

รหัสโครงการ [SUT7-710-55-12-18]



รายงานการวิจัย

การเตรียมพอลิเมอร์ชีวภาพจากพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต
และยางธรรมชาติ

[Preparation of Biopolymer from Poly(butylene Succinate)
and Natural Rubber]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การเตรียมพอลิเมอร์ชีวภาพจากพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต

และยางธรรมชาติ

[Preparation of Biopolymer from Poly(butylene Succinate)
and Natural Rubber]

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์

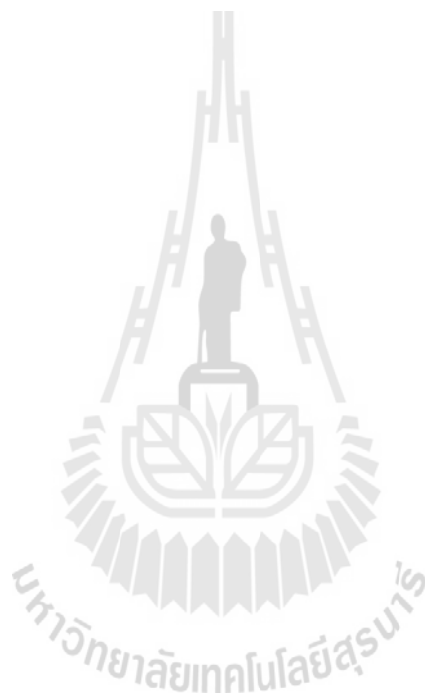
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน/2558

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง การเตรียมพอลิเมอร์ชีวภาพจากพอลิবিวิธินซ์คิเน็ตและยางธรรมชาติ ได้รับทุนอุดหนุน
การวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและวิจัยให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ สำหรับใช้ประโยชน์ได้ในเชิงพาณิชย์จากพอลิবিവിලීନစ်சிനെต และ ยางธรรมชาติ เพื่อทดแทนพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการปิโตรเคมี โดยศึกษาสมบัติทางเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิবিவிලීନစ်சிനെต และ ยางธรรมชาติ โดยการผสมที่อัตราส่วนผสมระหว่าง พอลิবিவிලී�စ်சிനെต กับ ยางธรรมชาติ 3 อัตราส่วน ได้แก่ 90:10 80:20 และ 70:30 พบว่า สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ใส่ยางกราฟท์ด้วยไกลซิดิลเมทาคลิเลท มีค่าเหมาะสมที่สุดที่อัตราส่วน 80:20 นอกจากนี้ยังศึกษาการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้โดยทำการใส่ยางกราฟท์ด้วยไกลซิดิลเมทาคลิเลท (NR-g-GMA) ผลการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิবিவிලී�စ်சிനെตกับยางธรรมชาติที่ 80:20 และใส่ NR-g-GMA เพื่อทำการปรับปรุงความเข้ากันได้ จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อปริมาณ NR-g-GMA เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิবিவிලී�စ်சிനെตกับยางธรรมชาติที่ 80:20และใส่ NR-g-GMA เพื่อทำการปรับปรุงความเข้ากันได้ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนการขาดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน



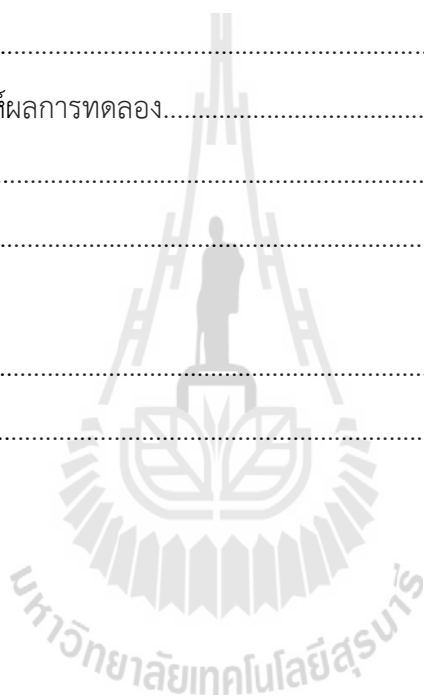
ABSTRACT

The objective of this research is to study the polymer blend of polybutylene succinate (PBS) and natural rubber (NR) to be used as biodegradable polymer in the industry. The ratio between PBS and NR (PBS:NR) was varied into 90:10 80:20 and 70:30. Effect of blend ration on mechanical properties was reported. The experimental results show that the optimum mechanical property was obtained from the PBS/NR blend at 80/20. Compatibility between PBS and NR was improved by using glycidyl methacrylate grafted natural rubber (NR-g-GMA). Tensile strength and %elongation at break were increased with the addition of NR-g-GMA.



สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	8
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	11
บทที่ 4 สรุป.....	20
บรรณานุกรม.....	21
ภาคผนวก	
ประวัติผู้วิจัย.....	25
ผู้ร่วมโครงการวิจัย.....	30

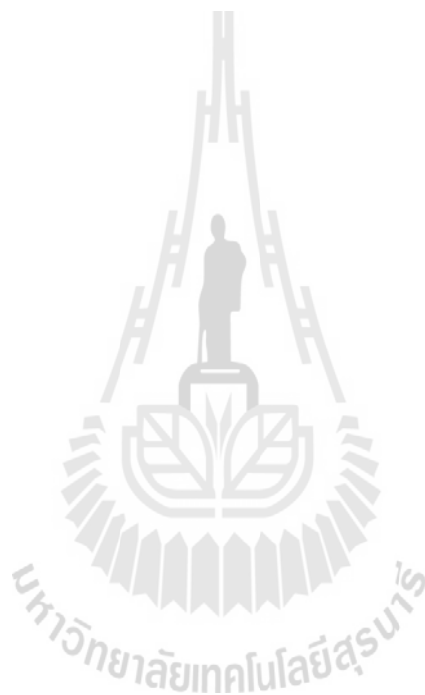


สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 3.1 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระทำของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) กับยางธรรมชาติ(NR).....	12
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระทำของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับ ยางธรรมชาติอัตราส่วน 90:10 และใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆกับ.....	12
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระทำของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับ ยางธรรมชาติอัตราส่วน 80:20 และใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆกัน.....	13
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวก่อนการขาดของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับยางธรรมชาติ.....	14
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวก่อนการขาดของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 90:10 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ.....	14
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวก่อนการขาดของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ.....	15
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงค่ายังค์มอดูลัส(Young's modulus) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ.....	16
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงค่ายังค์มอดูลัส(Young's modulus)ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 90:10 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ.....	16
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงค่ายังค์มอดูลัส(Young's modulus)ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ.....	17
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติ.....	18
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 90:10 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ.....	18
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ.....	19

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (PBS)/ยางธรรมชาติ (NR).....9



บทที่ 1

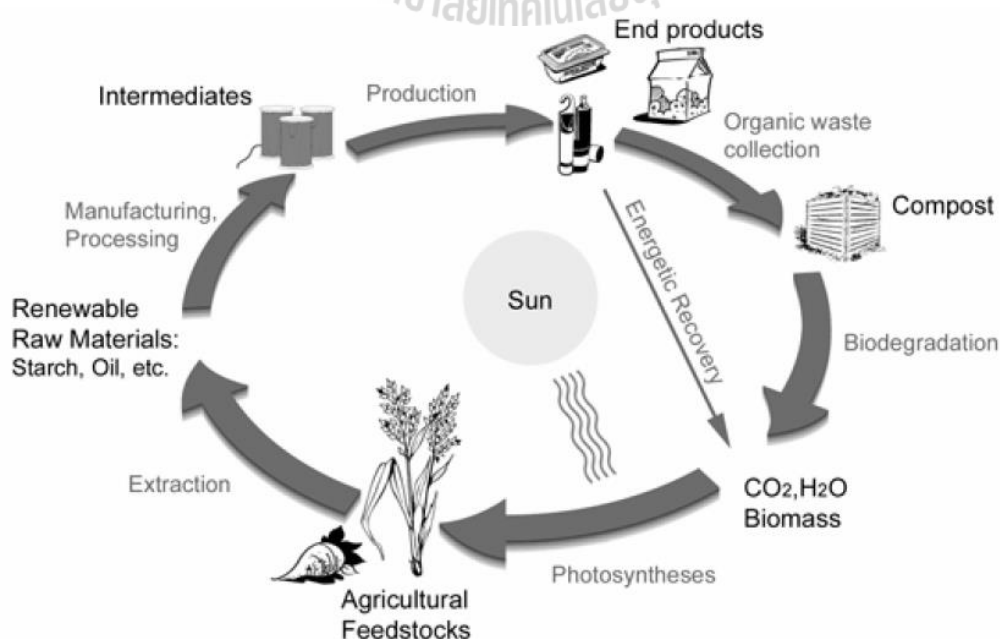
บทนำ

1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัย ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) 1 ใน 13 กลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วน (Priority-based Research Areas) คือ เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้จะเป็น การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการเสริมสร้างเทคโนโลยีใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยผลที่คาดว่าจะได้รับคือการสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันและการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่สนับสนุนภาคการผลิตและภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้ เป็นที่ทราบกันดีว่า ปัญหาของวัสดุพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถย่อยสลายและตกค้างอยู่ในธรรมชาติหรือต้องกำจัดด้วยการเผาไหม้ซึ่งจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกและเป็นสาเหตุของวิกฤตการณ์โลกร้อน ล้วนแต่เป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญที่ทุกประเทศให้ความสำคัญเร่งด่วนที่จะต้องแก้ไข ทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการแก้ไขปัญหานี้คือการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพทดแทนพลาสติกเดิมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้

พลาสติกชีวภาพ หรือ biodegradable plastics เป็นพลาสติกที่ผลิตจากพืช หรือวัตถุดิบที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ (renewable resources) กระบวนการผลิตเป็นกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งใช้พลังงานต่ำ และมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำเมื่อนำไปฝังกลบภายหลังการใช้งาน วงจรการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพแสดงดังรูปด้านล่าง

[1]



ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง และเป็นแนวทางหลักแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม กลุ่มอุตสาหกรรมแนวหน้าทั่วโลกตื่นตัวในการคิดค้นหาวัสดุหรือพอลิเมอร์ตัวใหม่เพื่อพัฒนาพลาสติกชีวภาพและให้มีคุณสมบัติในการใช้งานได้ดี เทียบเท่ากับพลาสติกดั้งเดิมที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่ เมื่อพิจารณาประเทศหรือกลุ่มประเทศธุรกิจหลักแล้ว จะเห็นได้ว่าการตื่นตัวด้านพลาสติกชีวภาพทั้งด้านนโยบาย การวิจัยและพัฒนา อุตสาหกรรม และการสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อเร่งรัดให้เกิดการทดแทนพลาสติกทั่วไปนั้นเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีขั้นตอนที่เป็นทิศทางอย่างชัดเจน เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นหนึ่งในประเทศผู้นำด้านวิชาการและเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้ก้าวเป็นผู้นำการผลิตพลาสติกชีวภาพโดยเริ่มตั้งแต่การประสบความสำเร็จในการผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพในระดับอุตสาหกรรม เช่น บริษัท NatureWork LLC (USA) ประสบความสำเร็จในการใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตกรดแลคติกและพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid หรือ PLA) ในขณะที่บริษัท Metabolix Inc. ได้ก้าวมาเป็นผู้นำด้านการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคานอยด์ (Polyhydroxyalkanoates หรือ PHAs) และอยู่ระหว่างการสร้างโรงงานผลิตแห่งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา เช่นเดียวกัน ในระดับนโยบาย สหรัฐอเมริกาได้ตั้งเป้าหมายที่จะให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวมวลจากปริมาณ 5% ในปี 2002 เพิ่มขึ้น 12% ในปี 2010 และเพิ่มถึง 20% ในปี 2030 สำหรับกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปได้ออกมาตรการให้รถยนต์ในกลุ่มประเทศยุโรปต้องประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่สามารถใช้ซ้ำ (reuse) หรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recovery) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 โดยน้ำหนักภายในวันที่ 1 มกราคม 2549 นอกจากนี้หลายประเทศได้ออกมาตรการหรือกฎข้อบังคับที่มุ่งลดปริมาณการบริโภคบรรจุภัณฑ์และด้านสิ่งแวดล้อม อาทิ ประเทศเยอรมนีได้ออกกฎข้อบังคับให้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับการยกเว้นจากภาษี ประเทศฝรั่งเศสได้ออกกฎข้อบังคับภายใต้กฎหมายสำหรับการสนับสนุนเกษตรกรรมของฝรั่งเศส โดยกำหนดให้ถุงใส่ของทิ้งต้องย่อยสลายได้ทางชีวภาพภายในปี ค.ศ. 2010 ในเมืองฟลอเรนซ์ ประเทศอิตาลีห้ามซื้อขายภาชนะบรรจุอาหารที่ผลิตจากพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย ประเทศเดนมาร์กประกาศห้ามใช้ภาชนะบรรจุเครื่องดื่มที่ทำจากพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ประเทศนอร์เวย์ สหราชอาณาจักร และสาธารณรัฐไอร์แลนด์ มีแนวทางการลดการบริโภคถุงพลาสติกจากปิโตรเคมีโดยให้ร้านค้าเก็บเงินค่าถุงพลาสติกจากผู้บริโภค ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ออกกฎหมายในรัฐ 11 รัฐ ในการสนับสนุนตลาดผลิตภัณฑ์รักษาสิ่งแวดล้อม และหลายรัฐได้ออก Green Report I และ II ซึ่งเป็นข้อเสนอแนะในการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีสนธิสัญญา MARPOL ห้ามไม่ให้ทิ้งพลาสติกลงในทะเล ทั้งนี้การเคลื่อนไหวส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับพลาสติกย่อยสลายได้ในธรรมชาติ และเริ่มมีค่าธรรมเนียม 17 เซนต์สำหรับถุงใส่ของ ประเทศญี่ปุ่นได้ออกกฎหมายส่งเสริมการจัดซื้อสีเขียว (Green procurement policies) พระราชบัญญัติกฎหมายการนำกลับมาใช้อีกฉบับแก้ไข (Revised recycling laws) รวมถึงพระราชบัญญัติกฎหมายการรายงานปริมาณสารเคมีและของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (The Pollutant Release and Transfer Register) เมือง Ladakh ประเทศอินเดีย

กำหนดวันที่ 1 พฤษภาคมของทุกปี เป็นวันห้ามใช้พลาสติก (Plastic Ban Day) เมืองบอมเบย์และรัฐหิมาจัลประเทศอินเดีย (Himachal Pradesh) มีมาตรการควบคุมการผลิตและการใช้ถุงพลาสติกและโฟมโอลิมปิกเกมส์ที่เมืองซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ได้ใช้ภาชนะและถุงที่ทำจากพลาสติกย่อยสลายได้ และทำการเก็บรวบรวมขยะอินทรีย์ได้ร้อยละ 75 ของขยะเศษอาหารที่เกิดขึ้นในสถานที่แข่งขันและที่พักนักกีฬาทั้งหมด เพื่อนำมาหมักปุ๋ย ทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการคัดแยกขยะที่เป็นบรรจุภัณฑ์ออกก่อนทิ้ง และประกาศใช้มาตรการจัดการขยะพลาสติก ประเทศจีน (ไต้หวัน) มีการควบคุมการใช้ถุงพลาสติกชนิด LDPE ด้วยนโยบายจำกัดการใช้ถุงพลาสติกใส่ของ “Plastic Shopping Bag Use Restriction Policy” ห้ามร้านค้าแจกจ่ายถุงพลาสติกและกล่องโฟมโดยไม่คิดราคา และประเทศบังคลาเทศมีการประกาศห้ามใช้ถุงพลาสติกทุกชนิดทั่วประเทศเมื่อเดือนมีนาคม ค.ศ. 2002 สำหรับแนวโน้มการเติบโตของตลาดของพลาสติกชีวภาพ จะเป็นตลาดในประเทศที่พัฒนาแล้วเป็นหลัก อาทิ สหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป และประเทศญี่ปุ่น โดยในประเทศเยอรมนีได้เกิดอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็กที่เติบโตอย่างรวดเร็วจากการพัฒนาเทคโนโลยีการผสมเม็ดพลาสติกชีวภาพกับสารเติมแต่งอื่นๆ ที่มีสมบัติเด่นทางเชิงกลและกายภาพตามที่ต้องการ (compounding technology) และองค์กรของรัฐทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับชาติได้ออกมาตรการด้านภาษีสำหรับพลาสติกที่ไม่ย่อยสลายเพื่อให้มีราคาที่สูงขึ้นอันจะเป็นการเอื้อให้พลาสติกย่อยสลายได้อยู่ในราคาที่แข่งขันได้ในตลาด ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้เป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะบริษัทธุรกิจหลักเช่น โซนี่ พานาโซนิค โตชิบา ต่างใช้พลาสติกบรรจุภัณฑ์เป็นพลาสติกชีวภาพ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์วัสดุอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ แผ่นซอฟต์แวร์ประเภทต่างๆ

จากการวิเคราะห์สถานการณ์ของพลาสติกชีวภาพในตลาดโลกและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจอุตสาหกรรม และเทคโนโลยีการผลิต ตลอดจนนโยบาย มาตรการ และแนวทางปฏิบัติการของประเทศผู้นำด้านพลาสติกชีวภาพผนวกกับปัจจัยความพร้อมของประเทศไทย แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นอย่างยิ่งที่รัฐบาลจะต้องเร่งผลักดันและสนับสนุนให้เกิดการลงทุนในอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพขึ้นในประเทศอย่างรวดเร็ว โดยการสร้างเทคโนโลยีของตนเองในประเทศ เพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศและสร้างศักยภาพความแข็งแกร่งทั้งแบบต่อยอดจากฐานความรู้เดิมและการสร้างความรู้ใหม่จากการวิจัยและพัฒนา การสร้างความเข้มแข็งด้านทรัพยากรพลังงานปัญหาการสร้างกลุ่มวิจัยและพัฒนาแบบมุ่งเป้าไปในทิศทางที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบทางการเกษตรที่สามารถหมุนเวียนเกิดขึ้นใหม่ได้ (renewable resources) และการบริหารจัดการด้านการวิจัยและพัฒนาอย่างมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปสู่การลงทุนในธุรกิจนวัตกรรม [1]

ในกลุ่มของพลาสติกชีวภาพที่ใช้แบ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (starch - based plastics) พลาสติกที่ผลิตได้ในเชิงการค้ามีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (Polyhydroxyalkanoates, PHAs) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Poly(butylene Succinate), PBS) ซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรงเตรียมได้จากมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ 1

, 4 -ปี วิ เ ท น ไ ต อ อ(BDO) แ ล ะ กรดซัคซินิก โดย กรดซัคซินิก และ BDO เตรียมได้จากทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีและวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้

พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต เป็นพอลิเมอร์ตัวหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจมากที่สุดในประเภทพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ สำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการค้าอย่างแพร่หลายในขณะนี้ โดยพอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถเตรียมได้จากแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่และหาได้ง่ายในประเทศไทย แต่โดยทั่วไป การใช้พลาสติกชีวภาพเพียงชนิดเดียวในการนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์มักจะประสบปัญหาต่างๆ เนื่องจากสมบัติของพลาสติกชีวภาพส่วนใหญ่จะมีสมบัติแข็ง เปราะ ทนความร้อนต่ำ และขึ้นรูปได้ยาก ส่งผลให้ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมกันมากคือการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือการเติมสารเติมแต่ง (additive) เช่น พลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) สารช่วยให้เข้ากัน (compatibilizer) สารตัวเติม (filler) สารเสริมแรง (reinforcing agent) สารก่อผลึก (nucleating agent) เป็นต้น [2-5] ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ เนื่องจาก ยางธรรมชาติ มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถรับแรงกระแทกได้ดี และยิ่งกว่านั้น ยางธรรมชาติยังสามารถสลายตัวได้เองและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพลาสติกชีวภาพอีกด้วย จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของผู้วิจัยพบว่าการเติมยางธรรมชาติในพอลิแลคติกแอซิดมีผลในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อดีและข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าการวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่สำคัญ และจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้องทำเนื่องจากจะมีผลกระทบต่อการแข่งขันของประเทศไทยต่อนานาประเทศในด้านอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากในประเทศอื่นๆได้พัฒนาการคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปขึ้นรูปไปนานแล้วและในอีกหลายประเทศก็มีงานวิจัยทางด้านนี้อยู่มาก และในปัจจุบันพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง และเป็นแนวทางหลักแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยกลุ่มอุตสาหกรรมแนวหน้าทั่วโลกตื่นตัวในการคิดค้นหาวัตถุดิบหรือพอลิเมอร์ตัวใหม่ เพื่อพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและให้มีคุณสมบัติในการใช้งานได้ดีเทียบเท่ากับพลาสติกดั้งเดิมที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

การพัฒนาและวิจัยเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติสำหรับใช้ประโยชน์ได้ในเชิงพาณิชย์จากพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต และ ยางธรรมชาติ เพื่อทดแทนพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการปิโตรเคมี

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาสมบัติทางเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิবিวิธินซักซิเนต และ ยางธรรมชาติ โดยการผสมที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ

4. ทฤษฎี และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework)

พอลิবিวิธินซักซิเนต (PBS) เป็นพอลิเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยา condensation ของ succinic acid และ 1,4-butanediol ซึ่งมอนอเมอร์ทั้งสองตัวนี้ได้จากธรรมชาติ PBS เป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูง และสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ แต่เนื่องจากสมบัติของ พอลิবিวิธินซักซิเนตมีสมบัติแข็ง เปราะ ทนความร้อนต่ำ และขึ้นรูปได้ยากจึงเป็นข้อจำกัดของการนำพอลิবিวิธินซักซิเนตไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ การปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ชีวภาพ โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการเติมเส้นใยชนิดต่าง ๆ เช่น เรยอน ป่าน ปอ ขนไก่ เซลลูโลส และเส้นใยอื่นๆ เพื่อเสริมแรงในพอลิแลคติกแอซิด พบว่าเส้นใยเหล่านี้ ช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการทนแรงกระแทก แรงดึง ทนความร้อนได้ดีขึ้น แต่ข้อจำกัดของพอลิเมอร์ผสมนี้คือความไม่เข้ากันระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ชีวภาพทำให้คุณสมบัติทางกลบางอย่างไม่ดีเท่าที่ต้องการและนำไปใช้งานจริงได้น้อย นอกจากนี้ยังได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น พอลิแลคติกแอซิด ผสมกับพอลิবিวิธินอะดิเปตโคเทอเรปเทอเรท (PBAT) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถย่อยสลายได้พบว่า พอลิเมอร์ผสมมีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้นทนแรงกระแทกได้มากขึ้น และสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางขึ้น แต่พอลิเมอร์ผสมยังผสมเข้ากันได้ไม่ดีและยังมีการแยกเฟสอยู่ [14] จึงได้มีการผสมพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิเมอร์ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยากับพอลิแลคติกแอซิดได้ เพื่อเพิ่มความเข้ากันเช่น พอลิคาร์โพรแลคโตน(PCL) พบว่าพอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้ดีและสามารถเพิ่มคุณสมบัติทางกลของพอลิแลคติกแอซิดได้อีกด้วย [15] ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติเด่นหลายประการเช่น มีความยืดหยุ่นสูง ทนแรงกระแทกได้ดี จึงได้มีการนำยางธรรมชาติมาปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น พอลิเอไมด์(PA6) [16] พอลิสไตรีน(PS) [17,19] แป้ง [18] พอลิเอทิลีนเทอเรฟเทอเรท(PET) [20] พบว่ายางธรรมชาติสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของพอลิเมอร์เหล่านี้ได้ เช่น ความทนแรงกระแทก ความยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมยางธรรมชาติ

จะเห็นว่าปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสมอย่างกว้างขวางเพื่อให้ได้มาซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและเหมาะสมแก่การใช้งาน แต่การผสมพอลิเมอร์เข้าด้วยกันบางครั้งคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ก็ไม่ตรงตามความต้องการเนื่องจากความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์หลาย ๆ ชนิด ดังนั้นตัวเชื่อมประสานจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์ผสมและได้มีการศึกษาผลการเติมสารเชื่อมประสานเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมหลายชนิด เช่น การศึกษาผลการเติมไกลซิดิลเมทาคริเลท กราฟพอลิเอทิลีนออกเทน(GMA-g-POE)ลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติก

แอซิดและพอลิเอทิลีนออกเทน (POE) พอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้ดีขึ้นและมีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการผสมธรรมดา[21] การศึกษาการเติมพอลิโพรพิลีนกราฟมาลิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) เพื่อเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่าง พอลิโพรพิลีนและยางธรรมชาติที่ตัดแปรด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ พบว่าพอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้ดีและมีคุณสมบัติทางกลดีขึ้น [22] ดังนั้นการปรับปรุงความเข้ากันได้จึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงความแข็งแรงเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม จากงานวิจัยก่อนหน้าของผู้วิจัยพบว่า การเติมยางธรรมชาติตัดแปรในพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิแลคติกแอซิดมีผลในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญ [23] ดังนั้น การเติมยางธรรมชาติตัดแปรในพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์เช่นเดียวกับพอลิแลคติกแอซิดก็น่าจะช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเช่นกัน

5. การทบทวนวรรณกรรม (reviewed literature) / สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันทั่วโลกมีความต้องการในการใช้เม็ดพลาสติกชีวภาพอยู่ประมาณ 500,000 เมตริกตันต่อปี โดยพลาสติกชีวภาพที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid: PLA) อย่างไรก็ตาม กำลังการผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิดทั่วโลกมีเพียง 200,000 เมตริกตันต่อปี ดังนั้น ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพชนิดอื่นๆ จึงได้เข้ามามีส่วนแบ่งในตลาดผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพมากยิ่งขึ้น พลาสติกชีวภาพที่กำลังได้รับความนิยมในลำดับถัดมา คือ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (polybutylene succinate: PBS) เนื่องจากเม็ดพลาสติกชีวภาพชนิดนี้สามารถนำไปขึ้นรูปได้ใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไป อีกทั้งยังมีสมบัติทางกลที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด โดยส่วนมาก PBS จะถูกใช้เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ฟิล์มในรูปแบบต่างๆ เพราะสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีความหนาอยู่ในช่วง 30 - 50 ไมโครเมตรได้ ซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้ในการทำฟิล์มเพื่อการเกษตรรูปแบบต่างๆ พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจัดอยู่ในกลุ่มของพอลิเอสเทอร์ มีความแข็งแรงสูง และสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ แต่เนื่องจากสมบัติของ PLA เป็นพลาสติกที่ผลิตมาจากข้าวโพดมีสมบัติแข็ง เปราะ ทนความร้อนต่ำ และขึ้นรูปได้ยากจึงเป็นข้อจำกัดของการนำ PLA ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ [3] พอลิบิวทิลีนอะดิเพตเทอเรธาเรต (PBAT) จัดเป็นซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากวัตถุดิบปิโตรเคมี สามารถสลายตัวทางชีวภาพ ยืดหยุ่น และขึ้นรูปได้ดีกว่า แต่ราคาสูงกว่า PLA นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลาที่เพียงไม่กี่สัปดาห์ ดังนั้น PBAT จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพิ่มสมบัติทางด้านความเหนียว และยืดหยุ่นของ PLA แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของราคาที่สูงของ PBAT ก็ยังเป็นข้อจำกัดของการนำ PBAT ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ [4, 5]

ในปัจจุบันการผลิตพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT เพื่อใช้ในการเตรียมวัสดุที่มีความนุ่มและยืดหยุ่นสูง ในการนำไปใช้ในงานในด้านต่างนั้นได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง และเพื่อให้ได้สมบัติของวัสดุที่เหมาะสมต่อการใช้งานจึงต้องมุ่งความสำคัญไปที่ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ซึ่งโดยทั่วไปนั้นพอลิเมอร์ทั้งสองจะมีความเข้ากันได้ที่ต่ำส่งผลให้คุณสมบัติของวัสดุที่ได้ต่ำไปด้วย [6] ดังนั้นในการผสมพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้จึงต้องมีการเติมสารช่วยให้เข้ากัน (compatibilizer) หรือนำเทคนิคใหม่เพื่อเพิ่มความเข้ากันของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด [2,8,9,11, 12] โดยทั่วไปนั้น การผสมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT จะได้วัสดุที่มีความเหนียว และความยืดหยุ่นสูงขึ้น แต่ความแข็งแรงของ PLA ลดลง เนื่องจากการเติมส่วนที่มีความยืดหยุ่นลงไป PLA

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมนอกจากจะขึ้นกับสมบัติของพอลิเมอร์ทั้งสองแล้วยังขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์สองและสารตัวเติมด้วย การปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์เป็นการทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียว (miscible) ของโมเลกุลบนสารตัวเติมและโมเลกุลพอลิเมอร์ในอินเทอร์เฟซ การเพิ่มอันตรกิริยาและการทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวจะทำให้เกิดการยึดติดที่ดี (adhesion) ระหว่างผิวหน้าของสารตัวเติมและเมทริกซ์ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งในประสิทธิภาพการถ่ายโอนความเค้น (stress transfer) ระหว่างสารตัวเติมและเมทริกซ์ การถ่ายโอนความเค้นที่ดีจะส่งผลทำให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงความเข้ากันได้จึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงความแข็งแรงเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำวิธีการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ (physical methods) และทางเคมี(chemical methods) มาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมให้เหมาะสมที่สุดเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองและสารตัวเติมต่างๆ

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมยางธรรมชาติกราฟท์ด้วยไกลซีดิลเมทาคลิเลท (NR-g-GMA) เพื่อใช้เป็นสารช่วยให้เข้ากันได้ระหว่างพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตและยางธรรมชาติ

เตรียมน้ำยางธรรมชาติโดยการชั่งน้ำยาง 120 กรัมผสมกับ GMA 2.4 กรัม แล้วใส่น้ำกลั่นลงไป 300 กรัม ชั่ง surfactance (sodium dodecyl sulfate) 1.2 กรัม ละลายในน้ำ 120 กรัมให้ละลาย แล้วเทใส่ลงในขวดก้นกลม ทำการกวนด้วยเครื่องกวนเป็นเวลา 30 นาที ใส่ cumene hydroperoxide 0.22 กรัม ในขวดก้นกลมพร้อมใส่น้ำที่เหลืออีก 100 กรัม แล้วทำการกวนต่ออีก 30 นาที เมื่อครบ 30 นาที แล้วจึงทำการใส่ tetraethylene pentamine 0.22 กรัมโดยละลายในน้ำกลั่น 80 กรัม ปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทำการปิดไนโตรเจนที่ทำการ purge ไว้ ปล่อยทิ้งไว้ให้เครื่องกวนต่อไปอีก 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเทใส่ถาด นำไปอบไล่ไอน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อทำการอบไล่ไอน้ำออกแล้วจะได้แผ่นยางที่ทำการกราฟมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อนำไปสกัดไล่มอนอเมอร์ออกให้หมด จึงได้เป็นยางกราฟท์ที่จะนำไปผสมกับยางธรรมชาติเพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติ (NR) กับ พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (PBS)

2.2 การเตรียมยางธรรมชาติผสมยางธรรมชาติกราฟท์ด้วยไกลซีดิลเมทาคลิเลท

ทำการเตรียมยางธรรมชาติโดยการชั่งให้ได้น้ำหนัก 10 20 และ 30 กรัมเพื่อนำไปผสมกับยางที่ทำการกราฟท์แล้วในปริมาณ 0.5 1 และ 2 phr. ตามลำดับ ทำการผสมโดยใช้เครื่อง Two Roll Mill เพื่อผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 10 นาที

2.3 การเตรียมพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (PBS) กับยางที่ทำการผสมยางธรรมชาติกราฟท์ด้วยไกลซีดิลเมทาคลิเลท (NR-g-GMA) เพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้

นำพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (PBS) ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเพื่อไล่ความชื้นหลังจากอบไล่ความชื้นแล้วนำไปผสมกับยางธรรมชาติที่ทำการกราฟท์แล้ว (NR-g-GMA) ในเครื่องบดผสมภายใน

(Internal Mixer) โดยใช้ความเร็วรอบที่ 60 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราส่วนผสมตามตารางดังนี้

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต(PBS) /ยางธรรมชาติ(NR)

สัญลักษณ์	PBS (%w/w)	NR (%w/w)	NR-g-GMA (phr)
90/10	90	10	-
80/20	80	20	-
70/30	70	30	-
90/10_0.5	90	10	0.5
90/10_1	90	10	1
90/10_2	90	10	2
80/20_0.5	80	20	0.5
80/20_1	80	20	1
80/20_2	80	20	2

2.4 การเตรียมชิ้นงานในการทดสอบ

นำพอลิเมอร์ที่ได้เตรียมไว้ขึ้นต้นไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงเพื่อเป็นการไล่ความชื้นก่อนนำไปขึ้นรูป หลังจากทำการอบไล่ความชื้นแล้วจึงนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression Molding) ใช้เวลาในการกดอัด 20 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส หลังจากขึ้นรูปขึ้นทดสอบเสร็จจะนำชิ้นทดสอบออกจากแม่พิมพ์ เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ต่อไป

2.5 การตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

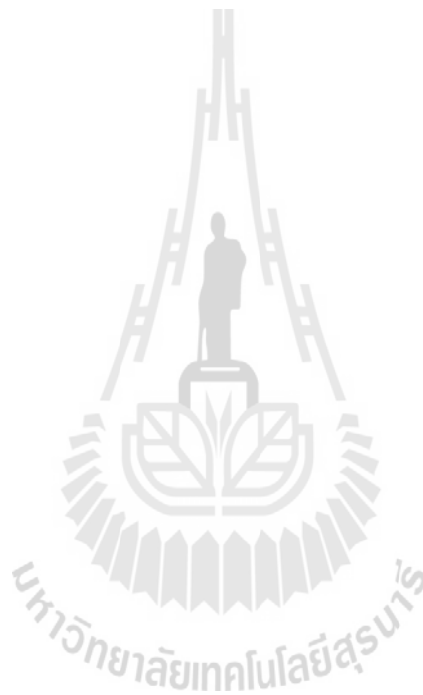
2.5.1 สมบัติด้านการดึง (Tensile properties)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงต่อนแรงดึง (Tensile strength), โมดูลัสของแรงดึง (Tensile modulus), และระยะยืดที่จุดขาด (Elongation at break) โดยทำการทดสอบที่ขนาดของน้ำหนักรีด

(Load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN) ความเร็วในการดึง (Crosshead speed) 5 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) ชิ้นงานทดสอบเป็นรูปดรัมเบล ทดสอบโดยเครื่อง Universal testing machine รุ่น instron5565

2.5.2 สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact properties)

การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) โดยทำทดสอบในรูปแบบของ Unnotched Izod impact strength ทดสอบโดยเครื่อง Atlas Impact testing

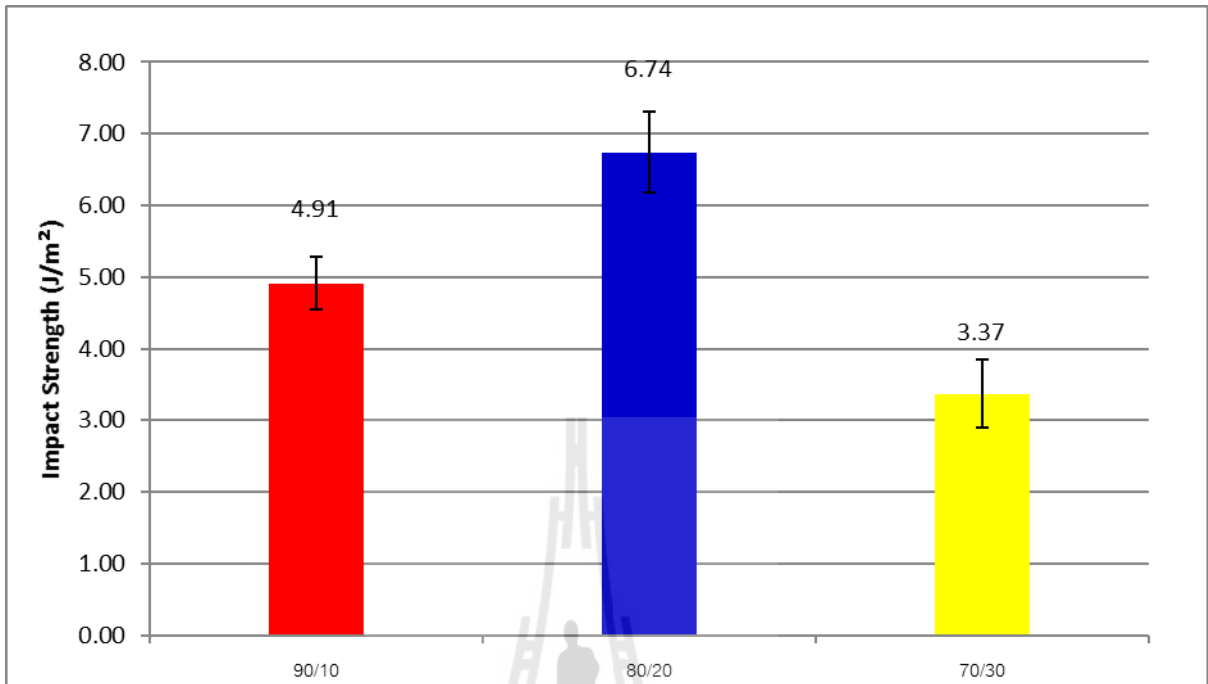


บทที่ 3

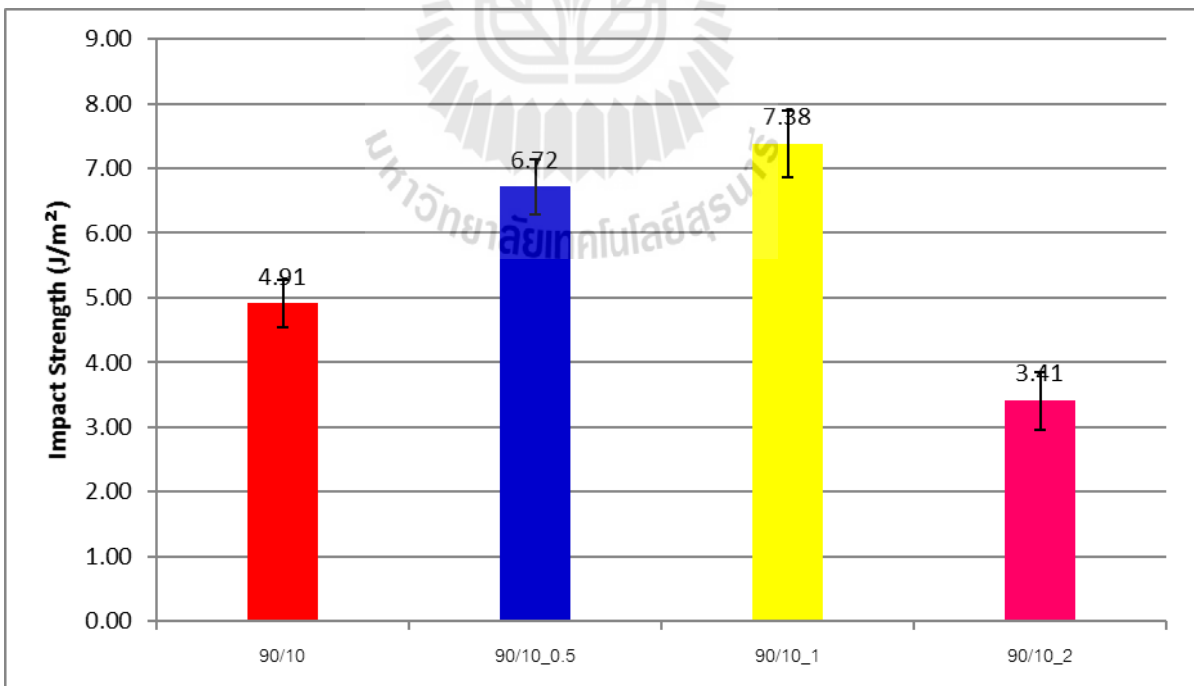
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกับยางธรรมชาติที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกับยางธรรมชาติ โดยศึกษา อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติ 3 อัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30 และ ปริมาณการใช้ NR-g-GMA ในอัตราส่วน 0.5 phr, 1phr, และ 2 phr

ค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงความเข้ากันได้ แสดงในรูปที่ 3.1 เห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact strength) จะมีค่าเพิ่มขึ้นกับปริมาณของยางธรรมชาติ(NR) ที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อัตราส่วนผสม 80:20 มีค่าความต้านทานแรงกระแทกได้มากที่สุด จึงได้ทำการเลือกอัตราส่วนระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 มาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้โดยใช้ NR-g-GMA โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของ NR-g-GMA ที่ใช้เพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้เป็น 3 ค่า ได้แก่ 0.5, 1 และ 2 phr รูปที่ 3.2 แสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่ใช้ NR-g-GMA จะเห็นว่าที่อัตราส่วนของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่ทำการปรับปรุงความเข้ากันได้ที่ 90:10 จะมีค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้นที่ปริมาณยางที่ทำการปรับปรุงความเข้ากันได้เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณของยางที่ทำการปรับปรุงความเข้ากันได้ที่ 1 phr. มีค่าสูงที่สุดและที่ปริมาณของยางที่ทำการปรับปรุงความเข้ากันได้เพิ่มขึ้นอีกเป็น 2 phr. จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงกระแทกมีค่าลดลงอย่างมากและมากกว่าที่ไม่ได้ใส่ปริมาณยางที่ปรับปรุงความเข้ากันได้

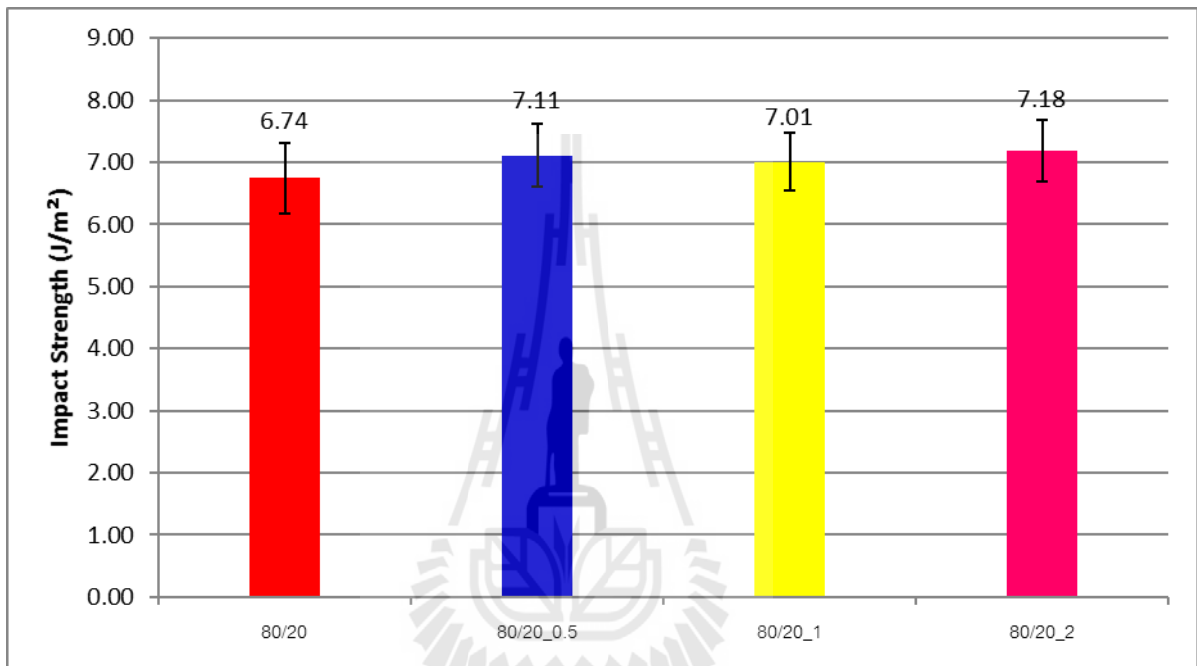


รูปที่ 3.1 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) กับยางธรรมชาติ(NR)



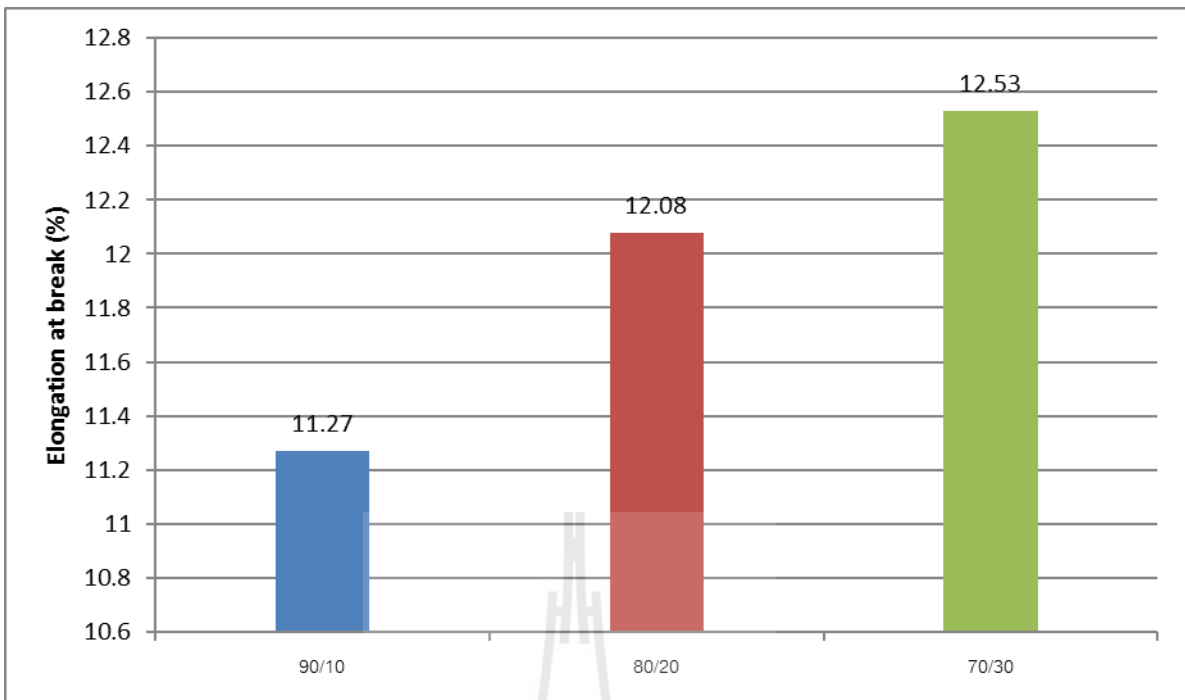
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 90:10 และใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆกัน

จากรูปที่ 3.3 ค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 และใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆกัน พบว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่ใส่ NR-g-GMA มีค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงกว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่ไม่ใส่ NR-g-GMA เล็กน้อยและปริมาณของ NR-g-GMA ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม

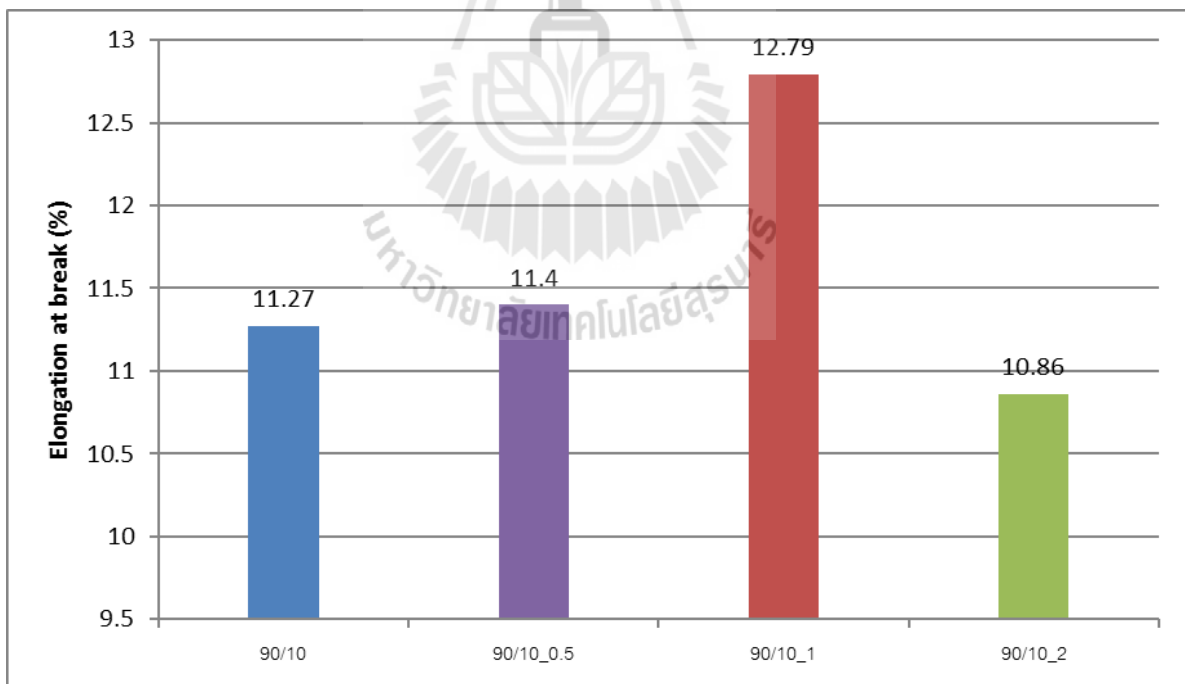


รูปที่ 3.3 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 และใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆกัน

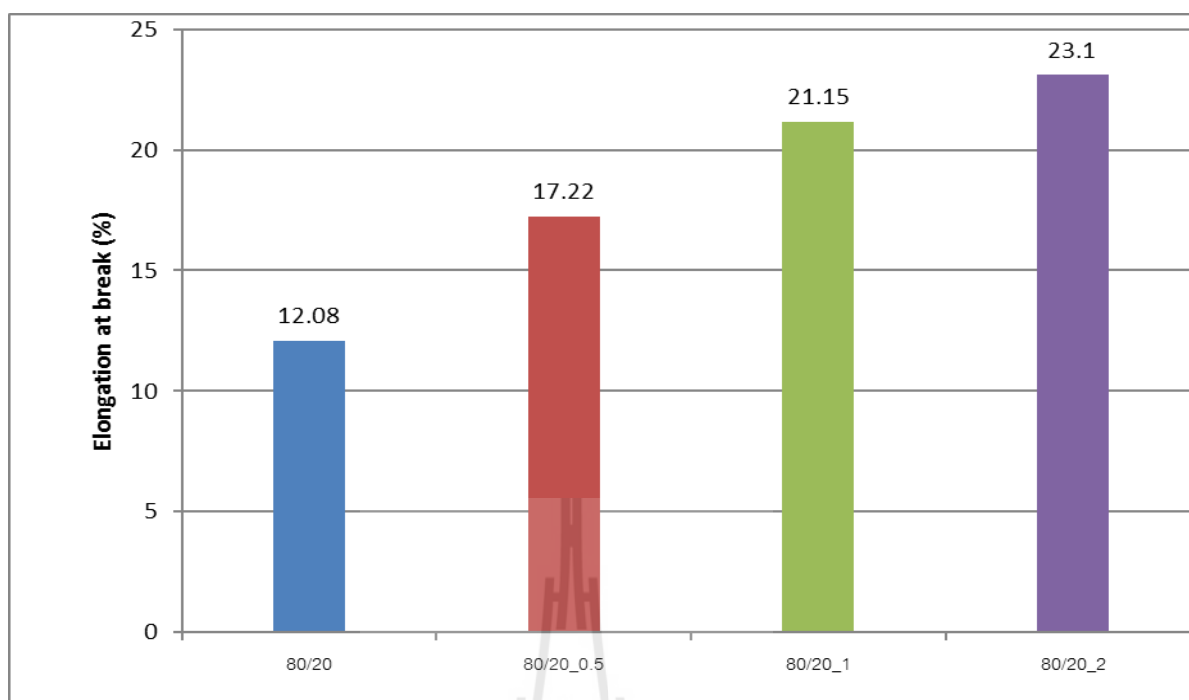
รูปที่ 3.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนการขาด (Elongation at break) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) กับยางธรรมชาติ(NR) จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติเข้าไปแล้วเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนการขาดมีค่ามากขึ้นซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากยางธรรมชาติมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่สูง หลังจากนั้น เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 90:10 และ 80:20 มาใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ จะเห็นว่าจากรูปที่ 3.5 พบว่าเมื่อมีการใส่ NR-g-GMA เพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถยืดตัวก่อนการขาดมีมากขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ NR-g-GMA 1 phr และหลังจากนั้นจะลดลง แต่ที่พอลิเมอร์ผสมของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 เมื่อมีการใส่ NR-g-GMA เพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนการขาดเพิ่มขึ้น และมากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนการขาดของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้ใส่ NR-g-GMA



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนการขาดของพอลิบิวทิลีนซัดซิเนตกับยางธรรมชาติ

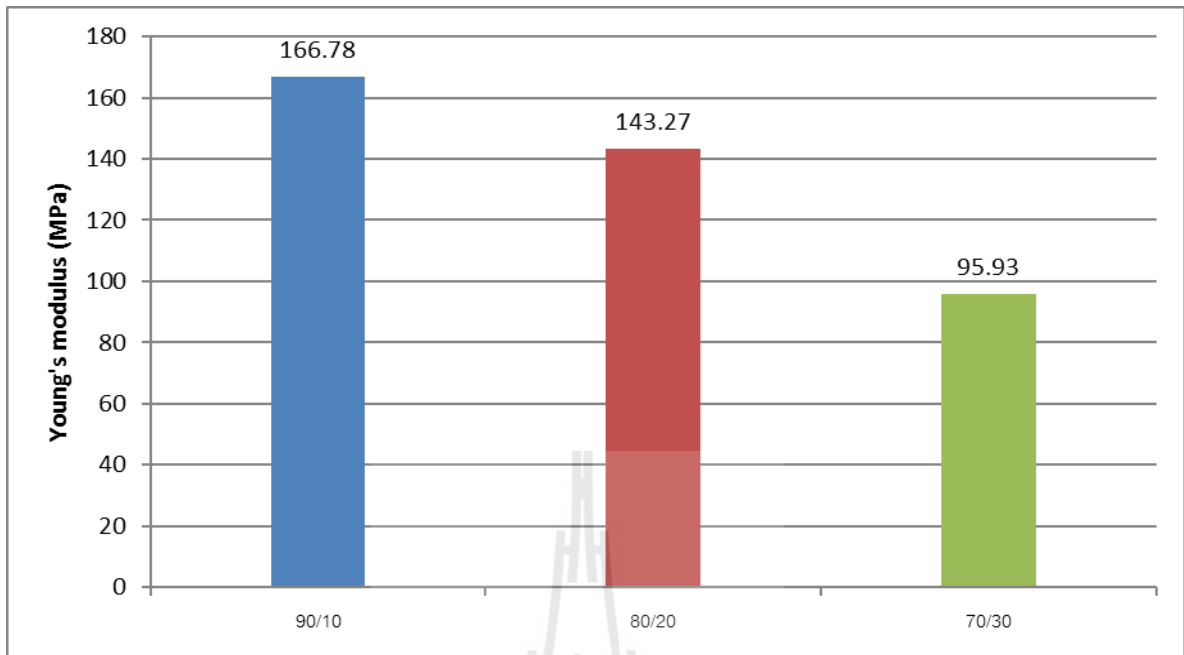


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนการขาดของพอลิบิวทิลีนซัดซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 90:10 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ

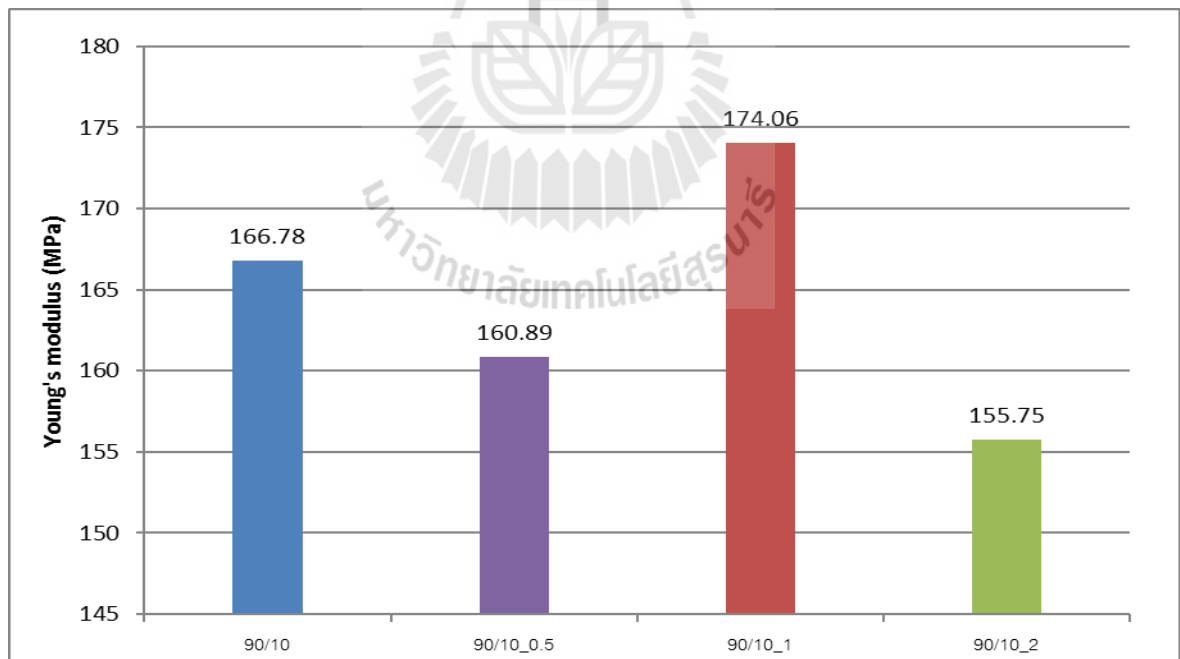


รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนการขาดของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ

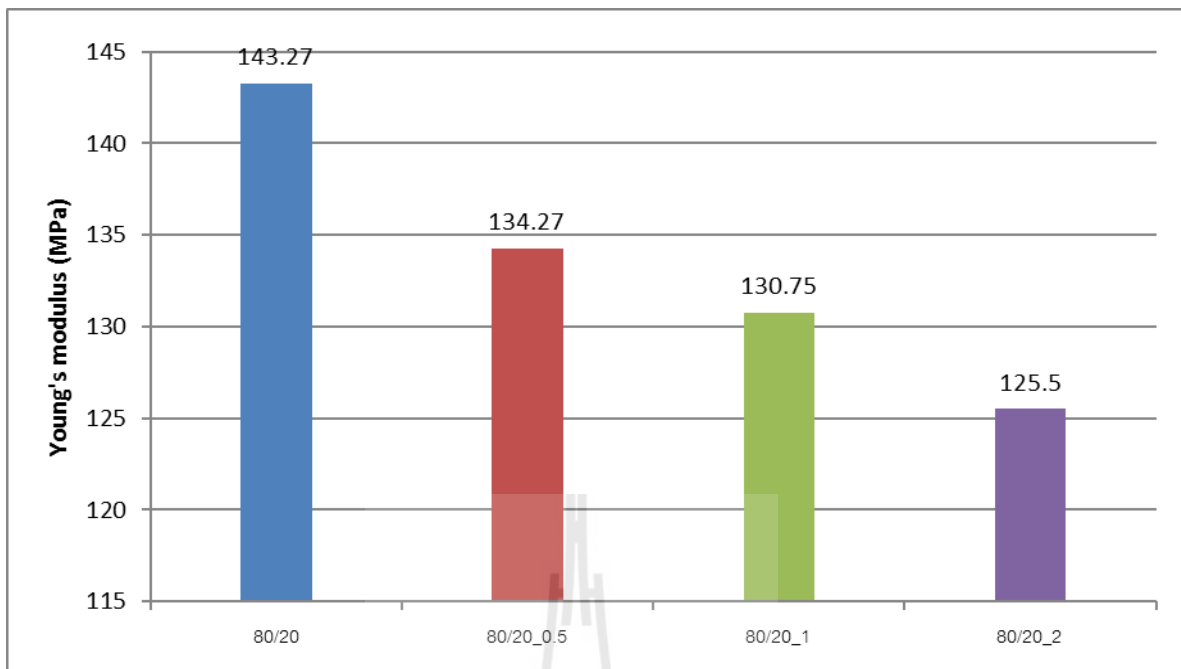
รูปที่ 3.7 แสดงค่า Young's modulus ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) กับยางธรรมชาติ(NR) จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติเข้าไปแล้ว ค่า Young's modulus มีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคของยางซึ่งมีความนิ่ม ทำให้ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมลดลง เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 90:10 และ 80:20 มาใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ จะเห็นว่าจากรูปที่ 3.8 พบว่าเมื่อมีการ ใส่ NR-g-GMA เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า Young's modulus มากขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ NR-g-GMA 1 phr และหลังจากนั้นจะลดลง แต่ที่พอลิเมอร์ผสมของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 เมื่อมีการใส่ NR-g-GMA เพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติ 80:20 ที่ปริมาณยางที่ทำการปรับปรุงความเข้ากันได้เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Young's modulus ลดลง



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงค่า Young's modulus ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆ

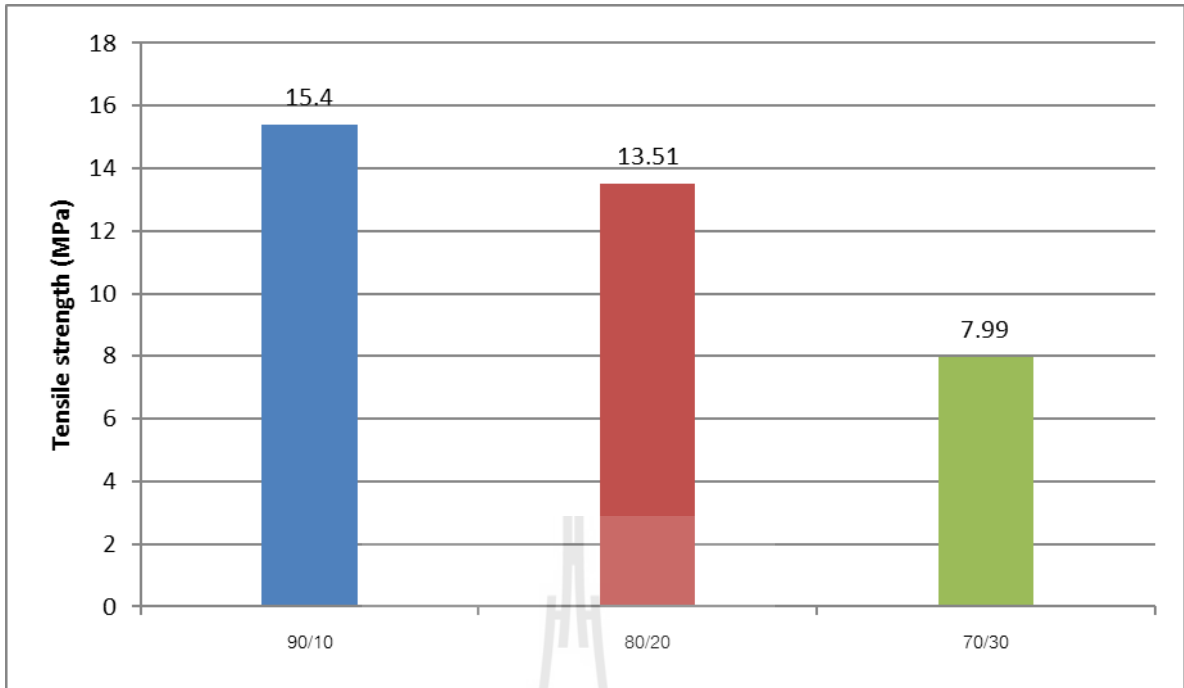


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงค่า Young's modulus ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่ อัตราส่วน 90:10 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ

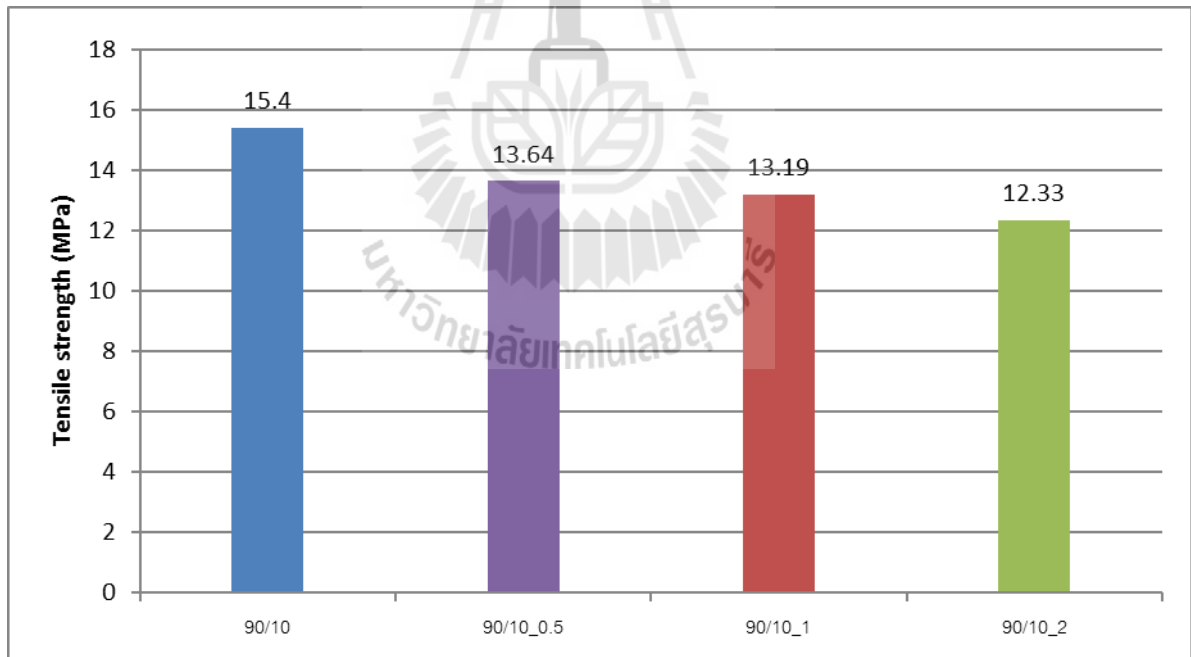


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงค่า Young's modulus ของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ

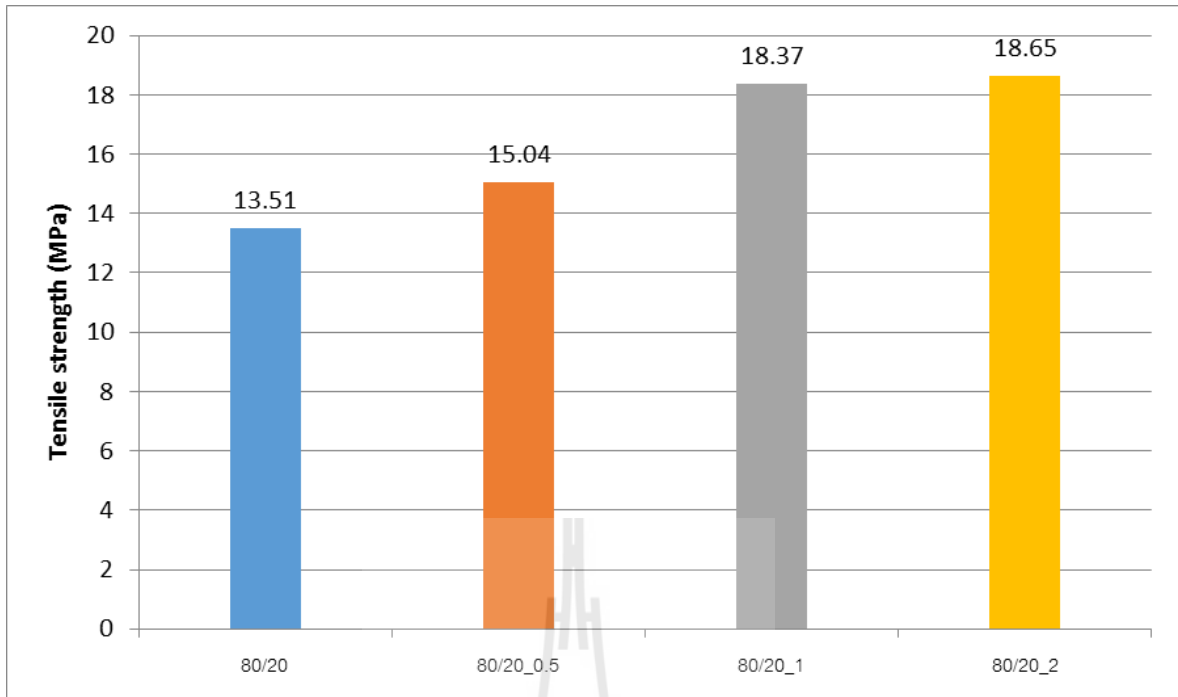
ค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น (PBS) กับยางธรรมชาติ (NR) แสดงในรูปที่ 3.10 เห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าความต้านทานแรงดึง จะมีค่าลดลงกับปริมาณของยางธรรมชาติ (NR) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 90:10 และ 80:20 มาใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ จะเห็นว่าจากรูปที่ 3.11 พบว่าเมื่อมีการใส่ NR-g-GMA เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลงเล็กน้อย แตกต่างจากรูปที่ 3.12 ที่พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นกับยางธรรมชาติที่ 80:20 และใส่ NR-g-GMA จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อปริมาณ NR-g-GMA เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติ



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 90:10 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 80:20 ที่ใส่ NR-g-GMA ที่ปริมาณต่างๆ



บทที่ 4

บทสรุป

จากการศึกษานี้พบว่าค่าความต้านทานแรงกระแทกจะมีค่าเพิ่มขึ้นกับปริมาณของยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อัตราส่วนผสม 80:20 มีค่าความต้านทานแรงกระแทกได้มากที่สุด แต่ค่าความต้านทานแรงดึง จะมีค่าลดลงกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณของยางธรรมชาติ เมื่อใส่ NR-g-GMA เป็นสารช่วยให้เข้ากัน พบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซีคซีเนตกับยางธรรมชาติที่ 80:20 และใส่ NR-g-GMA เพื่อทำการปรับปรุงความเข้ากันได้ จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อปริมาณ NR-g-GMA เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซีคซีเนตกับยางธรรมชาติที่ 80:20 และใส่ NR-g-GMA เพื่อทำการปรับปรุงความเข้ากันได้ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวก่อนการขาดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน



บรรณานุกรม

1. สุจินดา โชติพานิชและคณะ, แผนที่นำทางแห่งชาติ การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ
(พ.ศ. 2551 - 2555) http://www.tbia.or.th/uploads/attach/road_map_1.pdf
2. Zhang, N., Wang, Q., Ren, J. and Wang, L. (2009). Preparation and properties of biodegradable poly (lactic acid)/poly (butylenes adipate-co-terephthalate) blend with glycidyl methacrylate as reactive processing agent. *J. Mater. Sci*, 44, 250-256.
3. Jiang, L., Wolcott, M.P. and Zhang, J. (2006). Study of biodegradable polylactide/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends. *Biomacromolecules*, 7, 199-207.
4. Gan, Z., Kuwabara, K., Yamamoto, M., Abe, H. and Doi, Y. (2004). Solid-state structures and thermal properties of aliphatic–aromatic poly (butylene adipate-co-butylene terephthalate) copolyesters. *Polym. Degrad. Stab*, 83, 289-300.
5. Bhatia, A., Gupta, R.K., Bhattacharya, S.N. and Choi, H.J. (2007). Compatibility of biodegradable poly (lactic acid) (PLA) and poly (butylene succinate) (PBS) blends for packaging application. *Korea-Australia Rheol. J*, 19,125-131.
6. Ma, X., Yu, J. and Wang, N. (2006). Compatibility characterization of poly(lactic acid)/poly(propylene carbonate) blends. *J. Polym. Sci. B Polym. Phys*, 44, 94-101.
7. Coltelli, M-B., Maggiore, I.D., Bertoldo, M., Signori, F., Bronco, S. and Ciardelli, F. (2008). Poly (lactic acid) properties as a consequence of poly (butylenes adipate-co-terephthalate) blending and acetyl tributyl citrate plasticization. *J. Appl. Polym. Sc.*, 110, 1250–1262.
8. Wang, L., Ma, W., Gross, R.A. and McCarthy, S.P. (1998). Reactive compatibilization of biodegradable blends of poly (lactic acid) and poly (ϵ -caprolactone). *Polym. Degrad. Stab*, 59, 161-168.
9. Lee, S., Lee, Y. and Lee, J.W. (2007). Effect of ultrasound on the properties of biodegradable polymer blends of poly (lactic acid) with poly (butylene adipate-co-terephthalate). *Macromol. Res*, 40, 44-50.
10. Chen, Y. and Li, H. (2004). Effect of ultrasound on extrusion of PP/EPDM blends: structure and mechanical properties. *Polym. Eng. Sci*, 44, 1509-1513.

11. Jiang, L., Liu, B. and Zhang, J. (2009). Properties of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate)/nanoparticle ternary composites. *Ind. Eng. Chem. Res*, 48, 7594–7602.
12. Kumara, P.H.S., Nagasawa, N., Yagi, T. and Tamada, M. (2008). Radiation-induced crosslinking and mechanical properties of blends of poly (lactic acid) and poly (butylenes terephthalate-co-adipate). *J. Appl. Polym. Sci*, 109, 3321-3328.
13. Jiang, L., Zhang, J. and Wolcott, M.P. (2007). Comparison of polylactide/nano-sized calcium carbonate and polylactide/montmorillonite composites: Reinforcing effects and toughening mechanisms. *Polymer*, 48, 7632- 7644.
14. S. Y. Gua, K. Zhang, J. Ren and H.Zhan, Melt rheology of polylactide/poly(butylenes adipate-co-terephthalate) blends, *J. Carbohydrate Polymers*, 74 (2008) 79–85.
15. L. Wang, W. Ma, R. A. Gross and S. P. McCarthy, Reactive compatibilization of biodegradable blends of poly(lactic acid) and poly(caprolactone), *J. Polymer Degradation and Stability*, 59 (1998) 161-168.
16. V. Tanrattanakul, N. Sungthong and P. Raksa, Rubber toughening of nylon 6 with epoxidized natural rubber, *J. Polymer Testing*, 27 (2008) 794–800.
17. R. Asaletha, M.G. Kumarana and S. Thomasb, Thermoplastic elastomers from blends of polystyrene and natural rubber: morphology and mechanical properties, *J. European Polymer Journal*, 35 (1999) 253-271.
18. A.J.F. Carvalho, A.E. Jobb, N. Alvesb, A.A.S. Curveloa and A. Gandinic, Thermoplastic starch/natural rubber blends, *J. Carbohydrate Polymers*, 53 (2003) 95–99.
19. M. Schneider, T. Pith and M. Lambla, Toughening of polystyrene by natural rubber-based composite particles, *J. Journal of material science*, 32 (1997) 6343 -6356.
20. P. Phinyocheep , J. Saelao and J.Y. Buzare, Mechanical properties, morphology and molecular characteristics of poly(ethylene terephthalate) toughened by natural rubber, *J. Polymer*, 48 (2007) 5702e5712.
21. Z. Su, Q. Li, Y. Liu, G. H. Hu and C. Wu, Compatibility and Phase Structure of Binary Blends of Poly(Lactic acid) and Glycidyl methacrylate grafted Poly(ethylene octane), *J. European Polymer Journal*, (2009)

22. C. Nakason, S. Saiwari and A. Kaesaman, Rheological properties of maleated natural rubber/polypropylene blends with phenolic modified polypropylene and polypropylene-g-maleic anhydride compatibilizers, *J. Polymer Testing*, 25 (2006) 413–423.

23. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y. Ruksakulpiwat, Effect of glycidyl methacrylate-grafted natural rubber on physical properties of polylactic acid and natural rubber blends (2012) *Journal of Applied Polymer Science*, 125 (1), pp. 745-754.





ภาคผนวก

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

รองศาสตราจารย์ 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 จาก University of Akron มลรัฐ OHIO ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Polymer Processing and Characterization และ Polymer Crystallization and Morphology มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่แล้วดังต่อไปนี้

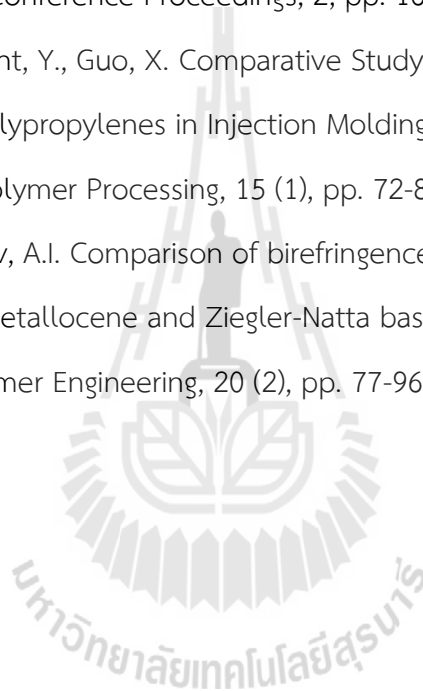
1. Juntuek, P., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y., Ruksakulpiwat, C. Effect of vetiver grass fiber on soil burial degradation of natural rubber and polylactic acid composites (2014) International Polymer Processing, 29 (3), pp. 379-388.
2. Kangwanwatthanasiri, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. Biocomposites from cassava pulp/polylactic acid/poly (butylenes succinate) (2013) Advanced Materials Research, 747, pp. 367-370.
3. Buakaew, W., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W. Mechanical, thermal and morphological properties of poly(butylene succinate) filled with Bio-Functional filler from eggshell waste (2013) Advanced Materials Research, 747, pp. 72-75.
4. Ruksakulpiwat, C., Wanasut, W., Singkum, A., Ruksakulpiwat, Y. Cogon grass fiber-epoxidized natural rubber composites (2013) Advanced Materials Research, 747, pp. 375-378.
5. Ruangudomsakul, W., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. The study of using bio-filler from cassava pulp in natural rubber composites (2013) Advanced Materials Research, 747, pp. 371-374.
6. Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Preparation and Characterization of Poly(lactic acid)/Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Blends and Their Composite (2013) Polymer - Plastics Technology and Engineering, 52 (13), pp. 1362-1367.

7. Sutapun, W., Pakdeechote, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, Y. Application of Calcined Eggshell Powder as Functional Filler for High Density Polyethylene (2013) *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 52 (10), pp. 1025-1033.
8. Buakaew, W., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W. Effect of compatibilizers on mechanical and thermal properties of high density polyethylene filled with bio-filler from eggshell (2013) *Advanced Materials Research*, 699, pp. 57-62.
9. Rakmae, S., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Suppakarn, N. Effect of silane coupling agent treated bovine bone based carbonated hydroxyapatite on in vitro degradation behavior and bioactivity of PLA composites (2012) *Materials Science and Engineering C*, 32 (6), pp. 1428-1436.
10. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Effect of glycidyl methacrylate-grafted natural rubber on physical properties of polylactic acid and natural rubber blends (2012) *Journal of Applied Polymer Science*, 125 (1), pp. 745-754.
11. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Comparison between mechanical and thermal properties of polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as fillers (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 59-62.
12. Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Poly (lactic acid)/Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Blend and its composite: Effect of maleic anhydride grafted poly (lactic acid) as a compatibilizer (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 51-54.
13. Boonying, S., Sutapun, W., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, Y. Crystallization behavior of vetiver grass fiber- polylactic acid composite (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 55-58.
14. Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N. Effect of heat treatment on chemical structure of a bio-filler from vetiver grass (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 71-74.

15. Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Jeencham, R., Aontee, A. Characterization of precipitated calcium carbonate from eggshell powder (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 228-231.
16. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Glycidyl methacrylate grafted natural rubber: Synthesis, characterization, and mechanical property (2011) *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (5), pp. 3152-3159.
17. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as filler (2011) *ICCM International Conferences on Composite Materials*, 4 p.
18. Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Mechanical and morphological properties of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate)/calcium carbonate composite (2011) *ICCM International Conferences on Composite Materials*, 5 p.
19. Rakmae, S., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Suppakarn, N. Effects of mixing technique and filler content on physical properties of bovine bone-based CHA/PLA composites (2011) *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (4), pp. 2433-2441.
20. Rakmae, S., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Suppakarn, N. Physical properties and cytotoxicity of surface-modified bovine bone-based hydroxyapatite/poly(lactic acid) composites (2011) *Journal of Composite Materials*, 45 (12), pp. 1259-1269.
21. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blends using vetiver grass fiber as filler (2010) *Advanced Materials Research*, 123-125, pp. 1167-1170.
22. Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., Jarukumjorn, K. Properties of biodegradable poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate)/calcium carbonate composites (2010) *Advanced Materials Research*, 123-125, pp. 193-196.

23. Sutapun, W., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, Y. Study of characteristic of vetiver fiber before and after alkaline treatment (2010) *Advanced Materials Research*, 123-125, pp. 1191-1194.
24. Ruksakulpiwat, Y., Sridee, J., Suppakarn, N., Sutapun, W. Improvement of impact property of natural fiber-polypropylene composite by using natural rubber and EPDM rubber (2009) *Composites Part B: Engineering*, 40 (7), pp. 619-622.
25. Somnuk, U., Suppakarn, N., Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y. Shear-induced crystallization of injection molded vetiver grass-polypropylene composites (2009) *Journal of Applied Polymer Science*, 113 (6), pp. 4003-4014.
26. Sanmuang, S., Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W. Chicken eggshell as a filler for polymer composites: Preparation and characterizations (2008) *Advanced Materials Research*, 47-50 PART 1, pp. 490-493.
27. Ruksakulpiwat, Y., Sridee, J., Suppakarn, N., Sutapun, W. Natural rubber and EPDM rubber as an impact modifier in vetiver grass-polypropylene composites (2008) *Advanced Materials Research*, 47-50 PART 1, pp. 427-430.
28. Jarukumjorn, K., Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y., Kluengsamrong, J. Effect of silane coupling agent and compatibilizer on properties of short rossells fiber/poly(propylene) composites (2008) *Macromolecular Symposia*, 264 (1), pp. 67-72.
29. Somnuk, U., Eder, G., Phinyocheep, P., Suppakarn, N., Sutapun, W., Ruksakulpiwat, Y. Quiescent crystallization of natural fibers-polypropylene composites (2007) *Journal of Applied Polymer Science*, 106 (5), pp. 2997-3006.
30. Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W., Thomthong, W. Vetiver-polypropylene composites: Physical and mechanical properties (2007) *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38 (2), pp. 590-601.
31. Ruksakulpiwat, Y., Somnuk, U., Kleungsumrong, J., Phinyocheep, P., Suppakarn, N., Sutapun, W. Shear-induced crystallization of natural fiber-polypropylene composites (2006) *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*, 3, pp. 1225-1229.

32. Jarukumjorn, K., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Kluensamrong, J. Compatibilization of natural fibers/PP composites (2006) Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings, 1, pp. 330-333.
33. Suppakarn, N., Sanmaung, S., Ruksakulpiwat, Y., Sutapun, W., Lorprayoon, C., Ekgasit, S. Mechanical properties of natural hydroxyapatite/PP composites (2006) Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings, 1, pp. 325-329.
34. Ruksakulpiwat, Y., Suppakarn, N., Sutapun, W., Thomthong, W. The study of using vetiver grass as a filler in polypropylene composites (2004) Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings, 2, pp. 1641-1645.
35. Isayev, A.I., Churdpunt, Y., Guo, X. Comparative Study of Ziegler-Natta and Metallocene Based Polypropylenes in Injection Molding: Simulation and Experiment (2000) International Polymer Processing, 15 (1), pp. 72-82.
36. Churdpunt, Y., Isayev, A.I. Comparison of birefringence and mechanical properties of injection molded metallocene and Ziegler-Natta based isotactic polypropylene (2000) Journal of Polymer Engineering, 20 (2), pp. 77-96.



ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อยู่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ. ขอนแก่น โทรศัพท์ 0 43 202 222-35 ต่อ 11243 โทรสาร 0 43 202 373 E-mail: charuk@kku.ac.th จบการศึกษาปริญญาเอกสาขา Polymer Science จาก University of Akron มลรัฐ OHIO ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความชำนาญพิเศษในสาขา Rubber technology มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่แล้วดังต่อไปนี้

1. Thanh, N.C., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat., Y. Effect of melt mixing time in internal mixer on mechanical properties and crystallization behavior of glycidyl methacrylate grafted poly (lactic acid) (2015) Journal of Materials Science and Chemical Engineering, vol.3, pp.102-107.
2. Ruangudomsakul, W., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat., Y. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from cassava pulp (2015) Macromolecular Symposia. (Accepted)
3. Kangwanwatthanasiri, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat., Y. Glycidyl methacrylate grafted polylactic acid: Morphological properties and Crystallization Behavior (2015) Macromolecular Symposia. (Accepted)
4. Juntuek, P., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y., Ruksakulpiwat, C. Effect of vetiver grass fiber on soil burial degradation of natural rubber and polylactic acid composites (2014) International Polymer Processing, 29 (3), pp. 379-388.
5. Ruksakulpiwat, C., Wanasut, W., Singkum, A., Ruksakulpiwat, Y. Cogon grass fiber-epoxidized natural rubber composites (2013) Advanced Materials Research, 747, pp. 375-378.
6. Kangwanwatthanasiri, P., Suppakarn, N., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. Biocomposites from cassava pulp/polylactic acid/poly (butylenes succinate) (2013) Advanced Materials Research, 747, pp. 367-370.
7. Ruangudomsakul, W., Ruksakulpiwat, C., Ruksakulpiwat, Y. The study of using bio-filler from cassava pulp in natural rubber composites (2013) Advanced Materials Research, 747, pp. 371-374.
8. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Effect of glycidyl methacrylate-grafted natural rubber on physical properties of polylactic acid

- and natural rubber blends (2012) *Journal of Applied Polymer Science*, 125 (1), pp. 745-754.
9. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Comparison between mechanical and thermal properties of polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as fillers (2012) *Advanced Materials Research*, 410, pp. 59-62.
10. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Glycidyl methacrylate grafted natural rubber: Synthesis, characterization, and mechanical property (2011) *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (5), pp. 3152-3159.
11. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blend using calcium carbonate and vetiver grass fiber as filler (2011) *ICCM International Conferences on Composite Materials*, 4 p.
12. Juntuek, P., Ruksakulpiwat, C., Chumsamrong, P., Ruksakulpiwat, Y. Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blends using vetiver grass fiber as filler (2010) *Advanced Materials Research*, 123-125, pp. 1167-1170.
13. Wongthep, W., Ruksakulpiwat, C., Amnuaypanich, S. Membranes prepared from a blend of poly(acrylic acid) and Natural rubber-graft-poly(vinyl alcohol) (PAA/NR-g-PVA) (2010) *Advanced Materials Research*, 93-94, pp. 268-271.
14. Ruksakulpiwat, C., Nuasaen, S., Poonsawat, C., Khansawai, P. Synthesis and modification of epoxidized natural rubber from natural rubber latex (2008) *Advanced Materials Research*, 47-50 PART 1, pp. 734-737.
15. Srijaranai, S., Siriangkawut, W., Srijaranai, S., Ruksakulpiwat, C., Deming, R.L. Effect of bound copper(II) on the LC separation of selected phenols using an aminophosphonic acid silica stationary phase (2004) *Analytical Letters*, 37 (12), pp. 2577-2594.
16. Hamed, G.R., Ruksakulpiwat, C. Bonding of vulcanized rubber to polyester cord using RFL adhesives modified with chlororesorcinolic resin (2004) *Journal of Applied Polymer Science*, 91 (3), pp. 1993-1996.