รหัสโครงการ [SUT7-710-53-12-34]

รายงานการวิจัย

พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน

[Polypropylene composite from modified sisal fiber by heat treatment]

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ [SUT7-710-53-12-34]

รายงานการวิจัย

พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน

[Polypropylene composite from modified sisal fiber by heat treatment]

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม/2554

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยผ่านการจัดสรรทุนตามงบประมาณของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่าง พอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน และการดัดแปรทางเคมี โดยยาง EPDM และยางธรรมชาติจะใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิท วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิทถูกเตรียมด้วยเครื่องบดผสมภายใน และขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีด ชิ้นทดสอบที่ได้จะถูกนำมาศึกษาผลของประเภทของการดัดแปรเส้นใย ชนิดของยางและปริมาณยางต่อสมบัติทางกลต่างๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่า พอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน และการดัดแปรทางเคมี มีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก และค่ามอดุลัสของยังก์มากกว่าพอลิโพรพิลีน ในทางตรงข้ามค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิทจะมีค่าน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทที่ผ่านการดัดแปรทั้งสองวิธีจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถชี้ได้ว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วยกระบวนการทางความร้อนนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีเท่ากับการปรับปรุงด้วยกระบวนการทางเคมี แต่มีประสิทธิภาพมากกว่าในแง่ของระยะเวลาและขั้นตอนการเตรียมที่ไม่ยุ่งยากและไม่เปลืองสารเคมี พอลิเมอร์คอมโพสิทที่มีการเติมยางจะมีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก และมอดุลัสของยังก์ลดลง ส่วนค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยางทั้งกรณีที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนและทางเคมี พบว่ามีค่าสมบัติทางกลใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยาง EPDM และยางธรรมชาติพบว่า พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยาง EPDM จะมีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก และมอดุลัสของยังก์สูงกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก และค่าความทนต่อแรงกระแทก ของการเติมยางธรรมชาติจะมีค่ามากกว่าการเติมยาง EPDM

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

The polymer composites prepared by heat treated and chemical treated sisal-polypropylene (PP) composites were studied. EPDM and natural rubber were used to improve the impact properties of composites. Polymer composites were prepared by using an internal mixer and then the test specimens were molded by injection molding machine. The effect of treatment techniques, rubber types and rubber contents on the mechanical properties of composites was studied. The results indicated that tensile strength, 2% offset yield stress, and Young's modulus of both heat treated and chemical treated sisal- polypropylene composites were higher than polypropylene. In contrast, elongation at break and impact strength of composites were lower than those of polypropylene. However, the mechanical properties of heat treated sisal-polypropylene composite are not significantly different from those of chemical treated sisal-polypropylene composites. This indicated that heat treatment can be used to treat sisal fiber with lower time and cost of the treatment process compared to chemical treatment. The polymer composites with the addition of rubbers revealed that tensile strength, 2% offset yield stress, and Young's modulus of polymer composites decreased. While elongation at break and impact strength of composites slightly increased with rubber content. The polymer composites both heat treated and chemical treated sisal polypropylene composites with rubber adding indicated that the mechanical properties are not significant difference. When compared between the addition of EPDM and natural rubber in sisal polypropylene composites, the results indicated that composites with EPDM adding slightly higher of tensile strength, 2% offset yield stress and Young's modulus than natural rubber adding. Whereas, the elongation at break and impact strength of composites showed the higher values for natural rubber adding than EPDM rubber adding.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย และการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	5
3. ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
4. ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิด	5
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 วัสดุและสารเคมี	7
2.2 วิธีการทดลอง	7
2.2.1 การเตรียมเส้นใย	7
2.2.2 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิท	7
2.2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิท	9
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
3.1 ผลของการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางความร้อน (Heat treatment) และทางเคมี (Chemical treatment) ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์	10
3.2 ผลของชนิด และปริมาณของยางธรรมชาติ (NR) และยาง EPDM ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิท ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (Heat treatment)	13
3.3 ผลของการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางความร้อน (Heat treatment) และทางเคมี (Chemical treatment) และชนิดของยาง ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 บทสรุป
สรุปผลการวิจัย 20
บรรณานุกรม 21
ประวัติผู้วิจัย 23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สมบัติทางกายภาพของป่านศรนารายณ์	3
1.2	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์	3
2.1	อัตราส่วนผสมระหว่าง เส้นใยป่านศรนารายณ์ พอลิโพรพิลีน และยาง	8
2.2	อัตราส่วนของสารเคมีที่ผสมกับยางธรรมชาติ (NR)	8
2.3	อัตราส่วนของสารเคมีที่ผสมกับยาง EPDM	9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ภาพแสดง Microstructure ของเส้นใยธรรมชาติ.....	4
3.1	ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิโพรพิลีนกับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่าง พอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C).....	10
3.2	ค่ามอดุลัสของยังก์ของพอลิโพรพิลีนกับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่าง พอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C).....	11
3.3	กราฟเปรียบเทียบ Offset yield stress (MPa) ของ PP700J กับ PP/ป่าน ที่ผ่านการปรับสภาพโดยกระบวนการ Heat treatment (H) และ Chemical treatment (C) ในอัตราส่วน 20/80.....	11
3.4	กราฟเปรียบเทียบ Young's Modulus (GPa) ระหว่าง PP700J กับ PP/ป่าน ที่ผ่านการปรับสภาพโดยกระบวนการ Heat treatment (H) และ Chemical treatment (C) ในอัตราส่วน 20/80.....	12
3.5	กราฟเปรียบเทียบ Impact strength (J/mm^2) ระหว่าง PP700J กับ PP/ป่าน ที่ผ่านการปรับสภาพโดยกระบวนการ Heat treatment (H) และ Chemical treatment (C) ในอัตราส่วน 20/80.....	12
3.6	กราฟเปรียบเทียบTensile strength (MPa) ระหว่าง PP/ป่าน(H)80/20, PP/ป่าน (H)/NR และ PP/ป่าน (H)/EPDMที่ ปริมาณ NR และ EPDM เพิ่มขึ้น.....	13
3.7	กราฟเปรียบเทียบElongation at break (%) ระหว่าง PP/ป่าน (H)80/20, PP/ป่าน (H)/NR และPP/ป่าน (H)/EPDM ปริมาณ NR และ EPDM เพิ่มขึ้น	14
3.8	กราฟเปรียบเทียบ Offset yield stress (MPa) ระหว่าง PP/ป่าน (H)80/20, PP/ป่าน (H)/NR และPP/ป่าน (H)/EPDM ที่ปริมาณ NR และ EPDM เพิ่มขึ้น.....	14
3.9	กราฟเปรียบเทียบ Young's Modulus (GPa) ระหว่าง PP/ป่าน (H)80/20, PP/ป่าน (H)/NR และPP/ป่าน (H)/EPDM ที่ปริมาณ NR และ EPDM เพิ่มขึ้น.....	15
3.10	กราฟเปรียบเทียบ Impact strength (J/mm^2) ระหว่าง PP/ป่าน PP/ป่าน (H)/NRและPP/ป่าน (H)/ EPDM ที่ปริมาณ NR และ EPDM เพิ่มขึ้น.....	15
3.11	กราฟเปรียบเทียบ Tensile strength (MPa) ระหว่าง PP/ป่าน(H)80/20, PP/ป่าน(C) 80/20, PP/ป่าน (H)/NR, PP/ป่าน (C)/NR, PP/ป่าน (H)/EPDM และPP/ป่าน (C)/EPDM ที่ปริมาณ NR และ EPDM 20%.....	16

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.12 กราฟเปรียบเทียบ Elongation at break (%) ระหว่าง PP/ป่าน (H)80/20 PP/ป่าน(C) 80/20, PP/ป่าน (H)/NR, PP/ป่าน(C)/NR, PP/ป่าน (H)/EPDM และPP/ป่าน (C)/EPDM ที่ปริมาณ NR และ EPDM 20%..... 17

3.13 กราฟเปรียบเทียบ Offset yield stress (MPa) ระหว่าง PP/ป่าน (H) 80/20, PP/ป่าน (C) 80/20, PP/ป่าน (H)/NR, PP/ป่าน(C)/NR, PP/ป่าน (H)/EPDM และPP/ป่าน(C)/EPDM ที่ปริมาณ NR และ EPDM 20%..... 17

3.14 กราฟเปรียบเทียบ Young's Modulus (GPa) ระหว่าง PP/ป่าน (H) 80/20, PP/ป่าน (C) 80/20, PP/ป่าน (H)/NR, PP/ป่าน(C)/NR, PP/ป่าน (H)/EPDM และ PP/ป่าน (C)/EPDM ที่ปริมาณ NR และ EPDM20% 18

3.15 กราฟเปรียบเทียบ Impact strength (J/mm^2) ระหว่าง PP/ป่าน (H) 80/20, PP/ป่าน (C) 80/20, PP/ป่าน (H)/NR, PP/ป่าน (C)/NR, PP/ป่าน (H)/EPDM และ PP/ป่าน (C)/EPDM ที่ปริมาณ NR และ EPDM 20% 19

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายภาพและสัญลักษณ์

phr	part per hundred
NP	เส้นใยที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น
NR	ยางธรรมชาติ
EPDM	ยาง Ethylene Propylene Diene Monomer

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย และการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ด้วยปัจจุบันวัสดุพอลิเมอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทั้งในรูปของอุปกรณ์ในยานยนต์ อุปกรณ์ส่งถ่ายข้อมูลข่าวสาร วัสดุการก่อสร้าง รวมทั้งที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยสี่ได้แก่ เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม บรรจุภัณฑ์อาหาร และบรรจุภัณฑ์ยารักษาโรค หรือแม้แต่การใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ [1-5] ขยะจากพลาสติกจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะจากพลาสติกที่อายุการใช้งานสั้น ปัญหาของขยะพลาสติก คือ ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ หรือ ความสามารถในการย่อยสลายต่ำ [6] ซึ่งต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัด และถ้าตกค้างในสภาพธรรมชาติเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เส้นใยธรรมชาติในวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิทจะมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายตามธรรมชาติ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymers) ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยไม่มีสารพิษตกค้าง จึงเป็นการช่วยลดมลภาวะจากขยะพลาสติกได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งเป็นประโยชน์ที่ได้จากการพัฒนาและส่งเสริมการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิทอีกทางหนึ่ง

จากข้อดีหลาย ๆ ด้านของเส้นใยธรรมชาติและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทจากเส้นใยธรรมชาติที่ดี ทำให้คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาและนำเอาเส้นใยธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งเมื่อประเทศไทยของเราหันมาวิจัยพัฒนาด้านนี้ รวมทั้งมีการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง จะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของรายได้ในภาคเกษตรกรรม ทั้งในรูปของการเพิ่มตลาดและการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตผลทางเกษตร เป็นการลดต้นทุนในการผลิตแก่ภาคอุตสาหกรรม เป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมโดยการลดปริมาณขยะพลาสติกและประหยัดพลังงาน และท้ายที่สุด เราจะได้องค์ความรู้ใหม่ที่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาประเทศที่เน้นการใช้ประโยชน์จากผลิตผลทางการเกษตร

เนื่องจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกป่านศรนารายณ์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในเขตอำเภอด่านขุนทด ป่านศรนารายณ์จัดเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงมากชนิดหนึ่งโดยมีค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength) เท่ากับ 511-635 MPa [7] ในปัจจุบันจากการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลและประสานงานกับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกป่านศรนารายณ์ของคณะผู้วิจัยทำให้ทราบว่าการใช้ประโยชน์จากป่านศรนารายณ์ของกลุ่มเกษตรกรจะใช้ไปในทางงานหัตถกรรม ซึ่งมีปริมาณการใช้น้อยเมื่อเทียบกับจำนวนที่ปลูก และใช้ระยะเวลานานในการประดิษฐ์หัตถกรรมต่อชิ้น ทำให้รายได้ต่อเดือนไม่มาก ถ้าเกษตรกรจะขายเส้นใยแห้งให้โรงงานอุตสาหกรรมทำเชือกป่านจะได้ในราคากิโลกรัมละ 20 บาทซึ่งเป็นราคาที่ได้ไม่สูงมากนัก โดยเกษตรกรผู้ปลูกป่านศรนารายณ์โดยทั่วไปมีฐานะยากจน ถ้ามีการใช้งานจากป่านศรนารายณ์มากขึ้น จะทำให้เกษตรกรมีรายได้มากขึ้นอีกทางหนึ่ง เป็นการลดปัญหาการละทิ้งงานเกษตรกรรมในถิ่นฐานเข้าไปหาอาชีพอื่นใน

เมืองใหญ่ และลดปัญหาสังคมที่ตามมาจากการเข้าไปหางานทำในเมืองของเกษตรกร เป็นการสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชน นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีให้เกิดระหว่างมหาวิทยาลัยกับชุมชนโดยใช้งานวิจัยเป็นตัวเชื่อมประสาน ในการที่มหาวิทยาลัยตระหนักถึงความสำคัญของการช่วยเหลือเกษตรกรในชุมชนในการเพิ่มรายได้เพื่อให้เกษตรกรสามารถมีความเป็นอยู่ที่พอเพียงเป็นการสนองต่อพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลในการส่งเสริมให้ประชาชนมีเศรษฐกิจแบบพอเพียงและยั่งยืน ช่วยให้เกิดความเชื่อมั่นและสร้างความศรัทธาของชุมชนต่อมหาวิทยาลัย ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ และ จากสมบัติเชิงกลที่เด่นของเส้นใยป่านศรนารายณ์เมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ ทำให้คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาและนำเอาเส้นใยป่านศรนารายณ์มาใช้ผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิท และได้ดำเนินการวิจัยพัฒนาในการนำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาใช้ผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิท ทั้งนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาของคณะผู้วิจัยพบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิทจากเส้นใยป่านศรนารายณ์มีสมบัติด้านการทนต่อแรงดึงที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยก่อนหน้านี้เส้นใยป่านศรนารายณ์จากผ่านกระบวนการปรับปรุงทางเคมี ซึ่งพบว่าถ้านำไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์จะไม่สะดวกและสารเคมีก็เป็นอันตรายต่อผู้ทำการวิจัย ทางคณะผู้วิจัยจึงต้องการปรับปรุงผิวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยวิธีทางความร้อนแทน

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่างานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่สำคัญและจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้องทำ เนื่องจากจะมีผลกระทบตั้งแต่เกษตรกรซึ่งเป็นฐานรากของสังคมจะมีรายได้มากขึ้น การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทยต่อนานาประเทศในด้านอุตสาหกรรมพอลิเมอร์คอมโพสิทและอุตสาหกรรมยานยนต์ เนื่องจากในประเทศอื่น ๆ โดยเฉพาะยุโรปได้พัฒนาการใช้เส้นใยธรรมชาติในชิ้นส่วนรถยนต์ไปนานแล้ว แม้แต่ในประเทศอินเดียและบังคลาเทศก็มีงานวิจัยทางด้านนี้อยู่มาก นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับการขอจัดตั้งศูนย์เพิ่มศักยภาพการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ต้องการผลักดันให้กลุ่มจังหวัด 7.1 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างเป็นศูนย์การผลิตอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อสนองต่อยุทธ-ศาสตร์การพัฒนาศักยภาพการแข่งขันอุตสาหกรรมซึ่งเป็นยุทธศาสตร์ของชาติตามที่รัฐบาลกำหนด

ป่านศรนารายณ์ (Agave Sisalana) เป็นพืชเศรษฐกิจ ลักษณะใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยวเส้นใยยาว มีปริมาณของเส้นใยระหว่าง 3.5-5% เส้นใยมีลักษณะแข็ง เป็นเยื่อชั้นในของเปลือกไม้ ความยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ประมาณ 1.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1 [8] ผลผลิตเส้นใยป่านศรนารายณ์ประมาณครึ่งหนึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเชือก เนื่องจากมีสมบัติพิเศษ คือ ไม่ลื่น มีการยืดหดตัวน้อยและทนทานมากเมื่อถูกน้ำ นอกจากนั้น นำไปใช้ทำเยื่อกระดาษ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกขัดสำหรับขัดโลหะที่ชุบโครเมียมให้เป็นเงางาม ใช้ในการทำหัตถกรรม ได้แก่ หมวก กระเป๋า เข็มขัด รองเท้า และไม้กวาด หรือนำไปผสมในวัสดุก่อสร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแต่มีน้ำหนักเบา เช่น ฝ้า เพดาน และฝาผนัง เส้นใยป่านศรนารายณ์มีความแข็งแรงเชิงกลดีกว่าเส้นใยจาก ปอกระเจา (jute) ปอลินิน (flax) กัญชง (hemp) และ ฝ้าย (cotton) โดยมีความทนต่อการดึงยืด (tensile strength) 511-635 MPa มีค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) 9.4-22.0 GPa และสามารถดึงยืดก่อนขาดได้ (elongation at break) 2.0-2.5% [9] (ตารางที่ 1) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ประกอบด้วย เซลลูโลสประมาณ 78% เฮมิเซลลูโลส 10% ลิกนิน 8% และอื่น ๆ เช่น ขี้ผึ้ง ดังแสดงในตารางที่ 2 [10]

ตารางที่ 1.1 สมบัติทางกายภาพของป่านศรนารายณ์ [8]

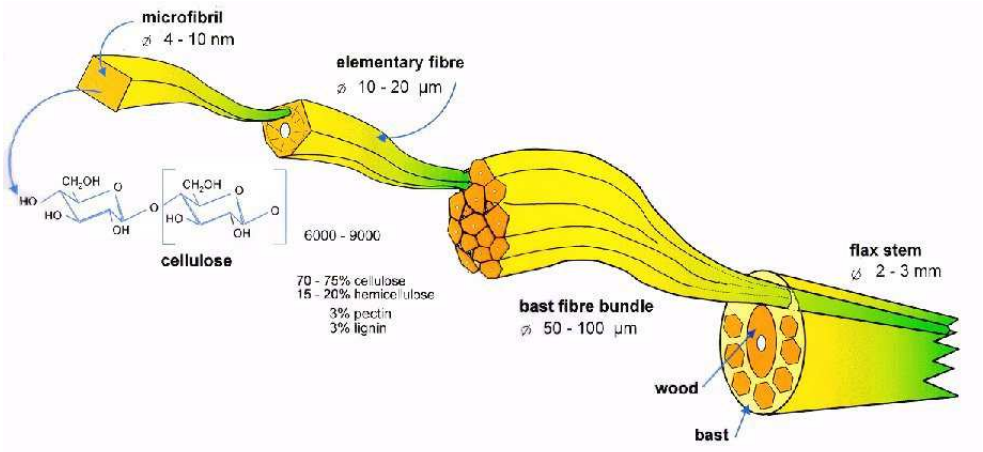
คุณสมบัติ	
Specific gravity	1.327
Fiber length, mm	1200 – 1500
Fiber diameter, mm	0.15 – 0.20
Water content, percent	8.7-10
Water absorption, percent	170
Ultimate tensile strength, N/mm^2	245
Modulus of elasticity, kN/mm^2	13
Ultimate bond strength, N/mm^2	0.45
Elongation at break, percent	3
Critical length, mm	74
Density, kg/m^3	1450

ตารางที่ 1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ [8]

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

เนื่องจากความหมายของคำว่าเส้นใยสามารถตีความได้หลายระดับ สำหรับในงานวิจัยนี้ในการนิยามความหมายของโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลส จะแบ่งออกเป็นระดับโครงสร้างต่าง ๆ ดังนี้ คือระดับโมเลกุล (molecular level) ระดับซูเปอร์โมเลกุล (super-molecular level) ซึ่งรวมโครงสร้างผลึกพื้นฐาน (elementary crystallites) และไฟบริล (fibrils) และ ระดับสัณฐานวิทยา (morphological level) ซึ่งรวมไมโครไฟบริล (micro fibrils) แม็คโครไฟบริล (macrofibrils) และ เส้นใย (fibers) (ซึ่งเป็นความหมายของคำว่าเส้นใยในงานวิจัยนี้) โครงสร้างผลึกพื้นฐานซึ่งมีความยาว 10-20 นาโนเมตร จะประกอบด้วยโมเลกุลของเซลลูโลสและโครงสร้างผลึกพื้นฐานรวมกันเป็นไมโครไฟบริลมีความยาวไม่เกิน 100 ไมครอนซึ่งไมโครไฟบริลรวมกันเป็นแม็คโครไฟบริลที่มี

ความยาวประมาณ 100 ไมครอน ส่วนเส้นใยเป็นการรวมกันของแม็คโครไฟบริลมีความยาวอยู่ในระดับมิลลิเมตร [11]



รูปที่ 1.1 ภาพแสดง microstructure ของเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติทางกายภาพที่เป็นข้อด้อยอยู่ 2 ประการ คือ ความเสถียรต่อความร้อนและปริมาณความชื้น ซึ่งโดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ไม่เกิน 240°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เส้นใยจะเกิดการเสื่อมสภาพ (degradation) ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิการขึ้นรูปพอลิเมอร์คอมโพสิทจากเส้นใยธรรมชาติที่ต้องจำกัดอยู่ที่อุณหภูมิไม่เกินอุณหภูมิการเสื่อมสภาพของเส้นใย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 5-10% โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณความชื้นของเส้นใยจะส่งผลต่อความเสถียรของรูปร่างของพอลิเมอร์คอมโพสิท เช่น ทำให้คอมโพสิทเกิดการบวมตัวซึ่งส่งผลต่อการลดลงของสมบัติเชิงกล นอกจากนี้ความชื้นยังส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดรอยโหว่ขึ้นได้ ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อลดหรือกำจัดปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อพอลิเมอร์คอมโพสิท

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทนอกจากจะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของเส้นใยแล้วยังขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้ระหว่างผิวหน้า (interfacial compatibility) ของพอลิเมอร์เมทริกซ์ (polymer matrix) และวัสดุเสริมแรง พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์สำหรับวัสดุคอมโพสิทที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติมีทั้งชนิดเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์โดยทั่วไปได้แก่ อีพอกซี, พอลิเอสเทอร์แบบไม่อิ่มตัว, และ ฟีนอลิค ส่วนเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ได้แก่ พอลิเอทิลีน, พอลิโพรพิลีน และ พอลิสไตรีน พอลิเมอร์เหล่านี้มีอัตรกิริยา (interaction) กับผิวหน้าเส้นใยที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์ เส้นใยเซลลูโลสมีความเป็นขั้วสูงและสามารถดูดน้ำได้ในปริมาณมาก จึงเข้ากันได้ยาก (incompatible) กับพอลิเมอร์ชนิดไม่มีขั้ว เช่น พอลิเอทิลีน และ พอลิโพรพิลีน จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างผิวหน้า (interface) ของพอลิเมอร์และเส้นใยและเพื่อลดปริมาณการดูดน้ำ [2,12-14] การที่พอลิเมอร์มีการยึดติดที่ดีกับผิวหน้าเส้นใยจะส่งผลดีต่อกระบวนการส่งผ่านความเค้น (stress transfer) ระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยซึ่งทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิทมีประสิทธิภาพเชิงกลที่ดี

นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวที่ดีของเส้นใยในเมทริกซ์ ซึ่งจะส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุคอม-โพสิทที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ

โครงสร้างและคุณภาพของบริเวณ “ระหว่างผิวหน้า” และ/หรือ “อินเทอร์เฟส (interphase)” มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยเซลลูโลสมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพลาสติก อินเทอร์เฟส คือ เฟสหรือเนื้อที่ระหว่างวัสดุเสริมแรงและเมทริกซ์ ส่วน interface คือพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุเสริมแรงและเมทริกซ์ การปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยธรรมชาติและพอลิเมอร์เป็นการเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ซึ่งอาจเป็นพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะโควาเลนท์ หรือเป็นการทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียว (miscible) ของโมเลกุลบนเส้นใยและโมเลกุลพอลิเมอร์ในอินเทอร์เฟส การเพิ่มอันตรกิริยาและการทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวจะทำให้เกิดการยึดติดที่ดี (adhesion) ระหว่างผิวหน้าของเส้นใยและเมทริกซ์ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งในประสิทธิภาพการถ่ายโอนความเค้น (stress transfer) ระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ การถ่ายโอนความเค้นที่ดีจะส่งผลทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงผิวหน้าของเส้นใยเซลลูโลสจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการปรับปรุงความแข็งแรงเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำวิธีการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ (physical methods) และทางเคมี (chemical methods) มาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นใยเซลลูโลสให้เหมาะสมที่สุดเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ วิธีการปรับปรุงเส้นใยแต่ละวิธีจะมีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มการยึดติดระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยที่แตกต่างกัน

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิทจากเส้นใยป่านศรนารายณ์สำหรับใช้ประโยชน์ได้ในเชิงพาณิชย์

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

เส้นใยจะใช้รูปแบบของเส้นใยสั้นโดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง พอลิเมอร์คอมโพสิทที่ได้จากเส้นใยที่มีการดัดแปรทางความร้อนและทางเคมี การผสมเส้นใยสั้นกับพอลิโพรพิลีนด้วยเครื่องบดผสมภายใน การขึ้นรูปคอมโพสิทใช้วิธีการขึ้นรูปแบบฉีด ตรวจสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทที่ได้

4. ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิด

พอลิโพรพีลีนเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิทที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสั้นมากที่สุดชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะผลิตเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ ด้วยเหตุผลหลายประการ อาทิ เช่น ราคาถูก และสามารถขึ้นรูปทำได้ง่าย ใช้อุณหภูมิการขึ้นรูปต่ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสูงเนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีความเสถียรต่อความร้อนต่ำ ดังนั้นพอลิโพรพิลีน จึงเป็นพอลิเมอร์สำคัญที่ถูกเลือกมาใช้ในโครงการวิจัยนี้

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เส้นใยธรรมชาติในพอลิโพรพิลีนคอมโพสิท มีอยู่จำนวนหนึ่ง [15-22] โดยเส้นใยธรรมชาติที่ใช้จะได้แก่ ป่านศรนารายณ์ ปอลินิน และปอแก้ว เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีความไม่เป็นขั้ว (non polar) ในโครงสร้างทำให้ไม่สามารถเข้ากับเส้นใยธรรมชาติซึ่งมีความเป็นขั้วสูงได้ดี ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาการ

ปรับปรุงสมบัติที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยธรรมชาติและพอลิโพรพิลีน โดยมีแนวทางการปรับปรุงใหญ่ ๆ อยู่ 2 แนวทางคือ การปรับปรุงที่ผิวเส้นใย หรือการปรับปรุงที่ผิวเมทริกซ์ ซึ่งผลที่ได้จะพบว่า เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารประสาน จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น สำหรับงานวิจัยที่ปรับปรุงพื้นผิวสัมผัสของเมทริกซ์คือพอลิโพรพิลีน โดยการใช้ Maleic anhydride grafted PP ใส่ลงไป ก็พบว่าทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทดีขึ้น

แนวทางการวิจัยในเรื่องการใช้เส้นใยธรรมชาติในพอลิโพรพิลีนคอมโพสิท โดยทั่วไปจะศึกษาเกี่ยวกับผลของความยาวเส้นใย ปริมาณเส้นใยที่ผสม และสภาวะที่ใช้ในการผสมต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จนถึงปัจจุบันยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปต่อลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ที่ได้ สำหรับพอลิโพรพิลีนบริสุทธ์มีงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปจะมีผลอย่างมากต่อสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น [23-25] จากแนวทางการวิจัยที่กล่าวมา จะเห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพที่จะผลิตพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ได้ โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาตัวแปรต่างๆที่จะนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์พอลิโพรพิลีน คอมโพสิทจากเส้นใยป่านศรนารายณ์เพื่อใช้ในชิ้นส่วนยาน-ยนต์ให้มีสมบัติเหมาะสมที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุและสารเคมี

วัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ พอลิโพรพิลีน เกรด 700J ที่ใช้ในการค้า ผลิตโดยบริษัทไทย โพลิโพรพิลีน จำกัด ยางธรรมชาติ (NR) เกรด STR 5L จากบริษัทไทยฮั้วรับเบอร์ สาขาสงขลา จำกัด ยาง ethylene propylene monomer (EPDM) เกรด Vistalon 2504N จากบริษัท Chemical rubber จำกัด โซเดียมไฮรดรอกไซด์ จากบริษัท คาร์โร เกรดแล็บ สารเคมีที่ใช้เป็นส่วนประกอบของยาง ได้แก่ Sulfur, Tetramethylthiuramdisulphide (TMTD), Mercaptobenzothaizole (MBT), ZnO และ Stearic acid เส้นใยป่านศรนารายณ์ ได้จากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรผู้ปลูกป่านศรนารายณ์ อ. ด่านขุนทด จ. นครราชสีมา

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การเตรียมเส้นใย

นำเส้นใยป่านที่อยู่ในรูปเส้นใยยาวประมาณ 2 เมตร คัดเฉพาะส่วนโคนประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของความยาวทั้งหมด นำส่วนโคนนั้นมาตัดให้ได้ขนาดความยาว 2 มิลลิเมตร เส้นใยป่านที่ได้ในขั้นตอนนี้เรียกว่า เส้นใยป่านที่ไม่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (nonpretreated: NP) จากนั้นจึงนำเส้นใยที่ได้ไปปรับสภาพพื้นผิวในขั้นต่อไป

การปรับสภาพด้วยกระบวนทางความร้อน (Heat treatment)

นำเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่เตรียมไว้แล้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบ 60 นาที นำเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการอบแล้วไปเก็บไว้ในโถสุญญากาศเพื่อป้องกันการดูดความชื้น

การปรับสภาพด้วยกระบวนการเคมี (Chemical treatment)

แช่เส้นใยป่านศรนารายณ์ในสารละลายโซเดียมไฮครอกไซด์(NaOH) ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในถังปฏิกิริยา กวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นกรองเส้นใยออกจากสารละลายด้วยผ้ากรอง ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาดเพื่อล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก นำเส้นใยใส่ถาดอลูมิเนียมเกลี่ยให้สม่ำเสมอ นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเส้นใยที่ผ่านการทำความสะอาดและอบจนแห้งแล้วไปเก็บไว้ในโถสุญญากาศเพื่อป้องกันการดูดความชื้น

2.2.2 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิท

เตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ ผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทำการผสมในเครื่องบดผสมภายใน (Internal Mixture) รุ่น Roller

3000p ของบริษัท HAAKE ขนาดของการผสมเท่ากับ 180 กรัมโดยใช้ Melt temperature เท่ากับ 175 องศาเซลเซียส และเวลาในการผสม 15 นาที ในการทดสอบการปรับปรุงสมบัติความทนต่อแรงกระแทก จะเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิทที่มีส่วนประกอบของยางธรรมชาติและยาง EPDM เพิ่มในพอลิเมอร์คอมพอสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยทำการผสมยางธรรมชาติ และ ยาง EPDM ตามอัตราส่วนการผสม แสดงในตารางที่ 2.1 และอัตราส่วนของสารเคมีที่ผสมกับยางธรรมชาติและยาง EPDM แสดงดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำไปเข้าเครื่องบดให้เป็นเม็ดเพื่อนำไปฉีดเป็นชิ้นงานต่อไป

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนผสมระหว่าง เส้นใยป่านศรนารายณ์ พอลิโพรพิลีน และยาง

ยาง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	**ป่านศรนารายณ์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)**	**พอลิโพรพิลีน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)**
0	20	80
5	19	76
10	18	72
20	16	64
30	14	56

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนของสารเคมีที่ผสมกับยางธรรมชาติ (NR)

สารเคมี	**ปริมาณ (phr)**
ยางธรรมชาติ)NR(	100
Sulfur	0.25
TMTD	0.25
ZnO	0.50
Stearic acid	0.50
MBT	0.375

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของสารเคมีที่ผสมกับยาง EPDM

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)
ยาง EPDM	100
Sulfur	1.00
TMTD	0.80
ZnO	5.00
Stearic acid	1.00
MBT	3.00

การเตรียมชิ้นทดสอบการดึงยืด และการตกกระแทกจะขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดของบริษัท Chuan Lih Fa Machinery Works co., Ltd. รุ่น CLF-80T การขึ้นรูปชิ้นทดสอบจะนำเม็ดที่ได้จากการบดของผสมมาขึ้นรูปโดยอุณหภูมิในการฉีดในแต่ละโซน เป็น 170 175 175 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิแม่พิมพ์เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันเป็นตัวหล่อเย็น ความเร็วของสกรูเท่า 80 เปอร์เซ็นต์ ความดันที่ใช้ในการฉีด เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ความดันคงค้าง เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์

2.2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิท

ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแบบฉีด จะถูกนำไปทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Testing) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท Instron ที่ความเร็วในการดึงเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ระยะความยาวเกจ (gage length) 80 มิลลิเมตร โดยแต่ละการทดสอบจะใช้ชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น

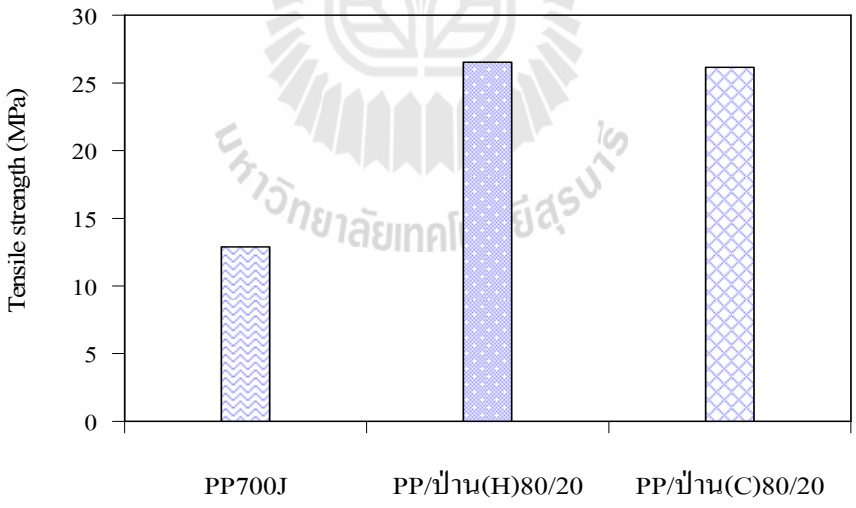
การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Properties) ของวัสดุ ใช้เครื่องต้านทานแรงตกกระแทก (Impact Testing Machine) ที่ผลิตจากบริษัท Atlas Electric Devices Company รุ่น BPE โดยแต่ละการทดสอบจะใช้ชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น

บทที่ 3
ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

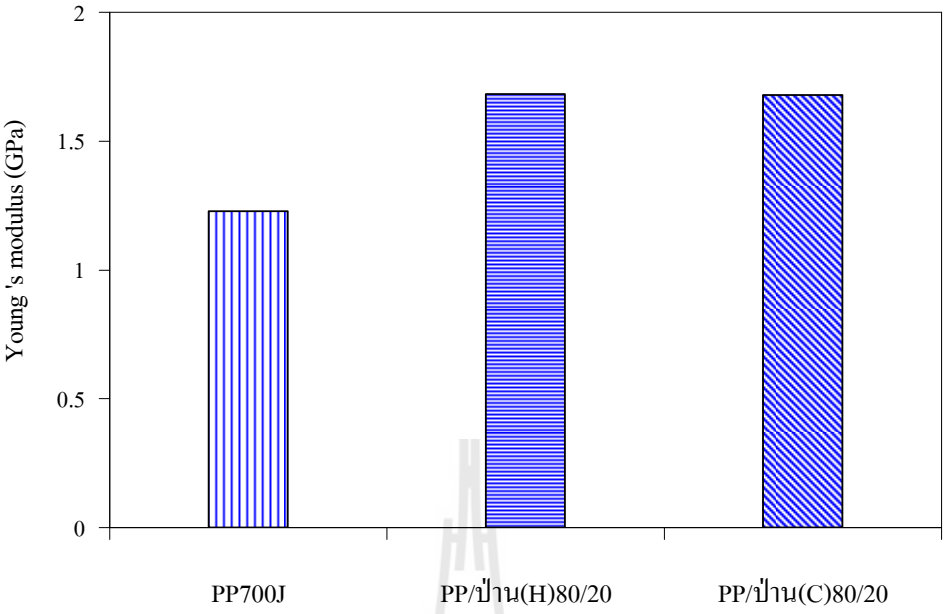
3.1 ผลของการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางความร้อน (Heat treatment) และทางเคมี (Chemical treatment) ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างของพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C) แสดงดังรูปที่ 3.1-3.5 ผลการทดสอบพบว่าค่าความทนต่อแรงดึง และค่ามอดุลัสของยังก์ของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่เส้นใยป่านศรนารายณ์ทั้งกรณีดัดแปรด้วยความร้อน และทางเคมี ทั้งนี้เนื่องจากค่าความทนต่อแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังก์ของเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีนมาก ในทางตรงข้าม ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิทที่มีการใส่เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวทั้งสองกรณีจะมีค่าน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน เนื่องจากเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่าความทนต่อการดึงยืดน้อย จึงส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิทมีค่าดังกล่าวน้อยไปด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการดัดแปรทั้งสองวิธีจะเห็นว่า ค่าความทนต่อแรงดึงและมอดุลัสของยังก์มีค่าใกล้เคียงกัน

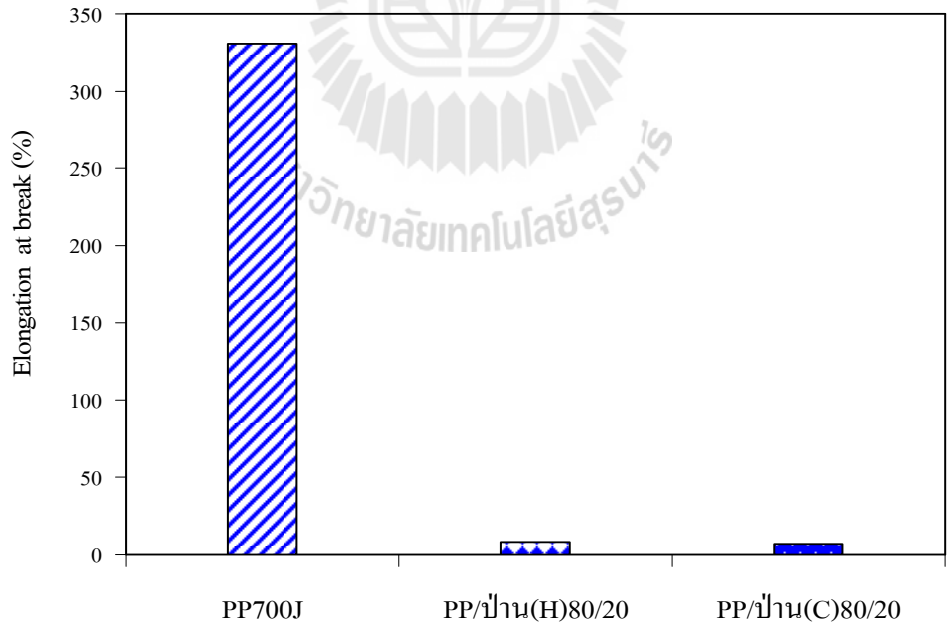
สำหรับค่าความเค้น ณ จุดคราก (2% Offset yield stress) ของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน และทางเคมี นั้นพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5



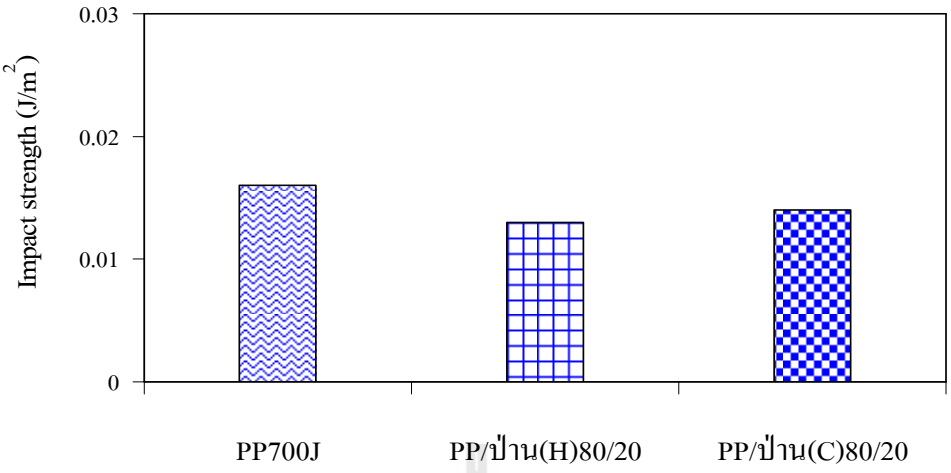
รูปที่ 3.1 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิโพรพิลีนกับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C)



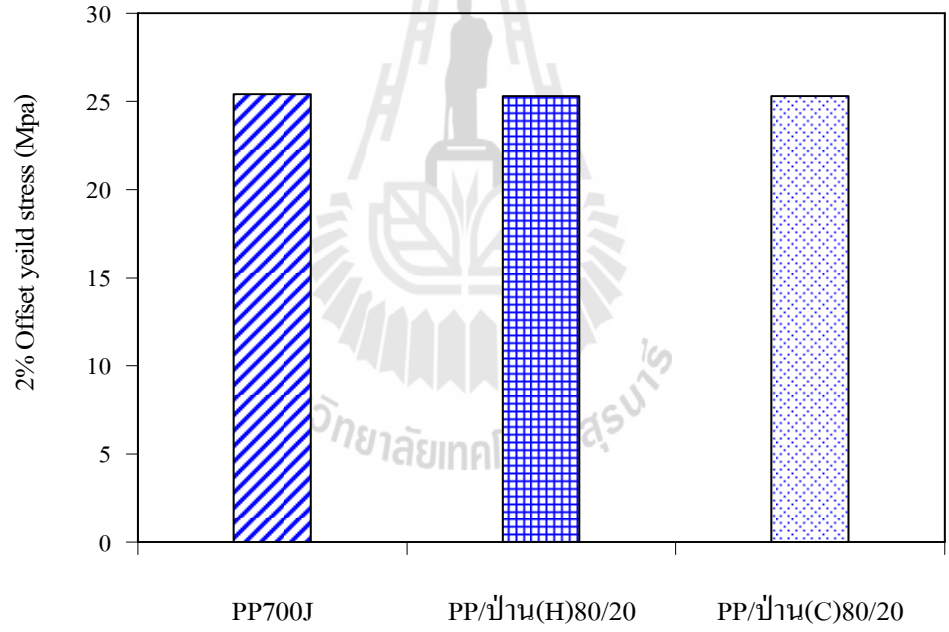
รูปที่ 3.2 ค่ามอดุลัสของยังก์ของพอลิโพรพิลีนกับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน-ศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C)



รูปที่ 3.3 ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (Elongation at break) ของพอลิโพรพิลีนกับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C)



รูปที่ 3.4 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนกับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C)



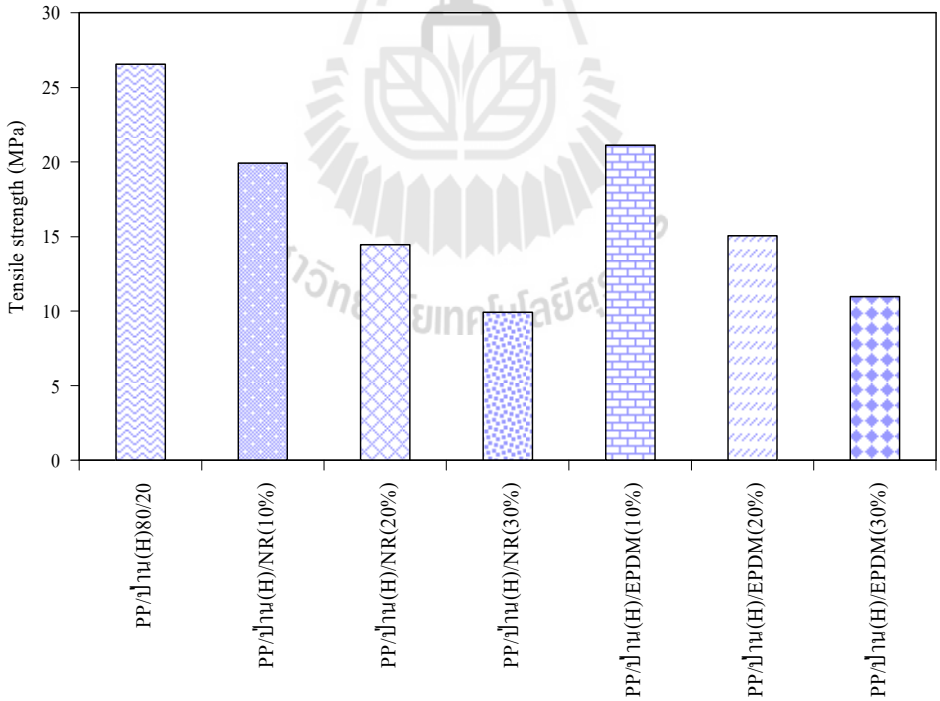
รูปที่ 3.5 ค่าความเค้น ณ จุดคราก (2% Offset yield stress) ของพอลิโพรพิลีนกับพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C)

3.2 ผลของชนิด และปริมาณของยางธรรมชาติ (NR) และยาง EPDM ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (Heat treatment)

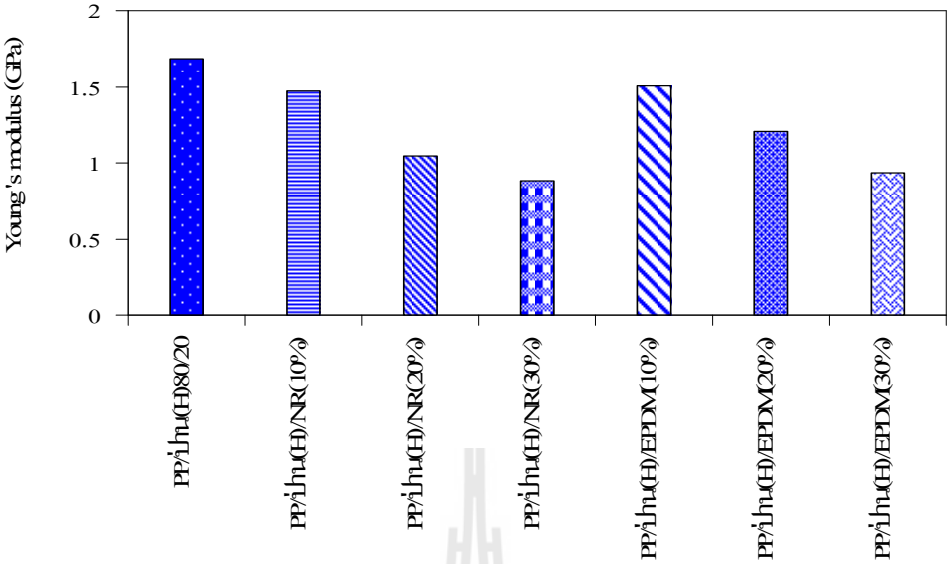
จากผลการศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน และทางเคมี จะเห็นว่า การดัดแปรทั้งสองวิธีให้ผลไม่ต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อนมาใช้ในพอลิโพรพิลีนคอมโพสิท เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณยางที่มีต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิท เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน และไม่สิ้นเปลืองสารเคมีโดยทำจะการเติมยางธรรมชาติ (NR) และยาง EPDM เข้าไปในคอมโพสิทในอัตราส่วนต่าง ๆ

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิทที่อัตราส่วนผสมของยางธรรมชาติและยาง EPDM ต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 3.6-3.10 ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก (2% Offset yield stress) และค่ามอดุลัสของยังก์ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทจะลดลงเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางธรรมชาติและยาง EPDM พบว่า พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยาง EPDM จะมีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย ที่ปริมาณยางเดียวกัน

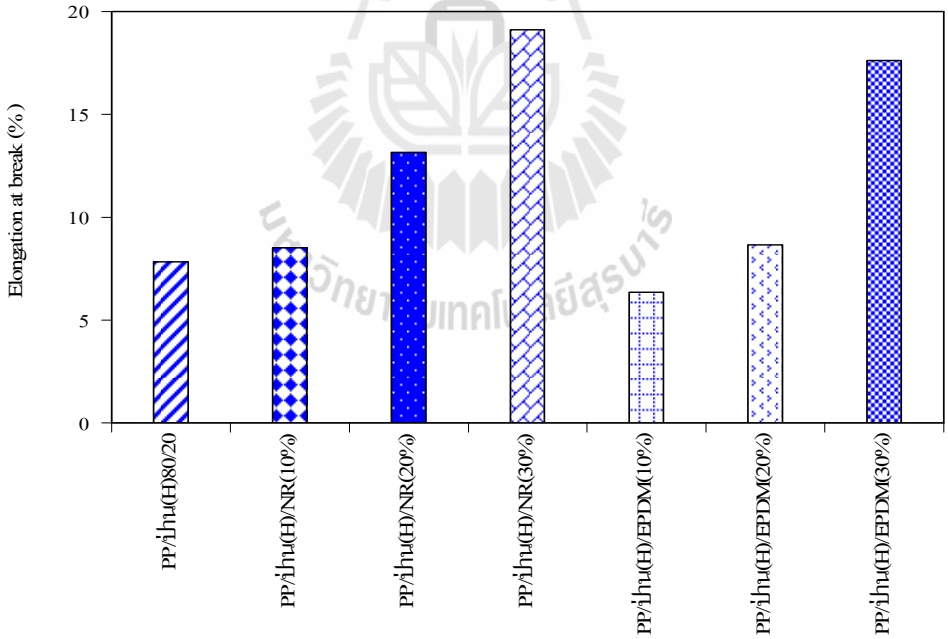
ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น โดยพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยาง EPDM จะมีค่ามากกว่ายางธรรมชาติ



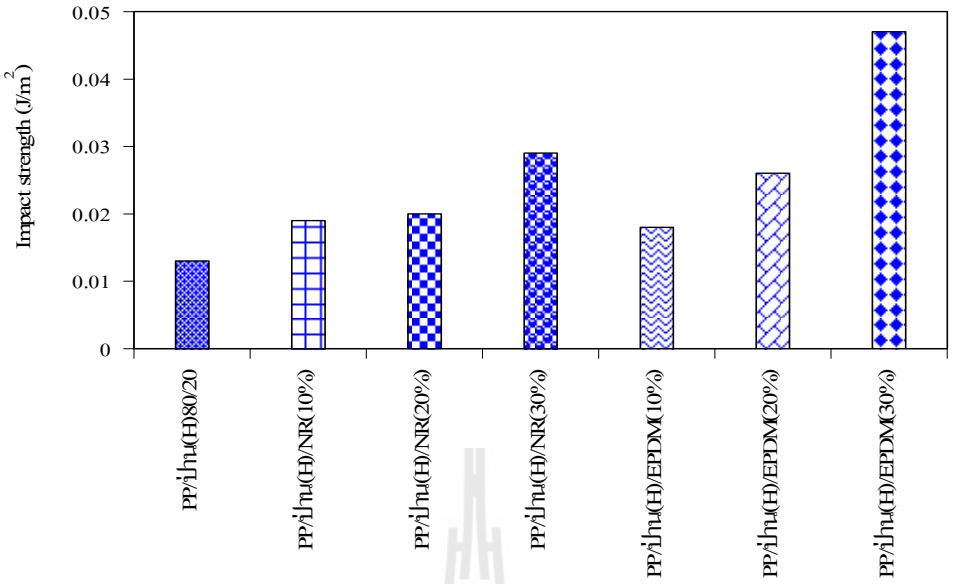
รูปที่ 3.6 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) ยางธรรมชาติ และยาง EPDM ที่ปริมาณยางต่างๆ



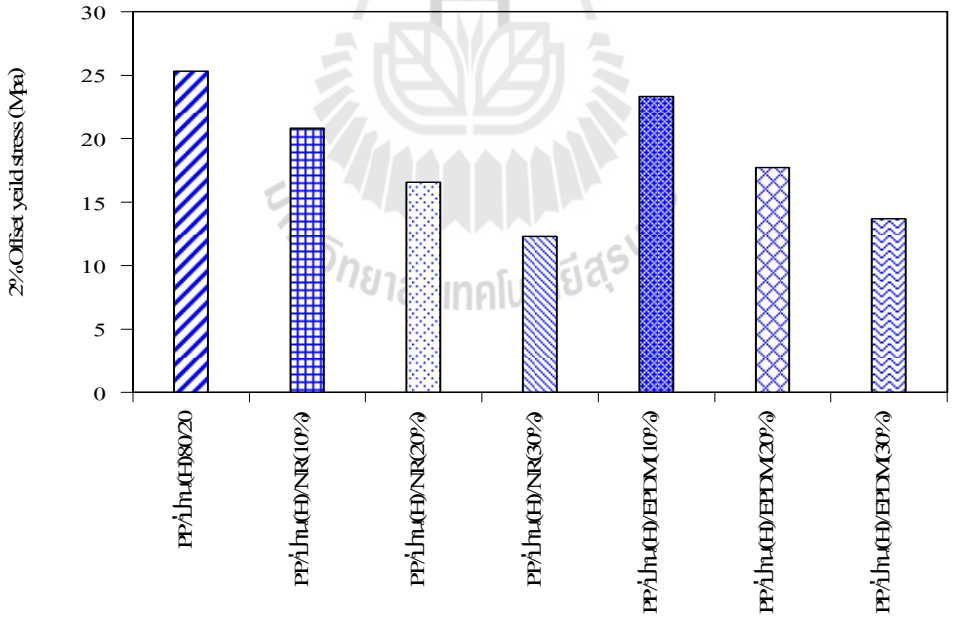
รูปที่ 3.7 ค่ามอดุลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) ยางธรรมชาติ และยาง EPDM ที่ปริมาณยางต่างๆ



รูปที่ 3.8 ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (Elongation at break) ของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) ยางธรรมชาติ และยาง EPDM ที่ปริมาณยางต่างๆ



รูปที่ 3.9 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) ยางธรรมชาติ และยาง EPDM ที่ปริมาณยางต่างๆ

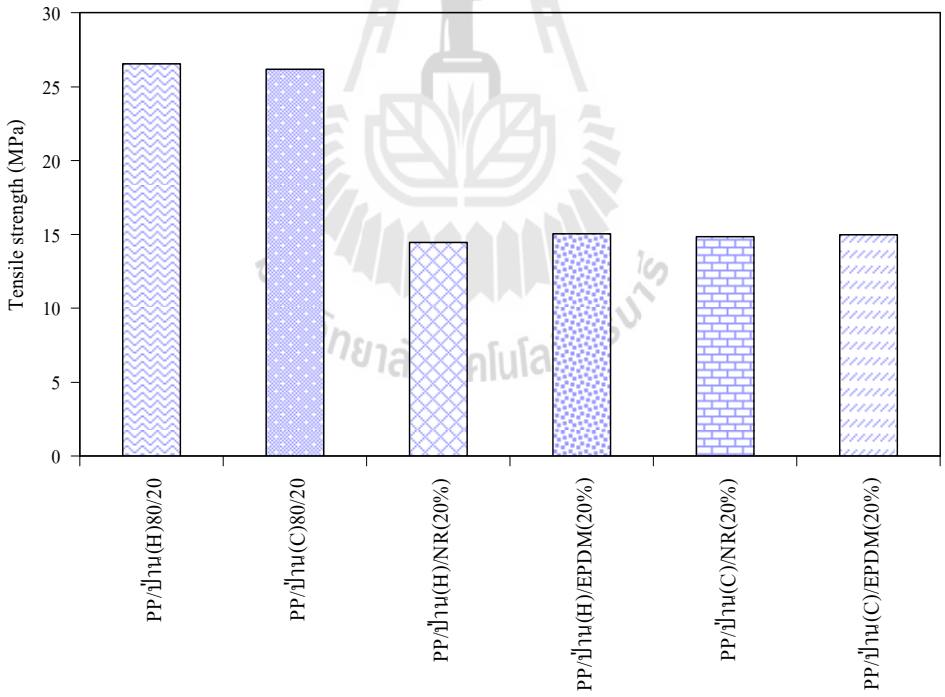


รูปที่ 3.10 ค่าความเค้น ณ จุดคราก (2% Offset yield stress) ของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) ยางธรรมชาติ และยาง EPDM ที่ปริมาณยางต่างๆ

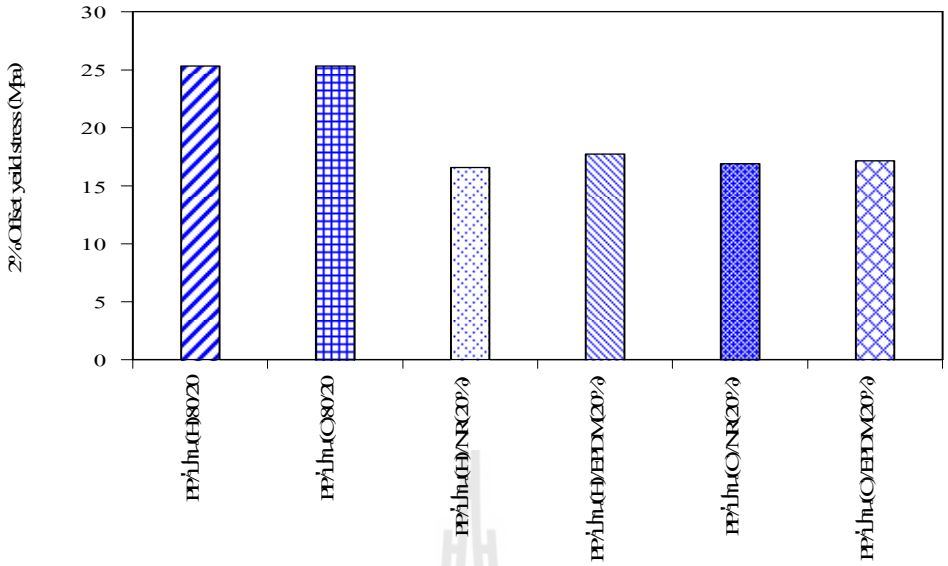
3.3 ผลของการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางความร้อน (Heat treatment) และทางเคมี (Chemical treatment) และชนิดของยาง ต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่าน-ศรนารายณ์

จากผลการศึกษาชนิด และปริมาณยางต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อนพบว่า ที่ปริมาณยาง 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ถึงแม้ค่าความทนต่อแรงดึงและมอดุลัสของยังก์จะลดลง แต่ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงทำการเลือกที่ปริมาณยางดังกล่าวเพื่อศึกษาผลของวิธีการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่อสมบัติทางกลของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิท

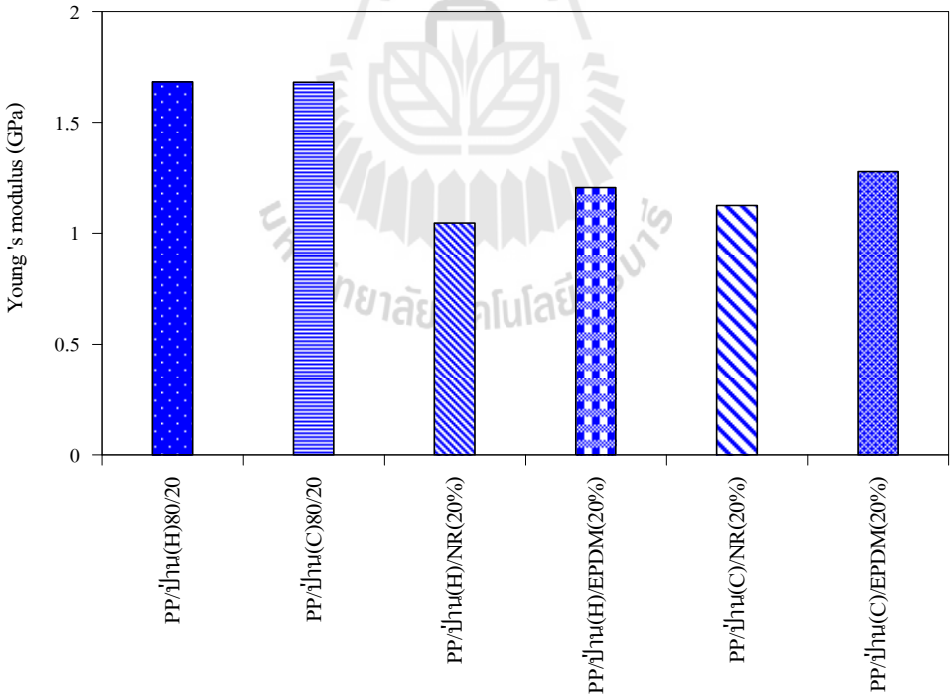
รูปที่ 3.11-3.13 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก (2% Offset yield stress) และมอดุลัสของยังก์ ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทชนิดต่างๆ ผลการทดลองพบว่า พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยางจะมีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก (2% Offset yield stress) และมอดุลัสของยังก์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางความร้อน และทางเคมี จะเห็นว่า ค่าความทนต่อแรงดึงและค่าความเค้น ณ จุดคราก (2% Offset yield stress) มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่ามอดุลัสของยังก์นั้น พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยาง EPDM จะมีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย



รูปที่ 3.11 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C) และยางชนิดต่างๆ

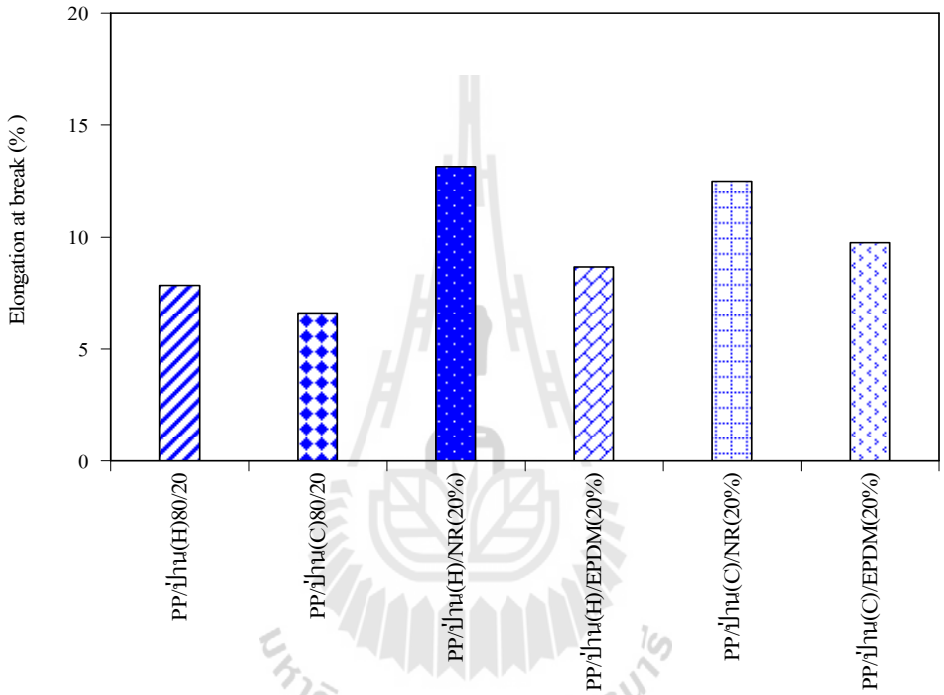


รูปที่ 3.12 ค่าความเค้น ณ จุดคราก (2% Offset yield stress) ของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C) และยางชนิดต่างๆ

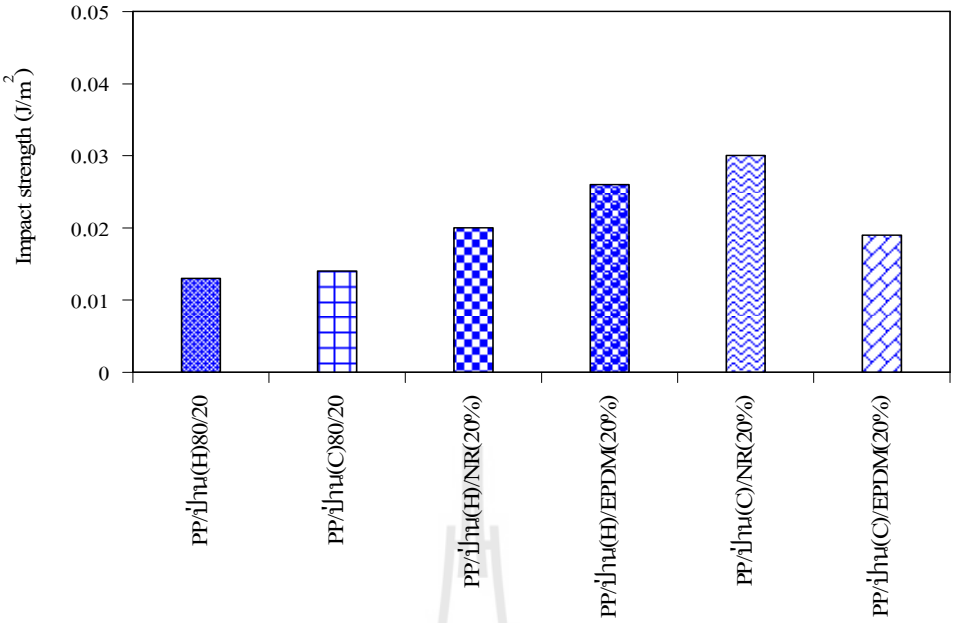


รูปที่ 3.13 ค่ามอดุลัสของยังก์ของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C) และยางชนิดต่างๆ

ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทดังในรูปที่ 3.14 และ 3.15 พบว่า พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยางจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยางธรรมชาติจะมีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักสูงกว่ายาง EPDM เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางความร้อน และทางเคมี จะเห็นว่า ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความทนต่อแรงกระแทกนั้น พอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการดัดแปรเส้นใยป่านศรนารายณ์ทางเคมีและมีการเติมยางธรรมชาติจะมีค่าสูงที่สุด



รูปที่ 3.14 ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (Elongation at break) ของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีนเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C) และยางชนิดต่างๆ



รูปที่ 3.15 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างพอลิโพรพิลีน เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรทางความร้อน (H) และทางเคมี (C) และยางชนิดต่างๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
สรุปผลวิจัย

ผลการทดสอบพบว่าค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก และค่ามอดุลัสของยังก์ของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่เส้นใยป่านศรนารายณ์ทั้งกรณีดัดแปรด้วยความร้อน และทางเคมี ในทางตรงข้ามค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิทจะมีค่าน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการดัดแปรทั้งสองวิธีจะเห็นว่า ค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก และมอดุลัสของยังก์จะมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับกรณีพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยางพบว่า ค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก และมอดุลัสของยังก์มีค่าลดลง ส่วนค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิทที่มีการเติมยางทั้งกรณีที่เส้นใยผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนและทางเคมี พบว่าค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก และค่ามอดุลัสของยังก์ใกล้เคียงกัน โดยพอลิโพรพิลีนคอมโพสิทที่มีการเติมยาง EPDM จะมีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ณ จุดคราก และมอดุลัสของยังก์สูงกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย ส่วนค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก และค่าความทนต่อแรงกระแทกนั้น พอลิเมอร์คอมโพสิทที่มีการเติมยางธรรมชาติจะมีค่าสูงกว่ายาง EPDM

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

1. W. Chetanachan, N. Chantasatrasamee, and R. Sinsermsuksakul, *Proceedings of The First Thailand Materials Science and Technology Conference*, Thailand, 102, 2000.
2. F. M. B. Coutinho, T. H. S. Costa, D. L. Carvalho, M. M. Gorelova and L. Maria, *Polym. Testing*, **17**, 299, 1998.
3. E. Jakab, G. Varhegyi, and O. Faix*, J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **56**, 273, 2000.
4. X. Chen, Q. Guo, and Y. Mi*, J. Appl. Polym. Sci*., **69**, 1891, 1998.
5. M. Kazayawoko, J. J. BalatineCZ, and L. M. Matuana, *J. Mater. Sci*., **34**, 6189, 1999.
6. เอกสารทางวิชาการ หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม 2540.
7. S. K. Garkhai, R. W. H. Heijenrath, and T. Peijs, *Appl. Compos. Mater.*, **7**, 351, 2000.
8. บุรฉัตร ฉัตรวีระ พิชัย นิมิตรยงสกุล และ Stephen O. Ogunlana. *สภาพลักษณะและคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเส้นใยธรรมชาติในประเทศกำลังพัฒนา*. ม.ป.ก.
9. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. *วิทยาศาสตร์เส้นใย*. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: พิมพ์ครั้งที่ 2. 2543.
10. เอกสารวิชาการพันธุ์พืชไร่. สถาบันวิจัยพืชไร่. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2539.
11. M. K. Kompella and J. Lambros, *Polym. Test.*, 21, 524, 2002.
12. A. D. Beshay, B. V. Kokta, and C. Daneault, *Polym. Comp.*, **6**, 261, 1985.
13. R. G. Raj, B. V. Kokta, and C. Daneault, *J. Adhes. Sci. Technol.*, **3**, 55, 1989.
14. Y. H. Zang and S. Sapieha, *Polymer*, **32**, 489, 1991.
15 W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, K. Jarukumjorn, N. Supakarn, P. Chumsamrong, and J. Kluengsamrong, The 31st Congress on Science and Technology of Thailand, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 241, 2005.
16. Y. Ruksakulpiwat, J. Kluengsamrong, U. Somnuk, W. Sutapun, and N. Suppakarn, The 31st Congress on Science and Technology of Thailand, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 221, 2005.
17. Y. Ruksakulpiwat, J. Kluengsamrong, W. Sutapun, and N. Suppakarn, The 31st Congress on Science and Technology of Thailand, Nakhon Ratchasima, Thailand, p. 227, 2005
18. Y. Ruksakulpiwat, U. Somnuk, J. Kleungsumrong, P. Phinyocheep, N. Suppakarn, and W. Sutapun, Annual Technical Conference 2006, the Society of Plastics Engineers, Charlotte, North Carolina USA,1125-1129, 2006.
19. K. Jarukumjorn, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, and J. Kluengsamrong, Annual Technical Conference 2006, the Society of Plastics Engineers, Charlotte, North Carolina USA, 330-333, 2006.
20. U. Somnuk, N. Suppakarn, W. Sutapun, P. Phinyocheep and Y. Ruksakulpiwat**,** the 4th East Asian Polymer Conference, China, pp.168-170, 2006.

21. Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, W. Thomthong, Composites Part A , 590-601, 2007.

22. U. Somnuk, G. Eder, P. Phinyocheep N. Suppakarn, W. Sutapun, and Y. Ruksakulpiwat**,** J. Applied Polym. Sci., 2997-3006, 2007.

23. Y. Ruksakulpiwat, *SPE Tech. Papers*, 582, 2001.

24. A.I. Isayev, Y. Churdpunt, and X.Guo, *Intern. Polym. Process*, 15, 72, 2000

25. Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, *SPE Tech. Papers*, 486, 2000.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 22-4432 โทรสาร (044) 22-4431 E-mail: yupa @ sut.ac.th จบการศึกษาปริญญาเอกสาขา Polymer Engineering จากมหาวิทยาลัย University of Akron, OH ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Polymer Processing and Characterization และ Polymer Crystallization and Morphology มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ย้อนหลัง 3 ปีดังต่อไปนี้

1. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y.Ruksakulpiwat , *"Glycidyl methacrylate grafted natural rubber: synthesis, characterization and mechanical property"*, **J Appl Polym Sci**., vol. 122, no. 5, p. 3152-3159, 2011
2. S. Rakmae, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun and N. Suppakarn*, Effect of mixing technique and filler content on physical properties of bovine bone based HA/PLA composites*, J. Appl. Polym. Sci., vol. 122 , no. 4, p. 2433-2441 , 2011.
3. S. Rakmae, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun and N. Suppakarn*, "Physical properties and cytotoxicity of surface-modified bovine bone-based hydroxyapatite/poly(lactic acid) composites"*, Journal of Composite Materials, vol. 45, no. 12, 1259-1269, 2011
4. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y.Ruksakulpiwat, *"Effect of vetiver grass fiber on biodegradability of polylactic acid and natural rubber blend*", International Conference on Biodegradable and Biobased Polymers (BIOPOL-2011), University of Strasbourg, France, 29-31 August, 2011.
5. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y. Ruksakulpiwat, "*Mechanical properties of Polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as filler* " the 18th International Conference on Composite Materials (ICCM18), August 21- 26,2011, Jeju, Korea. P.2-24
6. A Teamsinsungvon, Y Raksakulpiwat, K Jaruiumjorn, "*Mechanical and morphological properties of poly(lactic acid)/poly(butylene adipate-coterephthalate)/calcium carbonate composite"* , the 18th International Conference on Composite Materials (ICCM18), August 21- 26,2011, Jeju, Korea. P.2-27
7. A Teamsinsungvon, Y Raksakulpiwat, K Jaruiumjorn, "*"Mechanical and morphological properties of poly(lactic acid)/poly(butylene adipate-coterephthalate) blend and its composits"* ,

the 3 rd International Conference on Biodegradable and biobased polymer (BIOPOL2011), August 29- 31,2011, Strasbourg, FRANCE. PO- 098

8. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y.Ruksakulpiwat, *"Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blends using vetiver grass fiber as filler",* **Adv. Mater. Res**, 123-125, 1167-1170, 2010.
9. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y.Ruksakulpiwat , The study of grafting glycidyl methacrylate onto natural rubber, The International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies (AMPT 2009), Kuala Lumpur, Malaysia, 26-29 October, 2009.
10. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y.Ruksakulpiwat , The study of using glycidyl methacrylate grafted natural rubber as an impact modifier of polylactic acid, Proceedings of Clean Technology Conference, Anaheim, California, U.S.A, June 21-25, 2010.
11. 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, 619, 2009.
12. 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. Res**, **47-50**, 427-430, 2008.
13. S. Sanmunag, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, *Chicken Eggshell as A filler for Polymer Composites: Preparation and Characterizations*, **Adv. Mater. Res**, **47-50** (2008), 490-493.
14. 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**, 67-72, 2008.

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา จบการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ 2532 .วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ 2536 .และ Ph.D. (Macromolecular Science) Case Western Reserve University, OH, USA พ.ศ 2543 .สาขาวิชาการที่มีความสนใจ สเปกโทรสโกปีของพอลิเมอร์ (spectroscopy of polymers) และคอมโพสิทอินเทอร์เฟส (composite interface/interphase)

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ย้อนหลัง 3 ปีดังต่อไปนี้

1. P. Pakdeechote, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Rheological, Mechanical and Morphological Properties of Eggshell Powder (ESP) Filled High Density Polyethylene (HDPE)*, **The 6th Thailand Materials Science and Technology Conference (MSAT 2010)**, Bangkok, Thailand, 2010.
2. W. Sutapun, N. Suppakarn, and Y. Ruksakulpiwat, *Study of Characteristic of Vetiver Fiber Before and AfterAlkaline Treatment*, **Adv. Mater. Research**, **123-125** (2010), 1191-1194.
3. S. Kaewkuk, W. Sutapun and K. Jarukumjorn, *Effect of Heat Treated Sisal Fiber on Physical Properties of Polypropylene Composites*, **Adv. Mater. Research**, **123-125** (2010), 1123-1126.
4. P. Pakdeechote, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Mechanical Properties of HDPE Filled with Eggshell Powder*, **The 11th Pacific Polymer Conference (PPC 2009)**, Carins, Australia, P154, 2009.
5. S. Kaewkuk, W. Sutapun and K. Jarukumjorn, *Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Heat Treated Sisal Fibers*, The **11 th Pacific Polymer Conference (PPC 2009)**, Carins, Australia, P85, 2009.
6. 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.
7. 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, 2009.

8. 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, 2009.
9. S. Rakmae, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapan, N. Suppakarn, *Characterization of Silane Treated Natural Hydroxyapatite/Poly(lactic acid) Nanocomposites*, **Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2009)**, Phitsanulok, Thailand , 2009.
10. S. Sanmunag, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun, *Chicken Eggshell as A filler for Polymer Composites: Preparation and Characterizations*, **Advanced Materials Research**, **47-50** (2008), 490-493.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี