

รหัสโครงการ [SUT7-710-48-24-19]



รายงานการวิจัย

การผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิต
ระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับอีพอกซีเรซิน

Production of Polymer Composite Between Sisal and Epoxy Resin

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับอีพอกซีเรซิน

Production of Polymer Composite Between Sisal and Epoxy Resin

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิธินาถ สุภกาญจน์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2548-2549

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2553

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการวิจัยโครงการ “การผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับอีพอกซีเรซิน” คณะผู้วิจัยได้รับความสนับสนุนทุนวิจัย (ปีงบประมาณ 2548-2549) จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองระหว่างดำเนินการทดลอง นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นายสุริยา เขียวอ่อน นายธนารัตน์ นระประทีปต์ และ นางสาวเบญจวรรณ บัวเสถียร

บทคัดย่อ

เส้นใยป่านสรณารายณ์ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในอีพอกซีเรซิน ในการศึกษาขั้นต้นตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ ปริมาณเส้นใยที่ใช้ในชิ้นงานคอมโพสิต และการทำอัลคาไลน์เซชัน พบว่าชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิตมีค่าอุณหภูมิกการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน ค่ามอดูลัสของยังก์ และค่ามอดูลัสแรงคัตสูงกว่่าชิ้นงานอีพอกซีเรซิน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านสรณารายณ์ในชิ้นงานคอมโพสิต โดยชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยป่านสรณารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่ามอดูลัสของยังก์ ค่าความทนต่อแรงดึง และค่ามอดูลัสแรงคัตสูงสุด อย่างไรก็ตาม ชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิตมีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ค่าความทนต่อแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงคัต ต่ำกว่าชิ้นงานอีพอกซีเรซิน และมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านสรณารายณ์ในชิ้นงานคอมโพสิต

ในการศึกษาในขั้นถัดไป คือ การศึกษาผลของสารประสานไซเลนต่อสมบัติทางกายภาพของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต ได้เตรียมอีพอกซีเรซินคอมโพสิตโดยใช้เส้นใยป่านสรณารายณ์ปริมาณคงที่ที่ 15 % โดยน้ำหนัก ในการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใยป่านสรณารายณ์ใช้สารประสานไซเลน 2 ชนิด คือ γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPMS) และ γ -aminopropyltriethoxy (APES) ที่เวลาแตกต่างกัน คือ 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษา พบว่า การปรับปรุงพื้นผิวหน้าของเส้นใยป่านสรณารายณ์ด้วยสารประสานไซเลนช่วยให้เส้นใยป่านสรณารายณ์และอีพอกซีเรซินเกิดการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงสภาพพื้นผิวโดยการแช่ในสารประสาน GPMS เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะมีค่าอุณหภูมิกการบิดเบี้ยว ค่าความแข็งแรงคัต และค่ามอดูลัสของยังก์สูงที่สุด

Abstract

Sisal fiber was used as reinforcing filler for epoxy resin. Effects of filler content and alkalization on properties of epoxy resin composites were investigated. It was found that epoxy resin composites, with increasing fiber content in the composites, had higher heat distortion temperature, Young's modulus and flexural modulus than the neat epoxy resin. In addition, the epoxy resin composite containing 15 % (w/w) of alkali-treated sisal fiber had the highest Young's modulus, tensile strength and flexural modulus. However, tensile strength, elongation at break, impact strength and flexural modulus of the epoxy resin composites were lower than those of the neat epoxy resin and those properties tended to decrease with increasing the sisal fiber content in the composites.

Effect of silane coupling agents on properties of epoxy resin composites was investigated. Sisal fiber content in epoxy resin composite was fixed at 15 % (w/w). Silane coupling agents used were γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPMS) and γ -aminopropyltriethoxy (APES). The results indicated that treating HA surface with a silane coupling agent improved adhesion between the fiber and epoxy resin. In addition, the epoxy resin composite containing 24 hr-GPMS-treated sisal fiber had the highest heat distortion temperature, Young's modulus and flexural strength.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 กรอบแนวความคิดและการทบทวนวรรณกรรม.....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 วัตถุประสงค์.....	6
2.2 การเตรียมเส้นใย.....	6
2.3 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	7
2.3.1 การเตรียมอีพอกซีเรซินคอมโพสิตและการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	7
2.4 การตรวจสอบสมบัติของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต.....	9
2.4.1 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน.....	9
2.4.1.1 อุณหภูมิการบิดเบี้ยว.....	9
2.4.2 การตรวจสอบสมบัติทางกล.....	9
2.4.2.1 ความทนต่อแรงดึง.....	9
2.4.2.2 ความทนต่อแรงกระแทก.....	9
2.4.2.3 ความทนต่อแรงคด.....	9
2.4.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	
3.1 ผลของปริมาณเส้นใยป่านสรนารายณ์ก่อนการสภาพพื้นผิวต่อสมบัติทางกายภาพ ของอีพอกซีเรซินคอม โพลีท.....	11
3.1.1 สมบัติทางความร้อน	11
3.1.2 สมบัติเชิงกล.....	12
3.2 ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านสรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลน ต่อสมบัติทางกายภาพของอีพอกซีเรซินคอม โพลีท	18
3.2.1 สมบัติทางความร้อน	18
3.2.2 สมบัติเชิงกล.....	19
3.2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....	25
บทที่ 4 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย.....	28
บรรณานุกรม.....	30
ประวัติผู้วิจัย.....	32

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารประสานโซลีนที่ใช้ในการทดลอง	6
2.2	อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำหนักของเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่อน้ำหนักรวมของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต.....	8
3.1	อุณหภูมิการบดเปียกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลตราไคน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ	11
3.2	อุณหภูมิการบดเปียกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	19

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1	ความทนต่อแรงดึงของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ 12
3.2	ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ 13
3.3	มอดุลัสของยังก์ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ 14
3.4	ความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ 15
3.5	ความทนต่อแรงดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิท ระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ 16
3.6	มอดุลัสของการดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ 17
3.7	ความทนต่อแรงดึงของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก..... 20

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	21
3.9 มอดุลัสของยังก์ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	22
3.10 ความแข็งแรงตัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	23
3.11 มอดุลัสแรงคัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	24
3.12 ความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	25
3.13 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	26

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

phr	part per hundred of resin
SEM	Scanning electron microscope
CL	เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน
NP	เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันในต่างประเทศได้มีความพยายามในการนำเส้นใยธรรมชาติ มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงด้วยเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เส้นใยธรรมชาติที่มีการศึกษาวิจัย เช่น เส้นใยจากปอควีวา (kenaf) ปอกระเจา (jute) ปอแก้ว (rosells) ปอลินิน (flax) กัญชง (hemp) ป่านศรนารายณ์ (sisal) ฝ้าย (cotton) ไม้ไผ่ (bamboo) หญ้าแฝก (vetiver grass) กาบกล้วย (banana bast) ปาล์ม (palm) กาบมะพร้าว (coir) เป็นต้น ซึ่งเส้นใยเหล่านี้บางชนิดสามารถหาได้ในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยแล้วแต่ประเภทและพันธุ์ [1-6] ข้อดีของการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นสารเสริมแรง คือ ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยแก้วและเส้นใยคาร์บอน (เส้นใยธรรมชาติ \$0.36/kg เส้นใยแก้ว \$3.25/kg เส้นใยคาร์บอน \$500/kg) [7] ทำให้ต้นทุนการผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตลดลงและได้วัสดุคอมโพสิตที่มีค่ามอดุลัสต่อน้ำหนัก (strength/unit weight) ต่อหน่วยราคา สูงกว่าการใช้เส้นใยแก้วและเส้นใยคาร์บอน [1,8] ไม่ทำให้เกิดการสึกกร่อนของเครื่องมือขึ้นรูป ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพและความปลอดภัยต่อพนักงานในสถานประกอบการ อีกทั้งหาได้ง่าย และมีความหนาแน่นต่ำทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา

แม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลไม่เทียบเท่าพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยแก้ว แต่เส้นใยธรรมชาติก็มีข้อดีหลายประการที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เป็นที่น่าสังเกตว่าประเทศไทยมีการนำเข้าเส้นใยธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มนอกเหนือจากการส่งออกในรูปแบบผลผลิตทางการเกษตรน้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยแทบจะไม่ได้ใช้ประโยชน์จากสมบัติเชิงกลที่ดีของเส้นใยธรรมชาติ ในฐานะที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกเส้นใยธรรมชาติรายใหญ่อันดับหนึ่งของโลกและสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศมาก โดยในปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยส่งออกเส้นใยธรรมชาติในรูปแบบสินค้าไม้แปรรูปในปริมาณเท่ากับ 16,734 ตัน สร้างรายได้เป็นมูลค่าประมาณ 799.85 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณผลผลิต 18,495 ตัน สร้างรายได้เป็นมูลค่า 736.42 ล้านบาท เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณผลผลิตในปี 2544 ซึ่งสูงกว่าในปี 2543 สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศน้อยลง [9] จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า มูลค่าผลผลิตทางการเกษตรขึ้นกับสภาวะการณ์ของตลาดโลก มีความไม่แน่นอนในเรื่องของราคา ดังนั้น แนวทางการนำเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมให้มากขึ้นน่าจะช่วยลด

ปัญหาในเรื่องของราคาได้ เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเส้นใยธรรมชาติและยังเป็นการนำเอาคุณสมบัติที่ดีของเส้นใยธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุดอีกด้วย แนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ในการเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยธรรมชาติในประเทศไทย คือ การนำมาผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิต

วัสดุพอลิเมอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทั้งในรูปของอุปกรณ์ในยานยนต์ อุปกรณ์ส่งถ่ายข้อมูลข่าวสาร วัสดุการก่อสร้าง รวมทั้งที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยสี่ได้แก่ เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม บรรจุกภัณฑ์อาหาร และ บรรจุกภัณฑ์ยาโรค หรือแม้แต่การใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ [10-14] ขยะจากพลาสติกจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะจากพลาสติกที่อายุการใช้งานสั้น ปัญหาของขยะพลาสติก คือ ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ หรือ ความสามารถในการย่อยสลายต่ำ [15] ซึ่งต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัด และถ้าตกค้างในสภาพธรรมชาติเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เส้นใยธรรมชาติในวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตจะมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายตามธรรมชาติ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymers) ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยไม่มีสารพิษตกค้าง จึงเป็นการช่วยลดมลภาวะจากขยะพลาสติกได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ดีต่อการพัฒนาและส่งเสริมการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต

จากข้อดีหลาย ๆ ด้านของเส้นใยธรรมชาติและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติที่ดี จึงควรให้ความสำคัญในการพัฒนาและนำเอาเส้นใยธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งเมื่อประเทศไทยหันมาวิจัยพัฒนาด้านนี้ รวมทั้งมีการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง จะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของรายได้ในภาคเกษตรกรรม ทั้งในรูปของการเพิ่มตลาดและการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตผลทางเกษตร เป็นการลดต้นทุนในการผลิตแก่ภาคอุตสาหกรรม เป็นการรักษาสีสิ่งแวดล้อมโดยการลดปริมาณขยะพลาสติกและประหยัดพลังงาน และเป็นแนวทางการพัฒนาประเทศที่เน้นการใช้ประโยชน์จากผลิตผลทางการเกษตร

สำหรับพอลิเมอร์ที่กลุ่มอุตสาหกรรมให้ความสนใจในการนำไปใช้เป็นพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ในเชิงพาณิชย์ คือ เทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิโพรพิลีน และเทอร์โมเซต ได้แก่ พอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว และ อีพอกซีเรซิน โดยพอลิเมอร์คอมโพสิต จากพอลิโพรพิลีนและพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวนั้นสามารถใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ส่วนพอลิเมอร์คอมโพสิต จากอีพอกซีเรซินนั้นสามารถใช้ในการผลิตอุปกรณ์ปูพื้นและเป็นวัสดุคอมโพสิตที่นิยมใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย

เนื่องจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกป่านศรนารายณ์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในเขตอำเภอด่านขุนทด ป่านศรนารายณ์จัดเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงมากชนิดหนึ่ง โดยมีค่าความทนต่อแรงดึง (tensile

strength) เท่ากับ 511-635 MPa [1] ในต่างประเทศมีการค้นคว้าวิจัยในการนำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาใช้ผลิตเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิตเป็นจำนวนมากแต่ประเทศไทยยังไม่พบการวิจัยเรื่องนี้ มีแต่เพียงงานวิจัยที่นำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หม้อกระดาษ [16,17] ในปัจจุบันจากการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลและประสานงานกับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกป่านศรนารายณ์ของคณะผู้วิจัยทำให้ทราบว่า การใช้ประโยชน์จากป่านศรนารายณ์ของกลุ่มเกษตรกรจะใช้ไปในทางงานหัตถกรรม ซึ่งมีปริมาณการใช้น้อยเมื่อเทียบกับจำนวนที่ปลูก และใช้ระยะเวลาในการประดิษฐ์หัตถกรรมต่อชิ้น ทำให้รายได้ต่อเดือนไม่มาก ถ้าเกษตรกรจะขายเส้นใยแห้งให้โรงงานอุตสาหกรรมทำเชือกป่านจะได้ในราคา กิโลกรัมละ 20 บาทซึ่งเป็นราคาที่ได้ไม่สูงมากนักโดยเกษตรกรผู้ปลูกป่านศรนารายณ์โดยทั่วไปมีฐานะยากจน ถ้ามีการใช้งานจากป่านศรนารายณ์มากขึ้น จะทำให้เกษตรกรมีรายได้มากขึ้นอีกทางหนึ่ง เป็นการลดปัญหาการละทิ้งงานเกษตรกรรมในถิ่นฐานเข้าไปหาอาชีพอื่นในเมืองใหญ่ และลดปัญหาสังคมที่ตามมาจากการเข้าไปหางานทำในเมืองของเกษตรกร เป็นการสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชน นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีให้เกิดระหว่างมหาวิทยาลัยกับชุมชนโดยใช้งานวิจัยเป็นตัวเชื่อมประสาน ในการที่มหาวิทยาลัยตระหนักถึงความสำคัญของการช่วยเหลือเกษตรกรในชุมชนในการเพิ่มรายได้เพื่อให้เกษตรกรสามารถมีคุณภาพชีวิตอยู่ดีมีสุขเป็นการสนองต่อพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลในการส่งเสริมให้ประชาชนมีเศรษฐกิจแบบพอเพียงและยั่งยืน ช่วยให้เกิดความเชื่อมั่นและสร้างความศรัทธาของชุมชนต่อมหาวิทยาลัย ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ป่านศรนารายณ์จึงเป็นเส้นใยธรรมชาติที่คณะผู้วิจัยเลือกมาใช้ในการศึกษา

ในโครงการวิจัยส่วนนี้ ระบบที่ต้องการศึกษาคือพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับอีพอกซีเรซิน โดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ได้จากกลุ่มแม่บ้าน อ.ด่านขุนทด นครราชสีมา เนื่องจากอีพอกซีเรซิน เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตซึ่งมีความแข็งแรงและทนต่อสารเคมีได้ดีเมื่อเทียบกับเทอร์โมพลาสติก แต่อีพอกซีเรซินเมื่อขึ้นรูปแล้ว ไม่สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้อีก ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ นอกจากจะเป็นการช่วยเพิ่มประโยชน์การใช้งานและมูลค่าให้กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ซึ่งเป็นพืชที่ปลูกมากในจังหวัดนครราชสีมา ยังเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้พลาสติกลง และได้ผลิตภัณฑ์คอมโพสิตที่มีความแข็งแรงในระดับปานกลาง ซึ่งสามารถพัฒนาไปใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง และอุตสาหกรรมยานยนต์ได้

1.2. กรอบแนวคิด (Conceptual Framework) และ การทบทวนวรรณกรรม (reviewed literature)

พอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติสามารถแบ่งตามชนิดของพอลิเมอร์เมทริกซ์เป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์คอมโพสิตประเภทเทอร์โมเซต และ พอลิเมอร์คอมโพสิตประเภทเทอร์โมพลาสติก

สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิตประเภทเทอร์โมเซตนั้น พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่มีการศึกษากันมาก ได้แก่ พอลิเอสเทอร์ (polyester) อีพอกซี (epoxy) ฟีนอลิก (phenolics) ยาง (rubber) และเมลามีนเรซิน [18-23] ซึ่งสามารถใช้งานในรูปของวัสดุวิศวกรรมได้ ในการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เส้นใยปอและเส้นใยแก้วเป็นสารตัวเติมในเมลามีนเรซิน พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตทั้งสองมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกัน [24] และมีผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมลามีนเรซินที่มีค่าการยึดติด (adhesion strength) ที่ดีกับพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ [8] สมบัติเด่นของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรง คือ มีน้ำหนักเบาและความแข็งแรงจำเพาะ (specific strength) สูงกว่าการใช้เส้นใยแก้ว [10]

อีพอกซีเรซิน เป็นพลาสติกวิศวกรรม (engineering plastic) ประเภทเทอร์โมเซตที่มีการใช้มากในงานหลายประเภท เช่น การเคลือบ (coating), การห่อหุ้ม (encapsulation) พลาสติกเสริมแรง (reinforced plastics) ฯลฯ เนื่องจากอีพอกซีเรซินมีคุณสมบัติเด่น หลายประการ เช่น มีรูปร่างที่คงตัว, มีโมดูลัสที่สูง, มีความทนทานต่อความร้อน, สารเคมี และความชื้น และมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติเชิงกลที่ดี แต่ปัญหาที่สำคัญของอีพอกซีเรซิน คือ ความเปราะ (brittleness) และมีความต้านทานต่อการแตกหักต่ำ [25]

เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติทางกายภาพที่เป็นข้อด้อยอยู่ 2 ประการ คือ ความเสถียรต่อความร้อนและปริมาณความชื้น ซึ่งโดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ไม่เกิน 240°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เส้นใยจะเกิดการเสื่อมสภาพ เส้นใยธรรมชาติมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 5-10% โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อความเสถียรของรูปร่างของพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น เกิดการบวมตัว และมีผลต่อสมบัติเชิงกล นอกจากนี้ความชื้นยังส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดรอยโหว่ขึ้นได้ ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อลดหรือกำจัดปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อพอลิเมอร์คอมโพสิต

การเพิ่มความเสถียรต่อความร้อนของเส้นใยธรรมชาติสามารถทำได้โดยการกราฟท์ (grafting) ด้วยมอนอเมอร์ และการทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟอสฟอเนต [26-28] สำหรับการลดปริมาณความชื้นของเส้นใยธรรมชาติสามารถทำได้โดยการทำไซยาโนเอทิลเลชัน (cyanoethylation) และ การทำอะเซทิลเลชัน (acetylation) [29- 30]

นอกจากการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยธรรมชาติที่จะช่วยให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีสมบัติดีขึ้นแล้ว การปรับปรุงสมบัติที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ [2, 31-33] รวมทั้งการหาสถานะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป [22] เป็นต้น ตัวอย่างการปรับปรุงคุณสมบัติที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยธรรมชาติและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ได้แก่ การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน $[R-(CH_2)_n-Si(OR')_3]$ การกราฟท์เส้นใยด้วยวิธีโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (graft copolymerization) และ การทำอิมเพกเนชัน (impregnation)

ในงานด้านพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้อีพอกซีเรซินเป็นเมทริกซ์ในสารตัวเติมหลายชนิด ทั้งเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้ว[34] เส้นใยคาร์บอน[35] และเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยปอกระเจา[36,37] ลิ้นจี่ [38] และป่านศรนารายณ์ [39] จากการทบทวนเอกสารทางวิชาการ พบว่า เหตุผลหนึ่งที่กลุ่มนักวิจัยจากหลายประเทศให้ความสนใจนำเส้นใยธรรมชาติมาศึกษา คือ เส้นใยธรรมชาติเหล่านั้นเป็นพืชเกษตรที่มีมากในพื้นที่ ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและเครื่องจักรที่ใช้ขึ้นรูป และช่วยลดปริมาณการใช้พลาสติกลง ในขณะที่เดียวกันจากการศึกษาและพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ทำให้คุณสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติโดยเฉพาะชนิดที่ใช้เทอร์โมเซตเป็นเมทริกซ์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคุณสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยสังเคราะห์และสามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้เส้นใยแก้วได้ในงานบางอย่าง

1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

สามารถผลิตผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับอีพอกซีเรซินที่มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยมีจุดประสงค์จำเพาะ ดังนี้

- เพื่อที่จะทราบผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ใช้เป็นสารตัวเติม ต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ สมบัติเชิงกล (mechanical properties) และสมบัติทางความร้อน (thermal properties)
- เพื่อที่จะทราบอิทธิพลของสารประสาน(coupling agent) ต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต

1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- ตรวจสอบผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์คอมโพสิต
- ตรวจสอบผลของสารประสานที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์คอมโพสิต

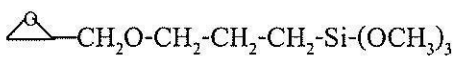
บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุดิบ

เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ คือ เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่มีอยู่ในประเทศไทย ซึ่งจากกลุ่มแม่บ้านผลิตเครื่องจักสานจากป่านสรนารายณ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ต.บ้านเก่า อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา โดยเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจะถูกตัดให้อยู่ในรูปของเส้นใยสั้นความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเส้นใย ได้แก่ เมทานอล (methanol) เบนซีน (benzene) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) และกรดอะซิติก (acetic acid) มีการปรับสภาพผิวเส้นใยโดยสารประสานไซเลน 2 ชนิด คือ สารประสานไซเลน A-187 (γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane, GPMS) และสารประสานไซเลน A-1100 (γ -aminopropyltriethoxy, APES) ซึ่งผลิตโดยบริษัท Optimal Tech Co.,Ltd. (ตารางที่ 2.1) อีพอกซีเรซินเมทริกซ์เตรียมขึ้นจากอีพอกซีเรซินเกรด YD-535 และตัวทำแข็ง เกรด TH-7256 จากบริษัท Thai Epoxy and Allied Products, Co. Ltd.

ตารางที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารประสานไซเลนที่ใช้ในการทดลอง

สารประสานไซเลน	โครงสร้างทางเคมี
3-aminopropyltriethoxysilane (APES)	$\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-Si-(OCH}_2\text{CH}_3)_3$
glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPMS)	

2.2 การเตรียมเส้นใย

ก่อนการนำเส้นใยป่านสรนารายณ์ไปผสมกับพอลิเมอร์เพื่อขึ้นรูปจะต้องนำไปผ่านขั้นตอนในการเตรียม ได้แก่ การล้างเส้นใยป่านสรนารายณ์ด้วยน้ำสะอาด เรียกว่า เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (Nonpretreated, NP), เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (cleaned, CL)

นำเส้นใยป่านสรนารายณ์ไปสกัดด้วยตัวทำละลายผสมโดยวิธีการต้ม (boiling method) เพื่อเป็นการกำจัดองค์ประกอบพวกไขมัน (wax) และสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอื่น ๆ ตัวทำละลายผสมที่

ใช้ คือ เมทานอล และ เบนซีน (benzene) ที่อัตราส่วน 1:1 อัตราส่วนตัวทำละลายและเส้นใยคือ ตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร ต่อเส้นใย 10 กรัม (liquor ratio 10:1) ขั้นตอนต่อไป คือ การทำอัลคาไลน์เซชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ใช้น้ำหนักอัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อเส้นใยคือ 10 ต่อ 1 (liquor ratio 10:1)

การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES (γ -aminopropyltriethoxysilane) เตรียมสารละลายไซเลนที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย วิธีการเตรียมสารละลายไซเลน คือ ละลาย APES ด้วยน้ำกลั่น ปรับ pH ของสารละลายด้วยกรดอะซิติกให้ได้ pH 3.5 นำเส้นใยมาแช่ในสารละลายไซเลน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายไซเลนกับเส้นใยคือ 10:1 (liquor ratio 10:1) กวนตลอดเวลา หลังจากแช่สารละลายไซเลนนำเส้นใยมาล้างด้วยน้ำกลั่นและอบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนชนิด GPMS (γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane) เตรียมสารละลายไซเลนที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย วิธีการเตรียมสารละลายไซเลน คือ ละลาย GPMS ด้วยน้ำกลั่น ปรับ pH ของสารละลายด้วยกรดอะซิติกให้ได้ pH 3.5 นำเส้นใยมาแช่ในสารละลายไซเลน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายไซเลนกับเส้นใยคือ 10:1 (liquor ratio 10:1) กวนตลอดเวลา หลังจากแช่สารละลายไซเลนนำเส้นใยมาล้างด้วยน้ำกลั่นและอบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2.3 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

2.3.1 วิธีการเตรียมแม่พิมพ์

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้แม่พิมพ์ขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร ความยาว 25 เซนติเมตร ความหนา 6 มิลลิเมตร การเตรียมแม่พิมพ์ทำโดยเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยการทาสีผึ้ง (wax) และนำแผ่นใส วางรองไว้ในแม่พิมพ์เพื่อป้องกันชิ้นงานติดแม่พิมพ์ นำแม่พิมพ์ไปวางไว้ในถาดอลูมิเนียมจัดให้อยู่กึ่งกลางของถาด ปรับระดับด้วยตัววัดระดับน้ำ วัดระดับของแม่พิมพ์ให้มีระดับที่เท่ากันทั่วทั้งแม่พิมพ์

2.3.2 การเตรียมอีพอกซีเรซินคอมโพสิตและการขึ้นรูปชิ้นงาน

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ อัตราส่วน โดยน้ำหนักระหว่างเส้นใยปาน สรณารายต์ต่อน้ำหนักโดยรวมของชิ้นงานคอมโพสิต และผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนจำนวน 2 ชนิด คือ สารประสานไซเลน A-187 (γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane, GPMS) และ A-1100 (γ -aminopropyltriethoxysilane, APES)

การเตรียมอีพอกซีเรซินคอมโพสิต ทำโดยผสมเส้นใยป่านสรนารายณ์กับอีพอกซีเรซินในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยกำหนดน้ำหนักของเส้นใยต่อน้ำหนักของชิ้นงานคอมโพสิตที่ 10, 15, 20 และ 25 % โดยน้ำหนักรวมของชิ้นงานคอมโพสิต โดยกำหนดให้น้ำหนักรวมของชิ้นงานคอมโพสิตคงที่ที่ 1800 กรัม อัตราส่วนผสมระหว่างอีพอกซีเรซินและตัวทำแข็งคือ 100:35 สัดส่วนของปริมาณเส้นใยป่านสรนารายณ์ น้ำยาเรซิน และปริมาณตัวทำแข็งที่ใช้ในการเตรียมอีพอกซีเรซินคอมโพสิตที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำหนักของเส้นใยป่านสรนารายณ์ต่อน้ำหนักรวมของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต

เส้นใยต่อน้ำหนักรวมของคอมโพสิต (W/W)	น้ำหนักป่านสรนารายณ์ (g)	น้ำหนักน้ำยาอีพอกซีเรซิน (g)	น้ำหนักของตัวทำแข็ง (g)
0	0	1333	467
10	180	1200	420
15	270	1133	397
20	360	1067	373
25	450	1000	350

ในการเตรียมชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิตจากเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดพื้นผิว และเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว จะเตรียมชิ้นงานโดยวิธีที่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น การเตรียมชิ้นงานที่ 10 เปอร์เซนต์เส้นใยต่อน้ำหนักรวมของคอมโพสิต โดยใช้เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น เริ่มต้นด้วยนำเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านขบวนการเตรียมเส้นใยเรียบร้อยแล้ว นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้น ทำการชั่งน้ำหนักเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่เย็นแล้วจำนวน 180 กรัม เตรียมน้ำยาอีพอกซีเรซินและตัวทำแข็ง โดยชั่งน้ำยาอีพอกซีเรซิน 1333 กรัม และ ตัวทำแข็ง 467 กรัม ใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ ผสมน้ำยาอีพอกซีเรซินและเส้นใยทั้งหมดให้เข้ากัน สังเกตได้จากความชุ่มชื้นของเส้นใยที่เปียกน้ำยาและทิ้งไว้สักครู่ เติมตัวทำแข็งลงไปและกวนผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องปั่นผสม (Mixer) เทส่วนผสมดังกล่าวลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แล้วปิดแม่พิมพ์ด้วยแผ่นเหล็ก จากนั้นเทน้ำเย็นลงในถาดอลูมิเนียมเพื่อช่วยในการระบายความร้อนของชิ้นงานขณะเกิดปฏิกิริยา ปล่อยให้ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงแล้วแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ตัดชิ้นงานขนาดต่าง ๆ ตามมาตรฐานการทดสอบแต่ละชนิด

โดยใช้เลื่อยชนิดสายพาน ชัดขอบของชิ้นงานด้วยเครื่องกระดาษทรายชนิดสายพานเพื่อให้ผิวเรียบ นำชิ้นงานที่ได้ไปทำการอบบ่ม (post cure) โดยการอบในตู้อบ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมงจึงนำไปทดสอบ

2.4 การตรวจสอบสมบัติของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต

2.4.1 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน

2.4.1.1 อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (Heat Distortion Temperature, HDT)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D648 โดยการเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดความยาว 130 มิลลิเมตร และความกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ทดสอบโดยเครื่องทดสอบที่ผลิตจากบริษัท Atlas Elective Device Company รุ่น HDV-1 Manual DTVL / VICAT และใช้ Silicone Oil เป็นตัวกลางในการนำความร้อน ใช้แรงกดมาตรฐาน 1820 กิโลปาสคาล (KPa) เพิ่มอุณหภูมิในอัตราคงที่ 2 ± 0.2 องศาต่อวินาที หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากการทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงาน

2.4.2 การตรวจสอบสมบัติทางกล

2.4.2.1 ความทนต่อแรงดึง (Tensile Properties)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 5083-96 โดยเตรียมชิ้นงานขนาดความยาว 210 มิลลิเมตรและความกว้าง 25 มิลลิเมตร ทดสอบโดยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ Instron รุ่น 5569, เซลล์วัดแรงขนาด (load cell) 50 กิโลนิวตัน ความยาวเกท (gauge length) 115 เซนติเมตร ความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที หาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น

2.4.2.2 ความทนต่อแรงกระแทก (Impact Properties)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5941 โดยเตรียมชิ้นงานยาว 63.5 มิลลิเมตร กว้าง 12.7 มิลลิเมตร ไม่มีการบากชิ้นงาน ใช้เครื่อง Basic Pendulum Impact (BPI) บริษัท Atlas Polymer Evaluation Products ใช้ load 2.7 J หาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น

2.4.2.3 ความทนต่อแรงดัด (Flexural Properties)

ทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด (3-point bending) ตามมาตรฐาน ASTM D790-97 เตรียมชิ้นงานกว้าง 130 มิลลิเมตร ยาว 27 มิลลิเมตร นำไปทดสอบค่าความทนต่อแรงดัดโดยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ Instron รุ่น 5569, เซลล์วัดแรงขนาด (load cell) 50 กิโลนิวตัน ใช้อัตราเร็วในการกด 2.52 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้ระยะกว้างระหว่างแท่งค้ำยัน (support span) 96 มิลลิเมตร หาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น

2.4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

ทดสอบโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) รุ่น JSM 6400 ที่ 10 keV ใช้กำลังขยาย 50 เท่า และ 2000 เท่า โดยใช้ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนต่อแรงดึง ขยายตรงบริเวณที่เป็นรอยหักของชิ้นงาน โดยศึกษาจากบริเวณรอยแตกของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนต่อแรงดึง

บทที่ 3

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลของปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ก่อนการปรับสภาพพื้นผิวต่อสมบัติทางกายภาพของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต

3.1.1 สมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (Heat distortion temperature)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานอีพอกซีเรซินและชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิตที่มีเส้นใยปริมาณต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิตมีค่าสูงกว่าของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์และมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยป่าน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ที่ปริมาณเส้นใยป่าน 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานจะมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณเส้นใยป่านเท่ากัน จะพบว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน จะมีค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก

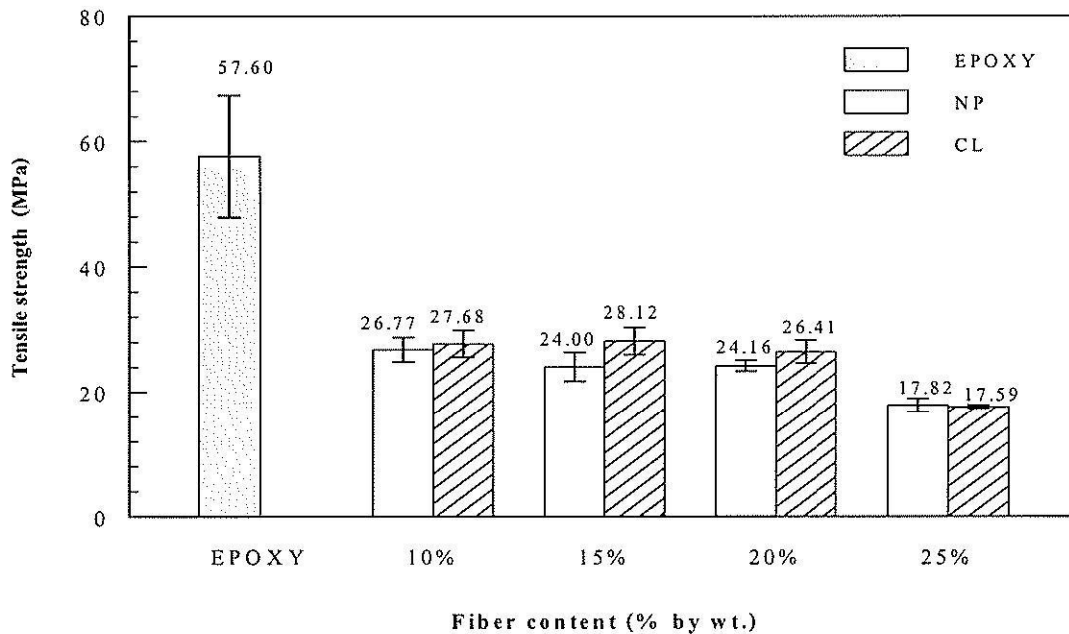
ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

ปริมาณเส้นใย (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (°C)	
	NP Composite	CL Composite
0	65.2 ± 0.50	65.2 ± 0.50
10	66.8 ± 0.94	66.6 ± 2.60
15	68.7 ± 1.60	67.7 ± 1.20
20	77.4 ± 0.82	76.6 ± 0.65
25	68.3 ± 0.83	74.2 ± 1.00

3.1.2 สมบัติเชิงกล

สมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile properties)

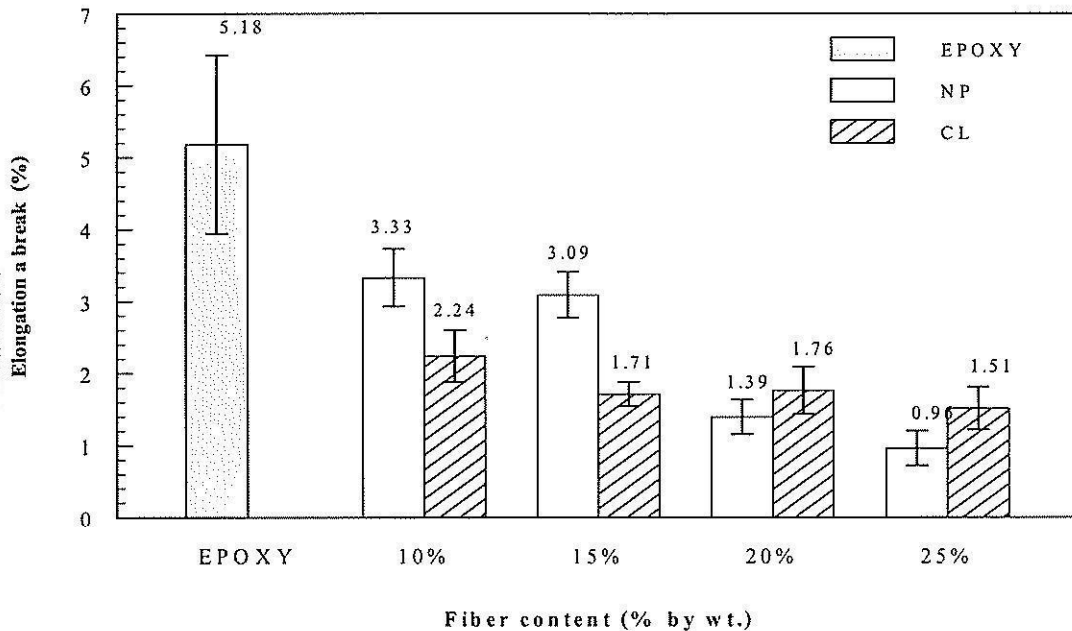
ค่าความทนต่อแรงดึง ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก และ โมดูลัสของยังก์ ของอีพอกซีเรซินและอีพอกซีเรซินคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่าง ๆ กัน โดยเปรียบเทียบระหว่างการใส่เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) แสดงในรูปที่ 3.1-3.3 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ความทนต่อแรงดึงของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.1 พบว่าค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าสูงกว่าค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินและเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์แตกต่างกัน พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุด ส่วนชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความทนต่อแรงดึงลดลง อาจเนื่องมาจากเส้นใยป่านศรนารายณ์มีสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดี และทำให้เปียก (wet) โดย

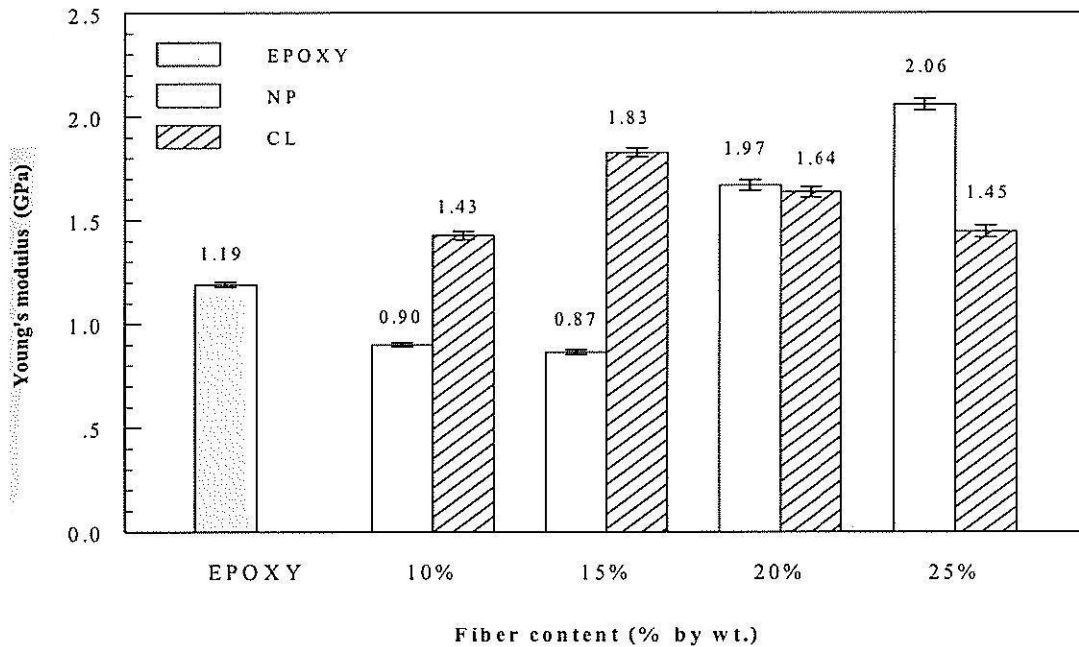
อีพอกซีเรซินได้ไม่คืนกลับ ดังนั้นเมื่อใช้เส้นใยในปริมาณที่มากขึ้นเกินค่า ๆ หนึ่ง ปริมาณความชื้นในคอมโพสิตมากขึ้น ทำให้เกิดเป็นไอน้ำปริมาณมากที่อุณหภูมิการขึ้นรูป เกิดเป็นโพรงอากาศ และทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าลดลง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาที่ปริมาณเส้นใยปานเท่ากัน จะพบว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน จะให้ค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานอีพอกซีคอมโพสิตที่ค่าใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 3.2 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยปานสรณารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.2 พบว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (elongation at break) ของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน มีค่าสูงกว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยปานสรณารายณ์ต่างๆ กัน พบว่าในกรณีที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นที่ปริมาณเส้นใยปานสรณารายณ์ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิตสูงและมีค่าใกล้เคียงกัน และในกรณีที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน พบว่า การใช้ปริมาณเส้นใยปานสรณารายณ์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิตสูงสุด และที่ปริมาณเส้นใยปานสรณารายณ์ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิตที่ค่าใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความ

ยึดหยุ่น ณ จุดแตกหักมีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่ามอดุลัสสูงและเป็ยกีพอกซีเรซินได้ไม่ดี นอกจากนี้ ความชื้นที่มีอยู่ในเส้นใยป่านศรนารายณ์ ทำให้เกิดไอน้ำและโพรงอากาศขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งเป็นตำหนิที่ทำให้ชิ้นงานทนต่อการดึงยึดได้น้อย

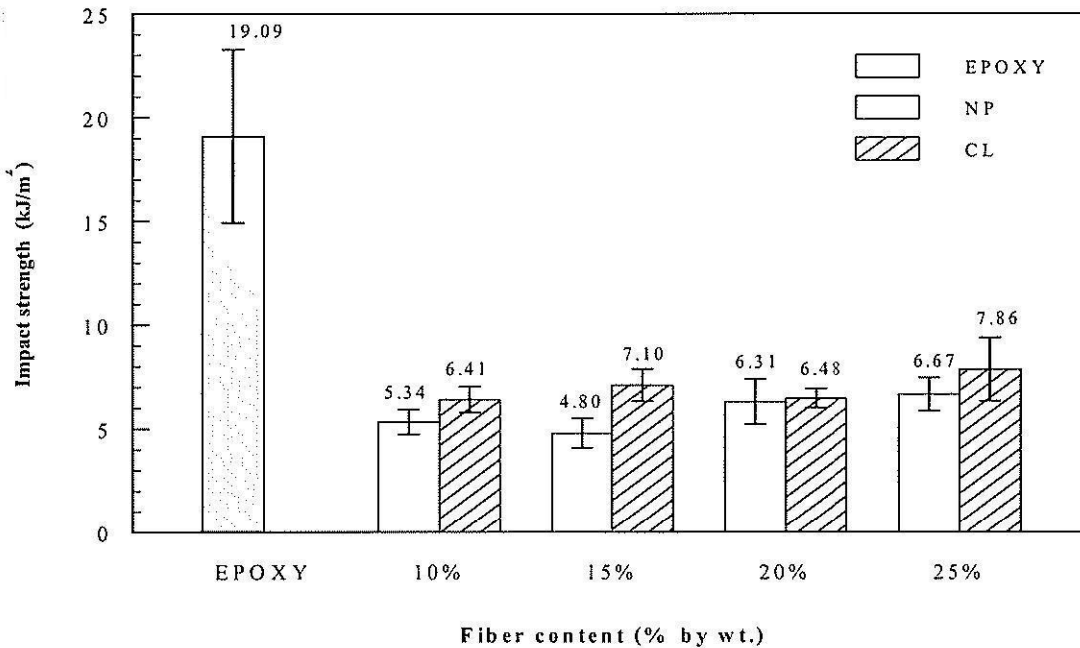


รูปที่ 3.3 มอดุลัสของยังก์ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.3 พบว่าค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) ของชิ้นงานคอมโพสิตจะมีค่าสูงกว่าค่ามอดุลัสของยังก์ของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน พบว่าในกรณีการใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น ชิ้นงานคอมโพสิตจะมีค่ามอดุลัสของยังก์เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยป่านในชิ้นงานคอมโพสิต ส่วนในกรณีการใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน ชิ้นงานคอมโพสิตจะมีค่ามอดุลัสของยังก์เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้ปริมาณเส้นใยป่าน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์สองชนิด พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะมีค่ามอดุลัสของยังก์สูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน

สมบัติความทนต่อแรงกระแทก (impact properties)

ค่าความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) แสดงในรูปที่ 3.4



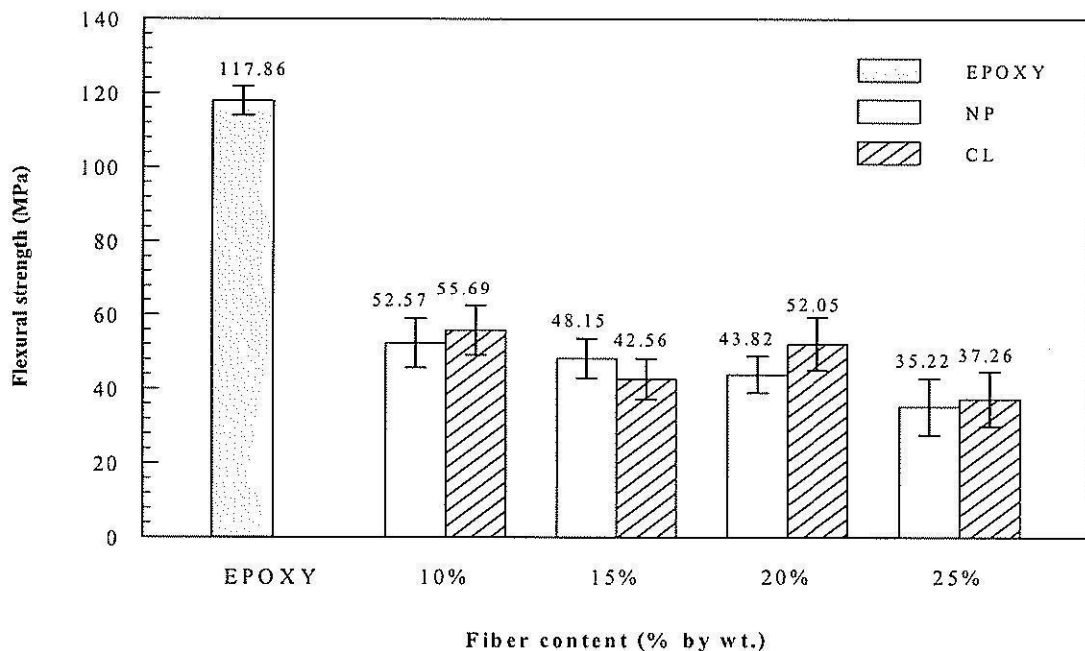
รูปที่ 3.4 ความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.4 พบว่าค่าความทนต่อแรงกระแทก (impact strength) ของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าสูงกว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิต และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน พบว่า ปริมาณเส้นใยป่านเพิ่มขึ้นในชิ้นงาน ไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงกระแทกอย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะดังกล่าวพบทั้งในกรณีของเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นและกรณีของเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและทำอัลคาไลน์เซชัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์สองชนิด พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน จะมีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีการกระจายตัวในเนื้ออีพอกซีเร

ขึ้น ดีกว่า ดังนั้น จึงกระจายแรงกระทบได้ดีกว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น และทำให้มีค่าความทนต่อแรงกระแทกที่สูงกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น

สมบัติความทนต่อแรงดัด (Flexural properties)

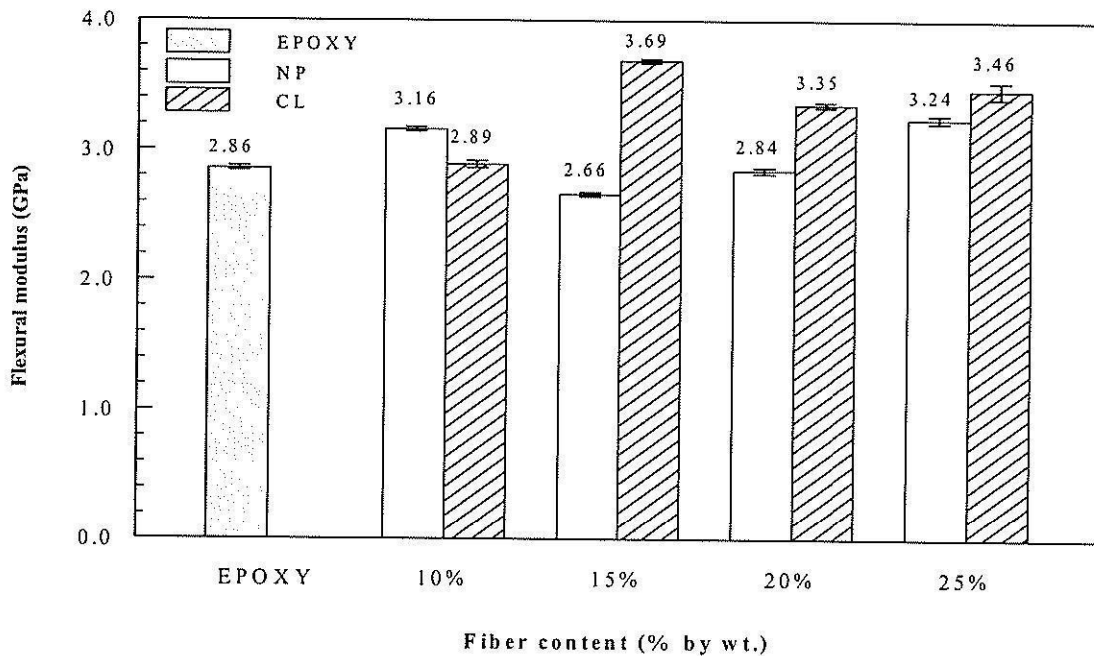
ค่าความแข็งแรงดัด (flexural strength) และค่ามอดุลัสแรงดัด (flexural modulus) ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอม โพลีทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) แสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 ความทนต่อแรงดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอม โพลีท ระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.5 พบว่าค่าความแข็งแรงดัด ของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานคอม โพลีท เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอม โพลีทที่มีปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่างกัน จะพบว่าในกรณีที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะมีค่าความแข็งแรงดัดลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์เพิ่มสูงขึ้น และในกรณีเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน พบว่าที่ปริมาณเส้นใยป่าน 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะ

มีค่าความแข็งแรงดัดมีค่าอยู่ในช่วง 40- 50 MPa แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านเป็น 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงดัดมีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยป่านรายนาร์ยณ์เปลือกอีพอกซีเรซินได้ไม่ดีและความชื้นที่มีอยู่ในเส้นใยป่านรายนาร์ยณ์ ทำให้เกิดไอน้ำและโพรงอากาศขึ้นในชิ้นงานตามปริมาณเส้นใยป่านที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้แรงกระทำที่อินเทอร์เฟสระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านรายนาร์ยณ์ลดลง ส่งผลทำให้ความทนต่อแรงดัดมีค่าลดลง



รูปที่ 3.6 มอดูลัสของการดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านรายนาร์ยณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) และเส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมและการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.6 พบว่าค่ามอดูลัสแรงดัดของชิ้นงานคอมโพสิตที่มีค่าสูงกว่าค่ามอดูลัสแรงดัดของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยป่านรายนาร์ยณ์ต่างกัน พบว่า ค่ามอดูลัสแรงดัดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันไม่ขึ้นกับปริมาณเส้นใยป่าน และชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะมีค่ามอดูลัสแรงดัดสูงที่สุด

3.2 ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลนต่อสมบัติของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต

การศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลนต่อสมบัติของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต ได้ใช้ตัวแปรในการศึกษา คือ เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาการปรับสภาพผิวต่างๆ โดยได้เตรียมอีพอกซีเรซินคอมโพสิตโดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใยคงที่ที่ 15 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากผลการศึกษาในหัวข้อ 3.1 พบว่า ที่ปริมาณเส้นใย 15 % โดยน้ำหนัก เป็นสัดส่วนเส้นใยที่ทำให้ได้อีพอกซีเรซินคอมโพสิตที่มีการกระจายตัวของเส้นใยดีกว่าอีพอกซีเรซินคอมโพสิตที่เตรียมขึ้น โดยใช้ปริมาณเส้นใยที่มากหรือน้อยกว่านี้และมีสมบัติเชิงกลเหมาะสม

3.2.1 สมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการบิดเบี้ยว

ตารางที่ 3.2 แสดงอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาต่าง ๆ จากตารางที่ 3.2 พบว่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของอีพอกซีเรซินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงานคอมโพสิต และชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวโดยการแช่ในสารประสาน GPMS เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะมีค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวสูงที่สุด

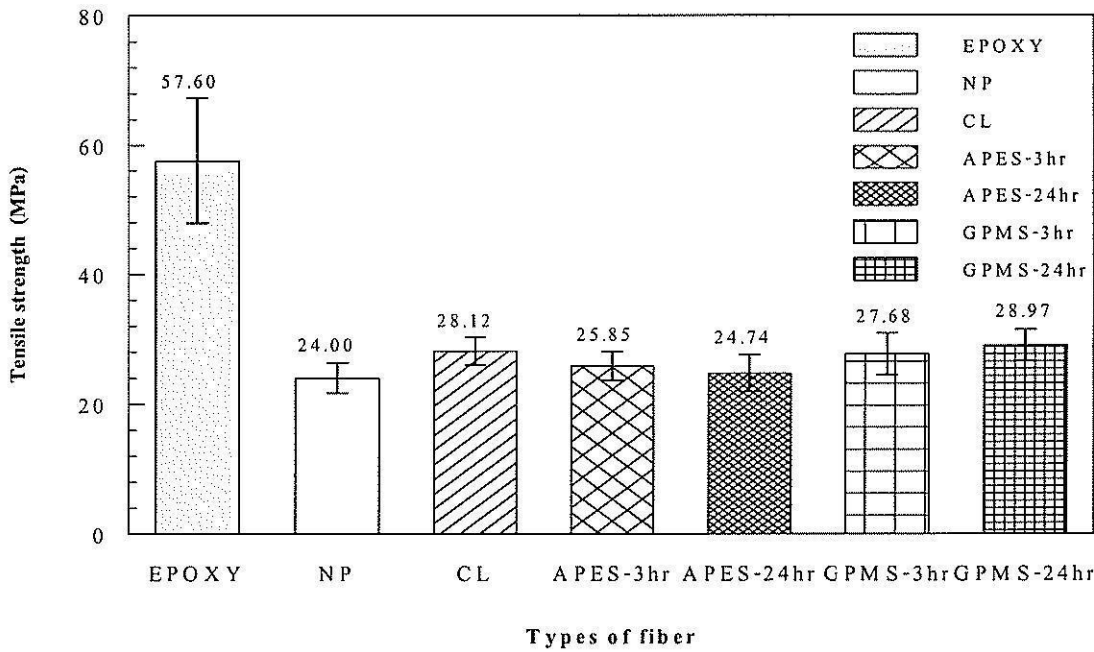
ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิการบิดเบี้ยวของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

ชนิดเส้นใย	อุณหภูมิการบิดเบี้ยว (°C)
Epoxy pure	65.2 ± 0.50
NP 15%wt	68.70 ± 1.60
CL 15%wt	67.70 ± 1.20
APES-3 hr	72.00 ± 1.00
APES-24 hr	71.50 ± 1.15
GPMS-3 hr	70.07 ± 1.00
GPMS-24 hr	73.67 ± 0.62

3.2.2 สมบัติเชิงกล

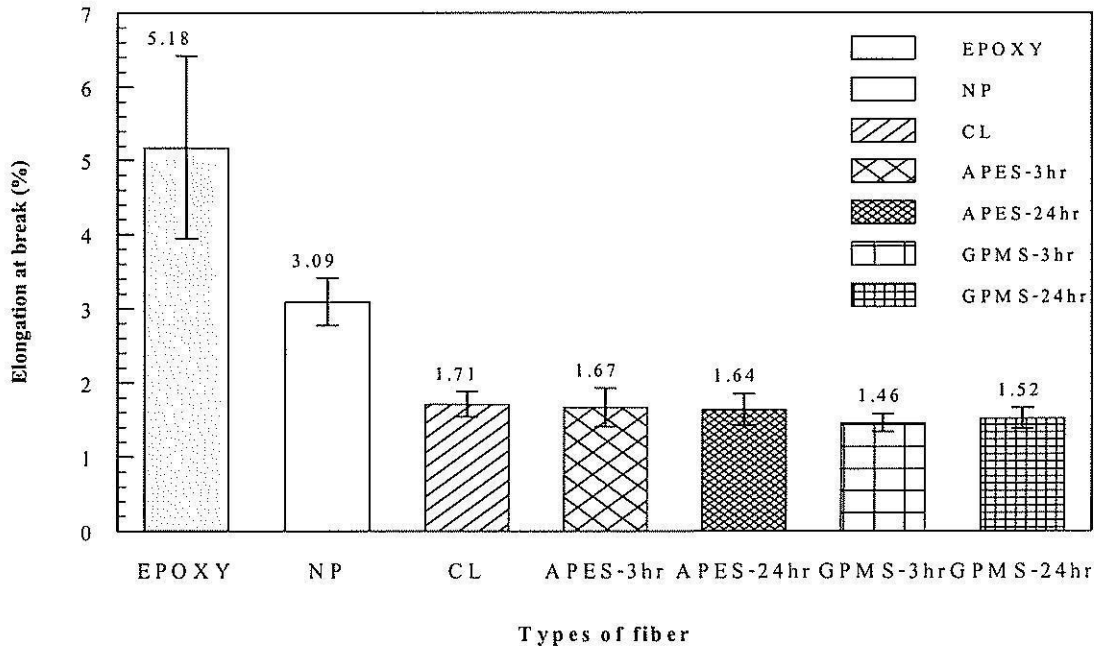
สมบัติความทนต่อแรงดึง

ค่าความทนต่อแรงดึง ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก และ โมดูลัสของยังก์ ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น เส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน และเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาต่างๆ แสดงในรูปแบบที่ 3.7-3.9 ตามลำดับ



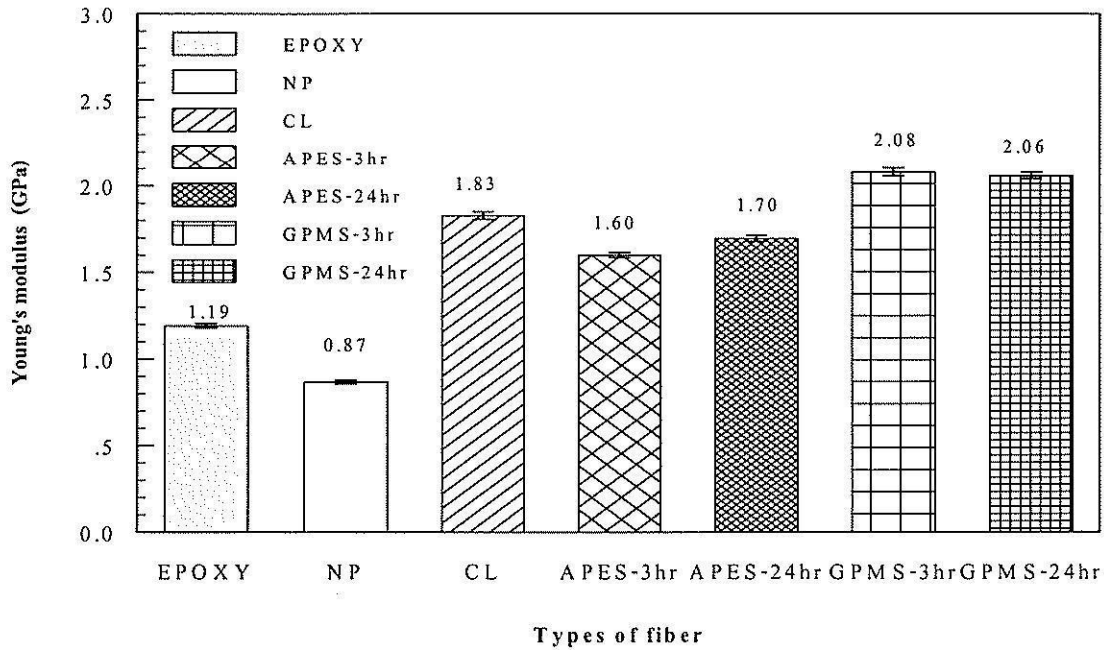
รูปที่ 3.7 ความทนต่อแรงดึงของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยปานสรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าสูงกว่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพสิต และเมื่อเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยปานสรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลน พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน GPMS จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน APES นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยปานสรนารายณ์โดยใช้สารประสานไซเลนประเภทเดียวกันแต่ใช้เวลาในการแช่เส้นใยในสารประสานไซเลนต่างกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพสิต



รูปที่ 3.8 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน มีค่าสูงกว่าค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่เตรียมขึ้น โดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์แบบต่าง ๆ พบว่า การใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะทำให้ชิ้นงานคอมโพสิตมีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก สูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ได้จากการใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน และสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ได้จากการใช้เส้นใยที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารไซเลนต่างชนิดกัน นอกจากนี้ ชิ้นงานคอมโพสิตสองประเภทหลังยังให้ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนและเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยในสารประสานไซเลน ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักของชิ้นงานคอมโพสิต

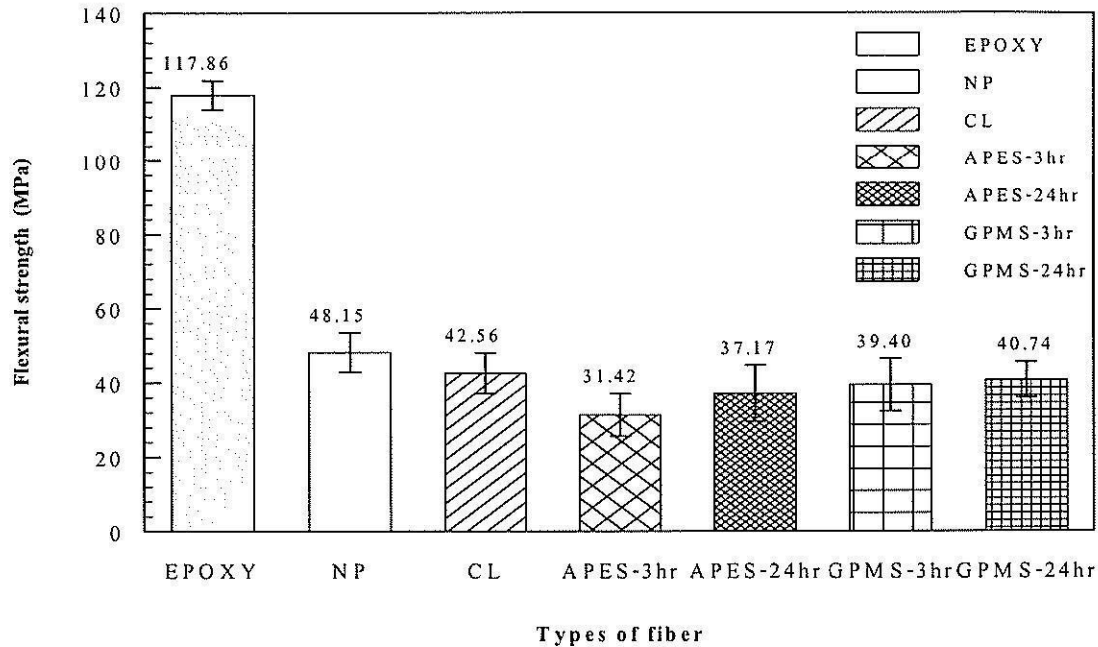


รูปที่ 3.9 มอดุลัสของยังก์ของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใย ป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นมีค่ามอดุลัสของยังก์ต่ำที่สุด และต่ำกว่าค่ามอดุลัสของยังก์ของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอีพอกซีเรซินกับชิ้นงานคอมโพสิตที่เตรียมขึ้นโดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์แบบอื่น พบว่า ค่ามอดุลัสของยังก์ของชิ้นงานคอมโพสิตมีค่าสูงกว่าค่ามอดุลัสของยังก์ของชิ้นงานอีพอกซีเรซิน ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีแรงกระทำระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์เพิ่มขึ้นหลังจากการทำอัลคาไลน์เซชันหรือปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารไซเลน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันและชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน พบว่า มีค่ามอดุลัสของยังก์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาการปรับสภาพพื้นผิวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วย พบว่าสารประสานไซเลน GPMS จะส่งผลให้ค่ามอดุลัสของยังก์มีค่าสูงกว่าการใช้สารประสานไซเลน APES

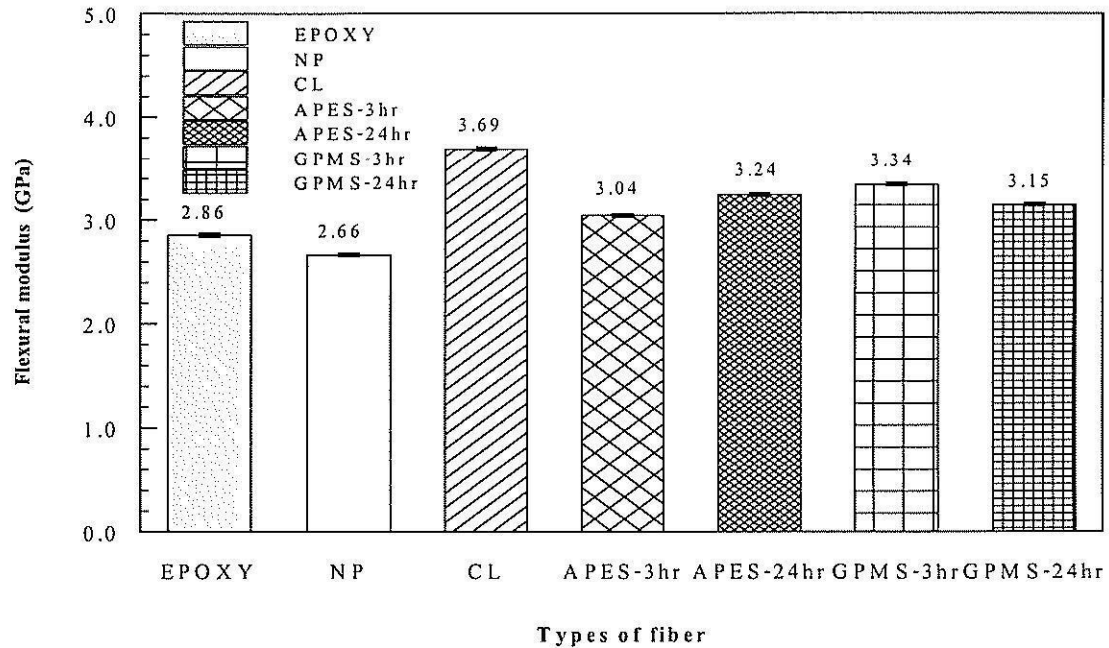
ความแข็งแรงดัด

ค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดุลัสแรงดัดของอีพอกซีเรซิน และพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน APMS และ GPMS ณ เวลาต่าง ๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ความแข็งแรงดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยปानศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานคอมโพสิต และเมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยเท่ากัน พบว่า มีค่าความแข็งแรงดัดแตกต่างกันน้อย โดยชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้นจะมีค่าความแข็งแรงดัดที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลน พบว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย GPMS เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะมีค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย APES หรือเส้นใยที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย GPMS เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเล็กน้อย

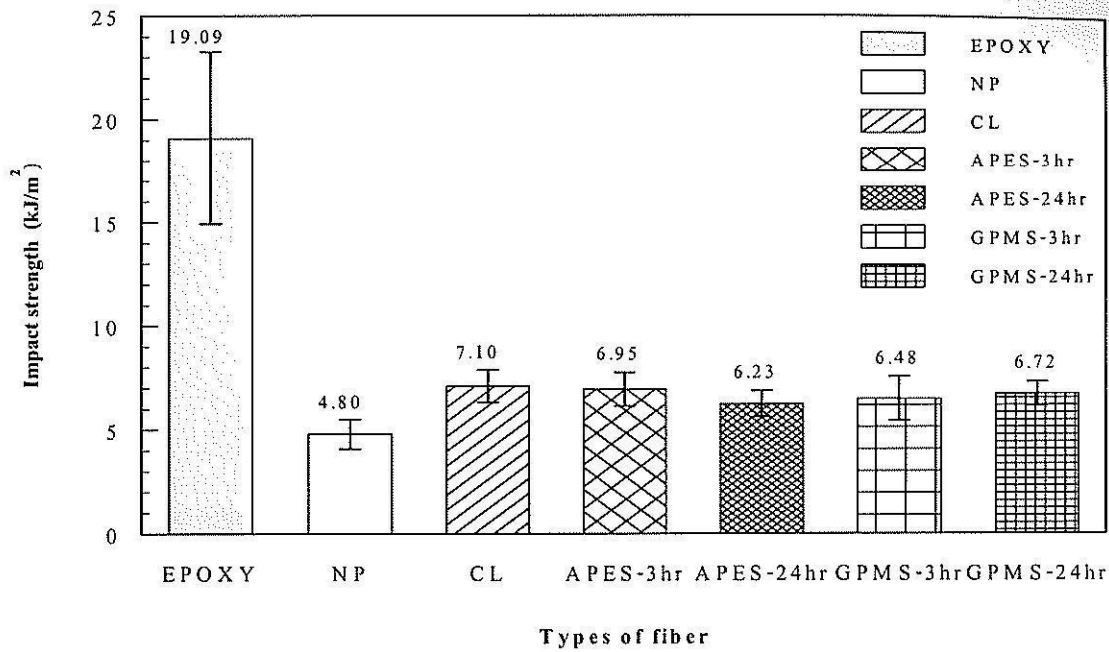


รูปที่ 3.11 มอดูลัสแรงดัดของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใย ป่านขนรายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลการทดลองจากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่มีค่ามอดูลัสแรงดัด สูงกว่าค่ามอดูลัสแรงดัดของชิ้นงานอีพอกซีเรซินและเมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนชนิดต่างกันที่เวลาต่างกัน พบว่า ชิ้นงานคอมโพสิตที่มีค่ามอดูลัสแรงดัดที่มีค่าใกล้เคียงกัน

สมบัติการทนต่อแรงกระแทก

ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารประสานไซเลนทั้งสองชนิด ณ เวลาต่างๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 3.12 ชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิต และเมื่อเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิตเมื่อมีการใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันและปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนพบว่ามีความทนต่อแรงกระแทกที่ใกล้เคียงกัน

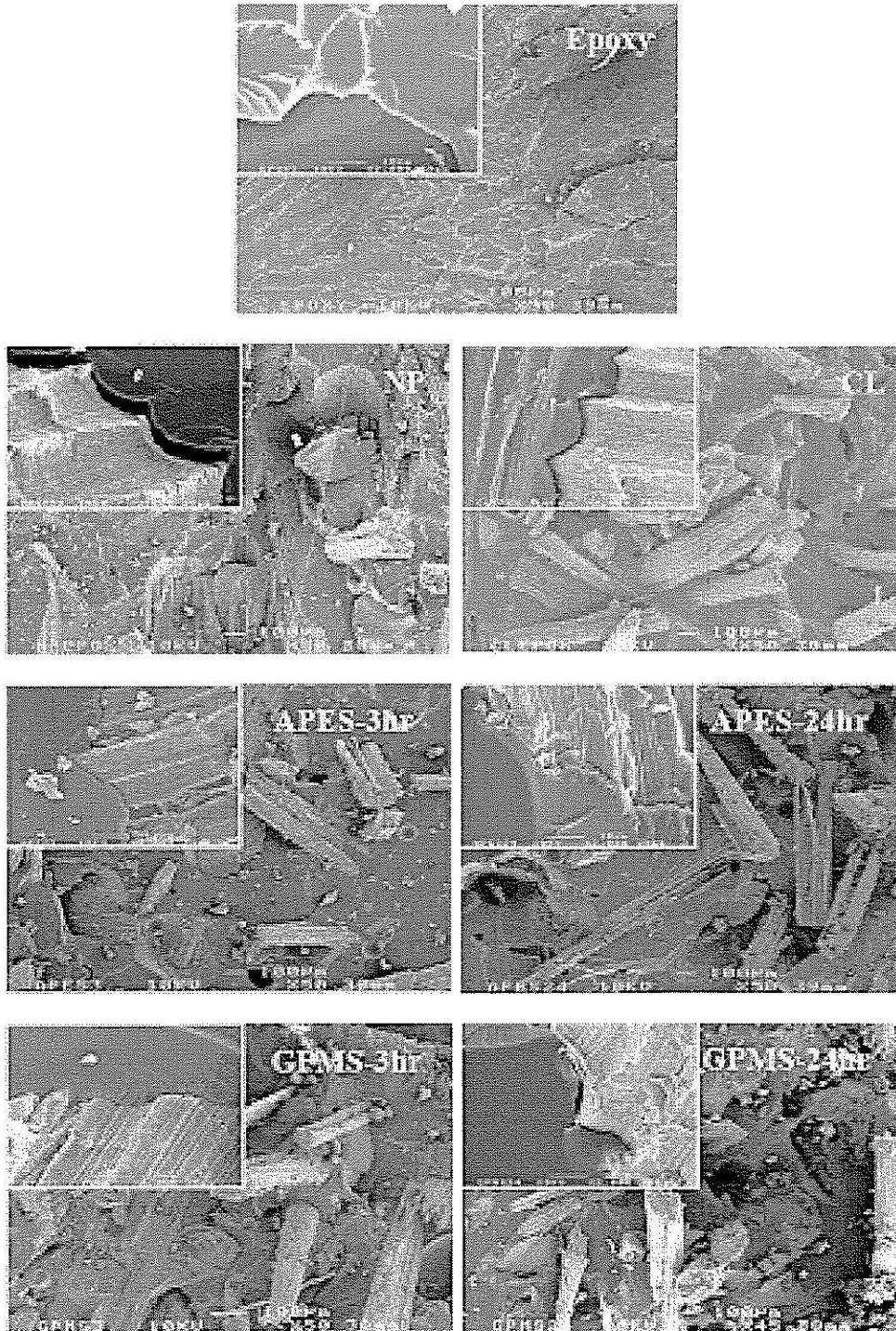


รูปที่ 3.12 ความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

3.2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นงานได้จากการใช้ SEM ตรวจสอบบริเวณผิวหน้ารอยแตกหักของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนต่อแรงดึง โดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอีพอกซีเรซิน พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาต่าง ๆ ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 3.13 จากภาพถ่าย SEM ผิวหน้าของชิ้นงานอีพอกซีเรซินมีลักษณะเป็นริ้ว ไม่มีการยึดตัวของพอลิเมอร์หลังถูกแรงดึง แสดงลักษณะของอีพอกซีเรซินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งเปราะ เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการใช้เส้นใยที่ยังไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) หรือเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน (CL) พบว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน มีระยะห่างระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ที่พื้นผิวชิ้นงานภายหลังจากการดึงที่แคบกว่าการใช้เส้นใยที่ยังไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (NP) แสดงให้เห็นว่า การทำอัลคาไลน์เซชันช่วยให้เกิดการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ที่ดี นอกจากนี้ จากภาพถ่าย SEM พบว่าการทำอัลคาไลน์หรือการปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนก่อนนำมาเตรียมชิ้นงานคอมโพสิต จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะสัณฐานวิทยาหลังการแตกหักที่คล้ายคลึงกัน คือ ในบางบริเวณมีเนื้ออีพอกซีเรซินยึดติดอยู่ที่ผิวหน้าของเส้นใย รวมถึงจะสังเกตเห็นช่องว่างหรือรอยแยกเล็ก ๆ ในบาง

บริเวณของรอยต่อระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใย แสดงว่า การทำอัลคาไลน์หรือการปรับสภาพผิวเส้นใย ด้วยสารประสานไซเลนช่วยปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์



รูปที่ 3.13 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอีพอกซีเรซินและพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างอีพอกซีเรซินกับเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่มีและมีการปรับสภาพผิว ที่ปริมาณเส้นใย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองด้านสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตไม่สอดคล้องกับลักษณะทาง
สัณฐานวิทยาที่พบจากพื้นผิวหน้ารอยแตกหักของชิ้นงาน โดยพบว่า ชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิต
มีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ค่าความทนต่อแรงกระแทก ค่าความแข็งแรง
ดัด ต่ำกว่าชิ้นงานอีพอกซีเรซิน และมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ใน
ชิ้นงานคอมโพสิต สาเหตุอาจเนื่องมาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการเตรียมคอมโพสิต รวมถึง
การระเหยของน้ำออกจากผิวหน้าของเส้นใยป่านศรนารายณ์ (ถึงแม้ว่ามีการอบเส้นใยก่อนการเตรียม
คอมโพสิตแล้วก็ตาม)

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

ชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิตมีค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน ค่ามอดูลัสของยังก์ และค่ามอดูลัสแรงดัดสูงกว่าชิ้นงานอีพอกซีเรซิน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ในชิ้นงานคอมโพสิต โดยชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่ามอดูลัสของยังก์ ค่าความทนต่อแรงดึง และค่ามอดูลัสแรงดัดสูงสุด อย่างไรก็ตาม ชิ้นงานอีพอกซีเรซินคอมโพสิตมีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ค่าความทนต่อแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงดัด ต่ำกว่าชิ้นงานอีพอกซีเรซิน และมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ในชิ้นงานคอมโพสิต นอกจากนี้ สำหรับเส้นใยทั้งสองประเภท การเพิ่มปริมาณเส้นใยป่านในชิ้นงาน ไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงกระแทกและค่ามอดูลัสแรงดัด อย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารประสานไซเลนต่อสมบัติของอีพอกซีเรซินคอมโพสิต ทำโดยเตรียมอีพอกซีเรซินคอมโพสิตที่ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ดั่งที่ 15 % โดยน้ำหนัก ใช้ตัวแปรในการศึกษา คือ เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน และเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารประสานไซเลนชนิด APES และ GPMS ณ เวลาการปรับสภาพผิวต่าง ๆ พบว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวโดยการแช่ในสารประสาน GPMS เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะมีค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยว ค่าความแข็งแรงดัด และค่ามอดูลัสของยังก์สูงสุด ชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน GPMS จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงกว่าชิ้นงานคอมโพสิตที่มีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลน APES และเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานคอมโพสิต นอกจากนี้ การปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนและเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นใยในสารประสานไซเลนไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก ค่ามอดูลัสแรงดัด และค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานคอมโพสิต การทำอัลคาไลน์หรือการปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยสารประสานไซเลนช่วยปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในชั้นถัดไป

ปรับปรุงวิธีการเตรียมชิ้นงานคอมโพสิตโดยศึกษาหาวิธีการกำจัดฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมคอมโพสิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะทำให้ผลการปรับปรุงผิวหน้าเส้นใยต่อสมบัติของคอมโพสิตมีความเด่นชัดมากขึ้น

บรรณานุกรม

1. S. K. Garkhai, R. W. H. Heijenrath, and T. Peijs, *Appl. Compos. Mater.*, **7**, 351, 2000.
2. J. C. M. De Bruijn, *Appl. Compos. Mater.*, **7**, 415, 2000.
3. A. R. Sanadi and D. F. Caulfied, *Compos. Interf.*, **7**, 31, 2000.
4. J. Bayer, *Chem. Fibers Int.*, **50**, 575, 2000.
5. D. S. Varma, M. Varma, and I. K. Varma, *Text. Res. J.*, **54**, 827, 1984.
6. K. Joseph, S. Thomas, and C. Pavithran, *Polymer*, **37**, 5139, 1996.
7. Y. Li, Y. -W. Mai, and L. Ye, *Compos. Sci. Technol.*, **60**, 2037, 2000.
8. C. Chuai, K. Almdal, L. Poulsen, and D. Plackett, *J. Appl. Polym. Sci.*, **80**, 2833, 2001.
9. <http://www.oae.go.th/statistic/export/index.html>
10. W. Chetanachan, N. Chantasatrasamee, and R. Sinsermsuksakul, *Proceedings of The First Thailand Materials Science and Technology Conference*, Thailand, 102, 2000.
11. F. M. B. Coutinho, T. H. S. Costa, D. L. Carvalho, M. M. Gorelova and L. Maria, *Polym. Testing*, **17**, 299, 1998.
12. E. Jakab, G. Varhegyi, and O. Faix, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **56**, 273, 2000.
13. X. Chen, Q. Guo, and Y. Mi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 1891, 1998.
14. M. Kazayawoko, J. J. BalatineCZ, and L. M. Matuana, *J. Mater. Sci.*, **34**, 6189, 1999.
15. เอกสารทางวิชาการ หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม 2540.
16. บุรฉัตร ฉัตรวีระ, พิชัย นิมิตยงสกุล และ พนม สีหามุตร วิศวกรรมสาร ฉบับ ว.ส.ท. เทคโนโลยี ปีที่ 48 ฉบับที่ 4 เมษายน 2438
17. บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตยงสกุล, ข่าวช่าง, ฉบับที่ 275, มีนาคม 2438
18. C. Serre, M. Vayer, and R. Erre, *Proceedings of International SAMPE Symposium and Exhibition*, **45**, 1163, 2000.
19. W. Schoenthaler and U. Brown, *Kunstst. Ger. Plast.*, **77**, 64, 1987.
20. B. S. Westerlind and J. C. Berg, *J. Appl. Polym. Sci.*, **36**, 523, 1988.
21. S. J. Park, J. S. Jin, and J. R. Lee, *J. Adhes Sci. Techol.*, **14**, 1677, 2000.
22. A. K. M. Masud, K. Isogimi, and J. Suzuki, *Mater. Sci. Research Int.*, **6**, 186, 2000.
23. P. O. Haqstrand and K. Oksman, *Doktorsavhandlingar vid Chalmers Tekniska Hogskola*, **1**, 1999.

24. P. Dominik, *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 4240, 38, 2000.
25. J. H.; Hodgkin, G. P. Simon, and R. J. Varley, *Polymers for Advanced Technologies*, 9(1), 3 – 10, 1998.
26. A.K. Mahanty, S. Patnaik, and B.C. Singh, *J. Appl. Polym. Sci.*, 37, 1171, 1989.
27. M.W. Sabaa, *Polym. Degrad. Stab.*, 32, 209, 1991.
28. M.G.S. Yap, Y.T. Que, L.H. Chia, and H.S.O. Chan, *J. Appl. Polym. Sci.*, 43, 2057, 2000.
29. A.K. Saha, S. Das, R.K. Basak, D. Bhatta, and B.C. Mitra, *J. Appl. Polym. Sci.*, 78, 495, 2000.
30. A.K. Bledzki and J. Gassan, *Prog. Polym. Sci.*, 24, 225, 1999.
31. A. D. Beshay, B. V. Kokta, and C. Daneault, *Polym. Comp.*, 6, 261, 1985.
32. R. G. Raj, B. V. Kokta, and C. Daneault, *J. Adhes. Sci. Technol.*, 3, 55, 1989.
33. Y. H. Zang and S. Sapiaha, *Polymer*, 32, 489, 1991.
34. C. Kaynak, A. Arikian, and T. Tincer, *Polymer*, 44, 2433, 2003.
35. S. Shin, J. Jang, *J. Mater. Sci.*, 35(8), 2047, 2000.
36. C. Datta, D. Basu, and A. Banerjee, *J. Appl. Polym. Sci.*, 85, 2800, 2002.
37. J. Gassan and V. S. Gutowski, *Comp. Sci. and Tech.*, 60, 2857, 2000.
38. D. G. Hepworth, J. F. V. Vincent, G. Jeronimidis, and D. M. Bruce, *Composites: Part A*, 31, 590, 2000.
39. M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu, G. C. Yang, and H. M. Zeng, *Comp. Sci. Tech.*, 61, 1437, 2001.

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิธินาถ สุภกกาญจน์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขา Macromolecular Science จากมหาวิทยาลัย Case Western Reserve ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Polymer Characterization และ Polymer Composites มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติ ดังนี้

- N. Suppakarn, K. Jarukumjorn, "Mechanical properties and flammability of sisal/PP composites: Effect of flame retardant type and content," **Composites Part B**, **40** (7), 613-618, 2009.
- Y. Ruksakulpiwat, J. Sridee, N. Suppakarn, W. Sutapun, "Improvement of impact property of natural fiber-polypropylene composite by using natural rubber and EPDM rubber," **Composites Part B**, **40** (7), 619-622, 2009.
- K. Jarukumjorn, N. Suppakarn, "Effect of glass fiber hybridization on properties of sisal fiber-polypropylene composites," **Composites Part B**, **40** (7), 623-627, 2009.
- U. Somnuk, N. Suppakarn, W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, "Shear-induced crystallization of injection molded vetiver grass-polypropylene composites," **J. Appl. Polym. Sci.**, **113**, 4003-4014, 2009.
- S. Rimdusit, N. Kampangsaeree, W. Tanthapanichakoon, T. Takeichi, and N. Suppakarn, "Development of Wood-Substituted Composites from Highly Filled Polybenzoxazine-Phenolic Novolac Alloys," **Polym. Eng. Sci.**, **47**, 140-149, 2007.
- 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**, 2997-3006, 2007.
- Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, W. Thomthong, "Vetiver - Polypropylene Composites: Physical and Mechanical Properties," **Composites Part A**, **38**, 590-601, 2007.
- N. Suppakarn, H. Ishida, and J.D. Cawley, "Roles of Poly(propylene glycol) During Solvent-based Lamination of Ceramic Green Tape," **J. Am. Ceram. Soc.**, **84**(2), 289-296, 2001.

ประวัติคณะผู้วิจัย (ต่อ)

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขา Macromolecular Science จากมหาวิทยาลัย Case Western Reserve ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Composite Interface/Interphase และ Spectroscopy of Polymers มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติ ดังนี้

- Y. Ruksakulpiwat, J. Sridee, N. Suppakarn, W. Sutapun, "Improvement of impact property of natural fiber-polypropylene composite by using natural rubber and EPDM rubber," **Composites Part B**, 40 (7), 619-622, 2009.
- U. Somnuk, N. Suppakarn, W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, "Shear-induced crystallization of injection molded vetiver grass-polypropylene composites," **J. Appl. Polym. Sci.**, 113, 4003-4014, 2009.
- 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, 2997-3006, 2007.
- Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, W. Thomthong, "Vetiver - Polypropylene Composites: Physical and Mechanical Properties," **Composites Part A**, 38, 590-601, 2007.
- W. Noobut and J. L. Koenig. Interfacial Behavior of Epoxy/E-glass Fiber Composites under Wet-Dry Cycles by FTIR Microspectroscopy. **Polym. Compos.**, 20, 38, 1999.

บรรณานุกรม

- 1 S. K. Garkhai, R. W. H. Heijenrath, and T. Peijs, *Appl. Compos. Mater.*, **7**, 351, 2000.
- 2 J. C. M. De Bruijn, *Appl. Compos. Mater.*, **7**, 415, 2000.
- 3 A. R. Sanadi and D. F. Caulfied, *Compos. Interf.*, **7**, 31, 2000.
- 4 J. Bayer, *Chem. Fibers Int.*, **50**, 575, 2000.
- 5 D. S. Varma, M. Varma, and I. K. Varma, *Text. Res. J.*, **54**, 827, 1984.
- 6 K. Joseph, S. Thomas, and C. Pavithran, *Polymer*, **37**, 5139, 1996.
- 7 Y. Li, Y. -W. Mai, and L. Ye, *Compos. Sci. Technol.*, **60**, 2037, 2000.
- 8 C. Chuai, K. Almdal, L. Poulsen, and D. Plackett, *J. Appl. Polym. Sci.*, **80**, 2833, 2001.
- 9 <http://www.oac.go.th/statistic/export/index.html>
- 10 W. Chetanachan, N. Chantasatrasamee, and R. Sinsermuksakul, *Proceedings of The First Thailand Materials Science and Technology Conference*, Thailand, 102, 2000.
- 11 F. M. B. Coutinho, T. H. S. Costa, D. L. Carvalho, M. M. Gorelova and L. Maria, *Polym. Testing*, **17**, 299, 1998.
- 12 E. Jakab, G. Varhegyi, and O. Faix, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **56**, 273, 2000.
- 13 X. Chen, Q. Guo, and Y. Mi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 1891, 1998.
- 14 M. Kazayawoko, J. J. BalatineCZ, and L. M. Matuana, *J. Mater. Sci.*, **34**, 6189, 1999.
- 15 เอกสารทางวิชาการ หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม 2540.
- 16 นุรฉัตร ฉัตรวีระ, พิชัย นิมิตยงสกุล และ พนม สีหามบุตร วิศวกรรมสาร ฉบับ ว.ศ.ท. เทคโนโลยี ปีที่ 48 ฉบับที่ 4 เมษายน 2438
- 17 นุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตยงสกุล, ข่าวช่าง, ฉบับที่ 275, มีนาคม 2438
- 18 C. Serre, M. Vayer, and R. Erre, *Proceedings of International SAMPE Symposium and Exhibition*, **45**, 1163, 2000.
- 19 W. Schoenthaler and U. Brown, *Kunstst. Ger. Plast.*, **77**, 64, 1987.
- 20 B. S. Westerlind and J. C. Berg, *J. Appl. Polym. Sci.*, **36**, 523, 1988.
- 21 S. J. Park, J. S. Jin, and J. R. Lee, *J. Adhes Sci. Techol.*, **14**, 1677, 2000.
- 22 A. K. M. Masud, K. Isogimi, and J. Suzuki, *Mater. Sci. Research Int.*, **6**, 186, 2000.
- 23 P. O. Haqstrand and K. Oksman, *Doktorsavhandlingar vid Chalmers Tekniska Hoqskola*, **1**, 1999.

24. P. Dominik, *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 4240, 38, 2000.
25. J. H.; Hodgkin, G. P. Simon, and R. J. Varley, *Polymers for Advanced Technologies*, 9(1), 3 – 10, 1998.
26. A.K. Mahanty, S. Patnaik, and B.C. Singh, *J. Appl. Polym. Sci.*, 37, 1171, 1989.
27. M.W. Sabaa, *Polym. Degrad. Stab.*, 32, 209, 1991.
28. M.G.S. Yap, Y.T. Que, L.H. Chia, and H.S.O. Chan, *J. Appl. Polym. Sci.*, 43, 2057, 2000.
29. A.K. Saha, S. Das, R.K. Basak, D. Bhatta, and B.C. Mitra, *J. Appl. Polym. Sci.*, 78, 495, 2000.
30. A.K. Bledzki and J. Gassan, *Prog. Polym. Sci.*, 24, 225, 1999.
31. A. D. Beshay, B. V. Kokta, and C. Daneault, *Polym. Comp.*, 6, 261, 1985.
32. R. G. Raj, B. V. Kokta, and C. Daneault, *J. Adhes. Sci. Technol.*, 3, 55, 1989.
33. Y. H. Zang and S. Sapiaha, *Polymer*, 32, 489, 1991.
34. C. Kaynak, A. Arikian, and T. Tincer, *Polymer*, 44, 2433, 2003.
35. S. Shin, J. Jang, *J. Mater. Sci.*, 35(8), 2047, 2000.
36. C. Datta, D. Basu, and A. Banerjee, *J. Appl. Polym. Sci.*, 85, 2800, 2002.
37. J. Gassan and V. S. Gutowski, *Comp. Sci. and Tech.*, 60, 2857, 2000.
38. D. G. Hepworth, J. F. V. Vincent, G. Jeronimidis, and D. M. Bruce, *Composites: Part A*, 31, 590, 2000.
39. M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu, G. C. Yang, and H. M. Zeng, *Comp. Sci. Tech.*, 61, 1437, 2001.