt and M.E. Malunka (2005). Composites of low density polyethylene and short sisal fibers: the effect of wax addition and peroxide treatment on thermal properties. *Thermochim Acta.* 426:101-107.
12. K. Joseph, S. Varghese, G. Kalaprasad, S. Thomas, L. Prasannakumari, P. Koshy and C. Pavithran (1996). Influence of interfacial adhesion on the mechanical properties and fracture behaviour of short sisal fiber reinforced polymer composites. *Eur. Polym. J.* 32:1243-1250.
13. E.T.N. Bisanda (2000). The effect of alkali treatment on the adhesion characteristics of sisal fibers. *Appl. Compos. Mater.* 7:331-339.

14. J.D. Megiatto Jr., C.G. Silva, D.S. Rosa and E. Frollini (2008). Sisal Chemically modified with lignins: Correlation between fibers and phenolic composites properties. *Polym. Degrad. Stab.* **93**:1109-1121.
15. V.A. Alvarez and A. Vazquez (2006). Influence of fiber chemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of MaterBi-Y/sisal fiber composites. *Composites Part A*. **37**:1672-1680.
16. T. Pongprayoon, N. Yanumet and S. Sangthong (2008). Surface behavior and film formation analysis of sisal fiber coated by poly(methyl methacrylate) ultrathin film. *Colloids Surf., A*. **320**:130-137.
17. M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. L., G. C. Yang and H. M. Zeng. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Compos. Sci. and Technol.* **61**:1437-1447.
18. P. Antich, A. Vazquez, I. Mondragon and C. Bernal (2006). Mechanical behavior of high impact polystyrene reinforced with short sisal fibers. *Composite : Part A* **37**:139-150¹
19. M. Jacob, S. Thomas and K.T. Varughese (2003). Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composites. *Compos. Sci. and Technol.* **64**:955-965.
20. A. Choudhury (2008). Isothermal crystallization and mechanical behavior of ionomer treated sisal/HDPE composites. *Mater. Sci. Eng., A*. **491**:492-500.
21. Curing agent center for unsaturated polyester-mechanism of action. Specialchem Polymer Additive & Color (online). Available URL: <http://www.specialchem4polymers.com/tc/Organic-Peroxide-Curing-Agents.shtml>.
22. S.H. Aziz, M.P. Ansell, S.J. Clarke and S.R. Panteny (2005). Modified polyester resins for natural fibre composites. *Compos. Sci. Technol.* **65**:525-535.
23. .M. Gowda, A.C.B. Naidu and R. Chhaya (1999). Some mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites. *Composite : Part A*, **30**:277-284.
24. L.U. Devi, S.S. Bhagawan and S. Thomas (1997). Mechanical properties of pineapple leaf fiber-reinforced polyester composites. *J. Appl Polym. Sci.* **64**:1739-1748.
25. C. Baley, F. Busnel, Y. Grohens and O. Sire (2006). Influence of chemical treatments on surface properties and adhesion of flax fibre-polyester resin. *Composites Part A*. **37**:1626-1637.

ประวัติผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการ

ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราณีย์ ชุมสำโรง
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันศึกษา	ประเทศ
2544	เอก	Ph.D.	Polymer Science and Technology	UMIST	UK
2540	โท	M.Sc.	Polymer Science and Technology	UMIST	UK
2538	ตรี	วท.บ.	เคมี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

ผลงานทางวิชาการ

1. P. Thongnoi and P.A. Lovell (1999) **Studies of rubber-toughened acrylic materials.** *Polymer Colloid Group Meeting*, Loughborough, UK.
2. P. Thongnoi and P.A. Lovell (2000) **Studies of rubber-toughened acrylic materials.** *RSC Annual Meeting*, Manchester, UK.
3. P. Chumsamrong and J. Kluengsamrong (2004) **Banana fibres: Extraction and Potential Use as Reinforcement for Polypropylene.** *The Third Thailand Materials Science and Technology Conference*, Bangkok, Thailand, 391.
4. P. Chumsamrong (2004). **Polymeric Materials by Atom Transfer Radical Polymerization (ATRP).** *Suranaree J. Sci. Technol.* **11(3)**:166-178.
5. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์, กษมา จารุกัจจกร, จันทิมา ตีประเสริฐกุล, นิธินาถ สุภกาญจน์, ปราณีย์ ชุมสำโรง, วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ (2547) เส้นใยธรรมชาติ...ทางเลือกใหม่สำหรับโพลีเมอร์เชิงประกอบ, *วิศวกรรมสาร*, 57 (683), 44.

6. W. Sutapan, J. Kluengsamrong, Y. Ruksakulpiwat, K. Jarukamjorn, N. Supakarn and P. Chumsamrong (2004). **Studies of Thermal Properties and Surface Characteristic of Pretreated Jute Fibers by Boiling and Soxhlet Extraction.** *30th Congress on Science and Technology of Thailand*, Bangkok, Thailand, 175.
7. P. Chumsamrong, S. Wongkrazo and O. Monprasith (2005). **Poly(butyl acrylate) Grafted Natural Rubber Latex: Preparation and Film Formation,** *31st Congress on Science and Technology of Thailand*, Nakorn Ratchasima, Thailand, 242.
8. P. Chumsamrong, W. Sutapan, S. Kiaw-on and W. Tonukoon (2005). **Influence of Alkali Treated Rossells Fibers on The Tensile Properties of Unsaturated Polyester Resin.** *31st Congress on Science and Technology of Thailand*, Nakorn Ratchasima, Thailand, 234.
9. P. Chumsamrong and O. Monprasith (2007). **Preparation, Adhesive Performance and Stability of Natural Rubber Latex grafted with n-butyl acrylate (BA) and methyl methacrylate (MMA).** *Suranaree J. Sci. Technol.* **14(3):**269-276.
10. P. Chumsamrong and J. Mondobyai (2008). **Preparation, Adhesive Performance and Stability of Natural Rubber Latex grafted with n-butyl acrylate (BA) and methyl methacrylate (MMA).** *Adv. Mater. Res.* **47-50:**1149-1152.
11. N. Prasoetsopha, P. Chumsamrong and N. Suppakarn (2009). **Studies of Natural Rubber-Modified Epoxy Resin.** Pure and Applied Chemistry International Conference, Phitsanulok, Thailand, 254.
12. N. Prasoetsopha, P. Chumsamrong and N. Suppakarn (2009). **Effects of type and concentration of initiator on grafting of acrylic monomers onto depolymerized natural rubber.** International Conference on Advance in Materials and Processing Technologies (AMPT 2009), Kuala Lumpur, Malaysia, 70.
13. N. Prasoetsopha, P. Chumsamrong and N. Suppakarn (2009). **Physical Properties of Modified Natural Rubber/Epoxy Resin Blends.** 11th Pacific Polymer Conference 2009 (PPC11), Cairns, Australia, P388.

2. ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์
 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์
 สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันศึกษา	ประเทศ
2543	เอก	Ph.D.	Macromolecular Science and Engineering	Case Western Reserve University	USA
2535	โท	M.Sc.	Polymer Science	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2532	ตรี	วท.บ.	เคมี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

ผลงานทางวิชาการ

1. P. Pakdeechote, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Mechanical Properties of HDPE Filled with Eggshell Powder*, 11th Pacific Polymer Conference (PPC 2009), Carins, Australia P154.
2. S. Kaewkuk, W. Sutapun and K. Jarukumjorn, *Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Heat Treated Sisal Fibers*, 11th Pacific Polymer Conference (PPC 2009), Carins, Australia P85.
3. Y. Ruksakulpiwat, J. Srideea, .N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Improvement of Impact Property of Natural Fiber–Polypropylene Composite by using Natural Rubber and EPDM Rubber*, **Comp. B**, (2009) 40, 619-622.
4. P. Pakdeechote, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Preparation and Characterization of Heat Treated Eggshell for HDPE composites: A preliminary Study*, **Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2009)**, Phitsanulok, Thailand P325.

5. S. Boonying, W. Sutapun, N. Suppakarn, and Y. Ruksakulpiwat, *The Study of Growth Rate of Vetiver Grass_Poly(lactic Acid Composites)*, **Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2009)**, Phitsanulok, Thailand.
6. S. Rakmae, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, N. Suppakarn, *Characterization of Silane Treated Natural Hydroxyapatite/Poly(lactic acid) Nanocomposites*, **Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2009)**, Phitsanulok, Thailand.
7. S. Sanmuang, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Chicken Eggshell as a Filler for Polymer Composites: Preparation and Characterizations*, **Adv. Mater. Research**, **47-50** (2008), 490-493.
8. Y. Ruksakulpiwat, J. Sridee, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Natural Rubber and EPDM Rubber as An Impact Modifier in Vetiver grass-Polypropylene Composites*, **Adv. Mater. Research**, **47-50** (2008), 427-430.
9. N. Suppakarn, S. Sanmaung, Y. Ruksakulpiwat, and W. Sutapun, *Effect of Surface Modification on Properties of Natural Hydroxyapatite/Polypropylene Composites,* **Key Eng. Mater.**, **361-363** (2008), 511-514.
10. K. Jarukumjorn, W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, and J. Kluengsamrong, *Effect of Silane Coupling Agent and Compatibilizer on Properties of Short Rossells Fiber/Poly(propylene) Composites*, **Macromol. Symp.**, **264** (2008), 67-72.
11. U. Somnuk, G. Eder, P. Phinyocheep, N. Suppakarn, W. Sutapun, and Y. Ruksakulpiwat, *Quiescent Crystallization of Natural Fiber-Polypropylene Composites*, **J. Appl. Polym. Sci.**, **106** (2007), 2997-3006.
12. K. Jarukumjorn, Y. Raksakulpiwat, W. Sutapun, and J. Kluengsamrong, *Effect of Silane Coupling Agent and Compatibilizer on Properties of Short Rossells Fiber/Polypropylene Composites*, **The 2nd International Conference-Advances in Petrochemicals and Polymers**, Bangkok, Thailand, p. 326, 2007.
13. W. Sutapun, P. Rossapol, S. Kiaw-on, and D. Kittilertkul, *Silkworm Fiber for Reinforcing Epoxy Composite*, **The 2nd International Conference Advances in Petrochemicals and Polymers**, Bangkok, Thailand, BC-P22, 2007.
14. K. Jarukumjorn, W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, and J. Kluengsamrong, *Effect of Silane Coupling Agent and Compatibilizer on Properties of Rossells Fiber/PP Composites*, **The**

- 2nd International Conference Advances in Petrochemicals and Polymers, Bangkok, Thailand, BC-P16, 2007.
15. Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, and W. Thomthong, *Vetiver - Polypropylene Composites: Physical and Mechanical Properties*, **Composites Part A**, **38** (2007), 590-601.
 16. U. Somnuk, N. Suppakarn, W. Sutapun, P. Phinyocheep and Y. Ruksakulpiwat. *Effect of processing conditions on crystallization of vetiver grass-polypropylene composites*, **The 4th East Asian Polymer Conference**. China. pp.168-170. 2006.
 17. N. Suppakarn, S. Sanmaung, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, C. Lorprayoon, and S. Ekgasit, *Mechanical Properties of Natural Hydroxyapatite/PP Composites*, **Annual Technical Conference 2006**, the Society of Plastics Engineers, Charlotte, North Carolina USA, p. 325, 2006.
 18. Y. Ruksakulpiwat, U. Somnuk, J. Kleungsumrong, P. Phinyocheep, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Shear-Induced Crystallization of Natural Fiber-Polypropylene Composites*, **Annual Technical Conference 2006**, the Society of Plastics Engineers, Charlotte, North Carolina USA, p. 1225, 2006.
 19. K. Jarukumjorn, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, and J. Kluengsamrong, *Compatibilization of Natural Fibers/PP Composites*, **Annual Technical Conference 2006**, the Society of Plastics Engineers, Charlotte, North Carolina USA, p. 330, 2006.
 20. U. Somnuk, N. Suppakarn, W. Sutapun, and Y. Ruksakulpiwat, *Injection Molding of Vetiver Grass-Polypropylene Composites: Effect of Particle Sizes on Rheological, Thermal, and Mechanical Properties*, **The 28th Australasian Polymer Symposium (APS2006)**, Rotorua, New Zealand, p. 8, 2006.
 21. Y. Ruksakulpiwat, U. Somnuk, P. Phinyocheep, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Effect of Particle Sizes of Vetiver Grass on Shear-Induced Crystallization of Injection Molded Vetiver Grass-Polypropylene Composites*, **The 28th Australasian Polymer Symposium (APS2006)**, Rotorua, New Zealand, p. 9, 2006.
 22. N. Suppakarn, S. Sanmaung, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, C. Lorprayoon, and S. Ekgasit, *Effect of Water Absorption and Silane coupling agent on Tensile Properties of Hydroxyapatite/PP Composites*, **The 28th Australasian Polymer Symposium (APS2006)**, Rotorua, New Zealand, p. 27, 2006.

23. W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, K. Jarukumjorn, N. Supakarn, P. Chumsamrong, and J. Kluengsamrong, *Studies of Thermal Properties and Surface Characteristics of Pretreated and Silane-Treated Rossell Fibers*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 241, 2005
24. K. Jarukumjorn, W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, and J. Kluengsamrong, *Short Rossells Fiber/Polypropylene Composites: Effect of Compatibilizer on Mechanical and Rheological Properties, and Heat Distortion Temperature*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 227, 2005.
25. Ruksakulpiwat, J. Kluengsamrong, U. Somnuk, W. Sutapun, and N. Suppakarn, *Comparison of Rheology Properties and Mechanical Properties of Polypropylene Composites from Various Types of Natural Fibers*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 221, 2005.
26. Y. Ruksakulpiwat, J. Kluengsamrong, W. Sutapun, and N. Suppakarn, *Injection Molding of Rossells-Polypropylene Composites: Effect of Processing Parameters on Mechanical Properties*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 227, 2005.
27. Y. Ruksakulpiwat, W. Thomthong, A. Thitichaisri, W. Sutapun, and N. Suppakarn, *Natural Rubber: an Impact Modifier for Vetiver Grass-Polypropylene Composites*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 243, 2005.
28. U. Somnuk, W. Sutapun, and N. Suppakarn, P. Phinyocheep, and Y. Ruksakulpiwat, *Effect of Processing Conditions on Shear-induced Crystallization of Vetiver Grass-Polypropylene /Composites*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 221, 2005.
29. N. Suppakarn, W. Sutapun, Suriya Kiaw-on, and W. Tonukoon, *Effect of Fiber Content and Fiber Treatment on Mechanical Properties of Rossells Fiber-Epoxy Composite*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 237, 2005.
30. N. Suppakarn, J. Rittita, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, and C. Lorprayoon, *Effect of Filler Particle size on Mechanical Properties of Cattle Bone Based Hydroxyapatite-*

- Polypropylene Composite*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 242, 2005.
31. P. Chumsamrong, W. Sutapun, Suriya Kiaw-on, and W. Tonukoon, *Influence of Alkali-Treated Rossells Fibers on The Tensile Properties of Unsaturated Polyester*, **The 31st Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 234, 2005.
 32. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์, กษมา จารุกัจจร, จันทิมา ตีประเสริฐกุล, นิธินาด สุขกาญจน์, ปรานี ชุมสำโรง, วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์, “เส้นใยธรรมชาติ...ทางเลือกใหม่สำหรับพอลิเมอร์เชิงประกอบ”, *วิศวกรรมสาร*, 57, 44, 2547.
 33. W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, K. Jarukumjorn, N. Supakarn, P. Chumsamrong, and J. Kluengsamrong, “*Studies of Thermal Properties and Surface Characteristics of Pretreated Jute Fibers by Boiling and Soxhlet Extraction*”, **The 30th Congress on Science and Technology of Thailand**, Bangkok, Thailand, p. 175, 2004
 34. Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, and W. Thomthong, “*The Study of Using Vetiver Grass as a Filler in Polypropylene Composites*”, **Annual Technical Conference 2004**. The Society of Plastics Engineers, Chicago, Illinois USA. p. ***. 2004.
 35. W. Thuamthong, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun, “*Effect of Vetiver Contents and Vetiver Lengths on Mechanical and Morphological Properties of Vetiver-Polypropylene Composites*”, **The Third Thailand Materials Science and Technology Conference**, Bangkok, Thailand, p. 167, 2004.
 36. U. Somnuk, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun, “*Characterization of Chemical Treated Vetiver Grass*”, **The Third Thailand Materials Science and Technology Conference**, Bangkok, Thailand, p. 420, 2004.
 37. W. Thuamthong, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, and N. Suppakarn, “*Thermal, Rheological, Mechanical, and Morphological Properties of Vetiver-Polypropylene Composites*” **The 8th Pacific Polymer Conference (PPC8)**, Bangkok, Thailand, p. 118, 2003.
 38. W. Noobut and J. L. Koenig, *Interfacial Behavior of Epoxy/E-glass Fiber Composites under Wet-Dry Cycles by FTIR Microspectroscopy*, **Polymer Composite**, 20, 38, 1999.