

รหัสโครงการ [SUT7-710-54-24-18]



## รายงานการวิจัย

การผลิตฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากพอลิแลคติกแอซิดและ  
พอลิบิวทีลีนอะดิเพรตเทอเรพธาเรต  
(Bioplastic Film Production from Polylactic acid and Polybutylene  
adipate -co- terephthalate)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การผลิตฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากพอลิแลคติกแอซิดและ

พอลิบิวทีลีนอะดิเพรตเทอเรพธาเรต

(Bioplastic Film Production from Polylactic acid and Polybutylene  
adipate -co- terephthalate)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ยูพาพร รักสกุลพิวัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษมา จารุกัจจร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2550

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน/2556

## กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการวิจัยโครงการการผลิตฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนอะดิเพรตเทอแรพธาเรตคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย บริษัท แชนด์ แอนด์ ซอยล์ จำกัดสำหรับความอนุเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนต และบริษัทแบ็กและ โกล์ฟจำกัด สำหรับการสนับสนุนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกชีวภาพ



## บทคัดย่อ

พอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิด(PLA) พอลิพลิบิวทีลีนอะดิเพตเทอเรพทาเรต (PBAT) และแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ )ถูกเตรียมด้วยเครื่องอัดรีด สกรูคู่ ซึ่งงานทดสอบถูกขึ้นรูปโดยใช้เครื่องกดอัด พอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิตที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทาง สมบัติทางกล และสัณฐานวิทยา โดยศึกษาผลของปริมาณของพอลิพลิบิวทีลีนอะดิเพตเทอเรพทาเรต และผลของกราฟโคพอลิเมอร์ระหว่าง PLA และ maleic anhydride (PLA-g-MA) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานต่อสมบัติต่างๆ รวมถึงอิทธิพลปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่า การเติม PBAT ใน PLA มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความต้านทานการกระแทกของพอลิเมอร์ผสม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PBATเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าความต้านทานแรงดึง และค่ามอดุลัสของยังก์ของ PLAจะลดลง เมื่อใส่ PLA-g-MA ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT พบว่าช่วยเพิ่มสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากการใส่ PLA-g-MA ส่งผลต่อการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ส่งผลให้สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ด้วย PLA-g-MA พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมจะลดลง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการเกิดรวมกลุ่มของ  $\text{CaCO}_3$  อย่างไรก็ตามค่ามอดุลัสของยังก์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบสมบัติของฟิล์มพลาสติก พบว่าค่าความต้านทานแรงดึง และค่ามอดุลัสของยังก์ ของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้เล็กน้อย ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักในแนว MD และ TD ของฟิล์มที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้มีค่าสูงที่สุดในขณะที่ฟิล์มที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมมีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักสูงกว่าฟิล์มที่เตรียมได้จาก PLA/PBAT/ $\text{CaCO}_3$  ทั้งในทิศทาง MD และ TD



## Abstract

The blends and composites of poly (lactic acid) (PLA), poly (butylene adipate-*co*-terephthalate) (PBAT) and calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) were performed by using a twin screw extruder. The test specimens were prepared by compression molding machine. The effects of content of PBAT and  $\text{CaCO}_3$  and the adding of PLA-*g*-MA on the mechanical and morphological properties of blends and composites were studied. The results indicated that by adding PBAT into PLA, the elongation at break and impact strength of blends increased but the tensile strength and Young's modulus decreased. With the addition of PLA grafted with maleic anhydride (PLA-*g*-MA) in PLA/PBAT blend, PLA-*g*-MA enhanced the adhesion between PLA and PBAT leading to the improvement of the mechanical properties. With the addition of  $\text{CaCO}_3$ , tensile strength decreased with increasing  $\text{CaCO}_3$  contents while Young's modulus increased. Moreover, Incorporating  $\text{CaCO}_3$  resulted in increased tensile properties of film of PLA/PBAT blend while Young's modulus insignificantly changed.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย .....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
<b>บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
2.1 วัสดุและสารเคมี.....	4
2.2 การเตรียมกราฟโคพอลิเมอร์ระหว่าง PLA และ maleic anhydride.....	4
2.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	4
2.3.1 การผสมวัสดุด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่และการเตรียมชิ้นงานโดยการ ขึ้นรูปแบบการกดอัด.....	4
2.3.2 การขึ้นรูปฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิต.....	5
2.4 การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ .....	6
2.4.1 การตรวจสอบสมบัติทางกล.....	6
2.4.2 การตรวจสอบสมบัติทางสัญญาณวิทยา .....	6
2.4.3 การตรวจสอบสมบัติทางกลของฟิล์มพลาสติก .....	7
<b>บทที่ 3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล</b>	
3.1 สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT และพอลิเมอร์คอมพอสิต PLA/PBAT/CaCO <sub>3</sub> .....	8
3.2 สมบัติทางสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT และพอลิเมอร์คอม พอสิต PLA/PBAT/CaCO <sub>3</sub> .....	12

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 สมบัติทางกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT และพอลิเมอร์คอมพอสิต PLA/PBAT/CaCO <sub>3</sub> .....	14
บทที่ 4 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย .....	18
บรรณานุกรม .....	19
ประวัติผู้วิจัย.....	21



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อัตราส่วนผสมระหว่าง PLA และ PBAT.....	5
2.2	อัตราส่วนผสมระหว่าง PLA PBAT PLA-g-MA และ CaCO <sub>3</sub> .....	5



## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	6
3.1	8
3.2	9
3.3	9
3.4	10
3.5	10
3.6	11
3.7	11
3.8	12
3.9	13
3.10	14
3.11	15
3.12	15
3.13	16

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่อำนวยความสะดวกให้แก่มวลมนุษย์ ทั้งในเรื่องรูปแบบของผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งการตอบสนองด้านการใช้งาน ความคงทนถาวร ตลอดจนราคาที่เหมาะสม เกือบทั้งหมดเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้มาจากกระบวนการปิโตรเคมี ถึงแม้ว่าจะมีจุดเด่นและให้ความพึงพอใจแก่มวลมนุษย์ได้เท่าไรก็ตาม แต่ปัญหาของการที่ไม่สามารถย่อยสลายและตกค้างอยู่ในธรรมชาติหรือการกำจัดด้วยการเผาไหม้อันก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกซึ่งทำให้โลกร้อนขึ้น ล้วนแต่เป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันแล้วว่าต้องหาวิธีการแก้ไข ดังนั้นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นประเด็นหลักในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานในอนาคตอันใกล้ [1, 2]

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid) หรือพอลิแลคไทด์ (Polylactide) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความสนใจมากที่สุด ในประเภทพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ สำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการค้าอย่างแพร่หลายในขณะนี้ โดยพอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถเตรียมได้จากแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่และหาได้ง่ายในประเทศไทย แต่เนื่องจากเนื่องจากสมบัติของ PLA เป็นพลาสติกที่ผลิตมาจากข้าวโพดมีสมบัติแข็ง เปราะ ทนความร้อนต่ำ และขึ้นรูปได้ยาก แต่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพส่งผลให้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของ PLA ให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมกันมากคือการทำพอลิเมอร์ผสมเนื่องจากค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากนัก และกระทำได้ง่ายกว่าวิธีการอื่น [1-5]

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากปิโตรเคมีแต่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพชนิดพอลิบิวทีลีนอะดิเพดเทอเรพธารัต (PBAT) เป็นพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาปรับปรุงคุณสมบัติของ PLA โดยพลาสติกที่ผลิตมาจากปิโตรเคมี อย่าง PBAT สามารถสลายตัวทางชีวภาพ ยืดหยุ่น และขึ้นรูปได้ดีกว่า PLA แต่ราคาสูงกว่า ดังนั้นการนำพลาสติกชีวภาพทั้งสองชนิดมาผสมกัน จะทำให้เกิดความสมดุลทางราคา และสมบัติการใช้งาน ทั้งนี้สิ่งสำคัญในการผสมนั้นจะต้องให้พอลิเมอร์ทั้งสองเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยการเติมสารช่วยผสมที่ได้จากการทำกราฟโคพอลิเมอร์ระหว่าง PLA และ maleic anhydride (PLA-g-MA) ทำให้เกิดการผสมระหว่างกันได้ดีขึ้น แม้ว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นได้มากขึ้น แต่ก็ส่งผลให้ความแข็งแรงของ PLA ลดลงด้วย ดังนั้นจึงมีการศึกษาการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งหาได้ง่ายในประเทศไทยเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ด้วย

โดยในปัจจุบันได้มีนำเข้าคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT จากต่างประเทศ ซึ่งได้มีการปรับสมบัติทางกายภาพและทางกลให้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพแสดงปรากฏการณ์การไหลและการก่อตัวได้ดี รวมทั้งมีความยืดหยุ่น แก้ปัญหาเรื่องความเปราะบางเพื่อให้เข้าใกล้กับสมบัติเด่นของพลาสติกที่มาจากปิโตรเคมีที่เราคุ้นเคยกันดี โดยเฉพาะให้ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนหรือพอลิโพรพิลีนให้มากที่สุดแล้ว โดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือการเติมสารเติมแต่ง (additive) เช่น พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) สารช่วยให้เข้ากัน (compatibilizer) สารตัวเติม (filler) สารเสริมแรง (reinforcing agent) สารก่อผลึก (nucleating agent) เป็นต้นแต่มีราคาสูงมากจึงเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศไทย

จากข้อดีและข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่างานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่สำคัญ และจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้องทำเนื่องจากจะมีผลกระทบต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทยต่อนานาประเทศในด้านอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากในประเทศอื่นๆ ได้พัฒนาการคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปขึ้นรูปไปนานแล้วและในอีกหลายประเทศก็มีงานวิจัยทางด้านนี้อยู่มาก และในปัจจุบันพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง และเป็นแนวทางหลักแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยกลุ่มอุตสาหกรรมแนวหน้าทั่วโลกตื่นตัวในการคิดค้นหาวัสดุดิบหรือพอลิเมอร์ตัวใหม่ เพื่อพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและให้มีคุณสมบัติในการใช้งานได้ดีเทียบเท่ากับพลาสติกดั้งเดิมที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่

### วัตถุประสงค์การของการวิจัย

การพัฒนาและวิจัยเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติสำหรับใช้ประโยชน์ได้ในเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์เพื่อทดแทนพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการปิโตรเคมี

### ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาสมบัติทางเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติก แอซิด (PLA) และพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากปิโตรเคมีแต่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพชนิดพอลิบิวทิลีนอะดิเพเรตเทอเรพทาเรต (PBAT) โดยการผสมที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ แล้วเลือกอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมที่สุดนำมาปรับปรุงสมบัติทางด้านความแข็งแรงโดยการเติมสารตัวเติม  $\text{CaCO}_3$  ซึ่งจะทำการศึกษาโดยวิธีการขึ้นรูปแบบเป่าฟิล์ม

### ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์คอมพอสิตที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติได้
2. เป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ
3. เป็นการส่งเสริมการทำสารคอมพาวด์ภายในประเทศจากการผลิตพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิต ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการนำเข้าสารคอมพาวด์จากต่างประเทศ
4. ช่วยส่งเสริมการส่งออกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิตที่สามารถย่อยสลายได้ 100% ในธรรมชาติ ไปยังประเทศที่ต้องมีมาตรฐานระดับนานาชาติรองรับได้ เช่น DIN Standard ของประเทศเยอรมัน เป็นต้น
5. เป็นการพัฒนาความสามารถทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุของประเทศอย่างต่อเนื่อง
6. เป็นการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ให้สามารถเริ่มการวิจัยและพัฒนาได้ และดำเนินการวิจัยต่อไปได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว
7. นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์





## บทที่ 2

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 2.1 วัสดุและสารเคมี

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยพอลิแลคติกแอซิด (PLA) เกรด 4042D ที่ใช้ในการค้าผลิตโดยบริษัท Nature Works LLC และพอลิบิวทิลีนอะดิเพทเทอแรพทาเลต (PBAT) เกรด Ecoflex 7011 จากบริษัท BASF จำกัด สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกราฟโคพอลิเมอร์ระหว่าง PLA และ maleic anhydride (PLA-g-MA) ได้แก่ มาลิกแอนไฮไดรด์ (MA) และ 2,5-bis(tert-butylperoxy)-2,5 dimethylhexane (Luperox 101, L101) แล้ปเกรด ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเบลเยียม และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO<sub>3</sub>) เกรด HICOAT 810 ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท แซนด์ แอนด์ ซอยล์ จำกัด (Sand and Soil co., Ltd.) ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.20-1.40 ไมครอน

#### 2.2 การเตรียมกราฟโคพอลิเมอร์ระหว่าง PLA และ maleic anhydride

PLA-g-MA เตรียมโดยใช้เครื่องบดผสมภายใน (internal mixer, Haake Rheomix, 3000p) โดยปริมาณมาลิกแอนไฮไดรด์มอนอเมอร์ที่ใช้คือ 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณ L101 ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (initiator) คือ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำ PLA ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ก่อนนำไปเตรียม PLA-g-MA อุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียม PLA-g-MA คือ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที และเวลา 10 นาที

#### 2.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิต

##### 2.3.2 การผสมวัสดุด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่และการเตรียมชิ้นงานโดยการขึ้นรูปแบบการกดอัด

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิตโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่ (co-rotating intermeshing twin screw extruder) รุ่น Brabender DSE 35/17D อุณหภูมิที่ใช้ 160-165-170-165-160 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที โดยทำการผสม PBAT ในอัตราส่วนที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ PLA แตกต่างกันจำนวน 3 ตัวอย่าง ชิ้นงานทดสอบเตรียมโดยใช้เครื่องกดอัด (compression molding machine, LabTech, LP20-B) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ทำการเลือกพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน PLA ต่อ PBAT ที่ 90 ต่อ 10 โดยน้ำหนัก มาทำการศึกษาผลของ PLA-g-

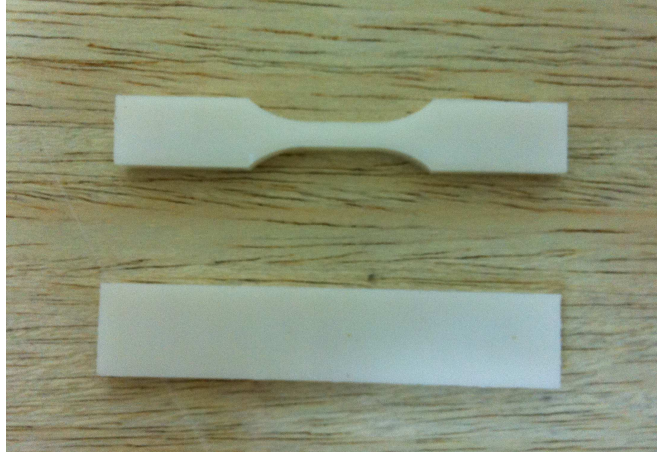
MA โดย PLA-g-MA ปริมาณ PLA-g-MA ที่ใช้ 2 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของพอลิเมอร์ผสม (phr) หลังจากนั้นทำการศึกษา ปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่มีต่อสมบัติทางกล และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม อัตราส่วนการผสมของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิต แสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนผสมระหว่าง PLA และ PBAT

PLA (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	PBAT (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
100	0
90	10
80	20
70	30
0	100

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนผสมระหว่าง PLA PBAT PLA-g-MA และ  $\text{CaCO}_3$

PLA (เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก)	PBAT (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	PLA-g-MA (phr)	$\text{CaCO}_3$ (เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก)
90	10	2	0
90	10	2	5
90	10	2	10
90	10	2	15
90	10	2	30



**รูปที่ 2.1** ชิ้นทดสอบการต้านทานแรงดึง และ ความต้านทานการกระแทก

### 2.3.2 การขึ้นรูปฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิต

การทดลองขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ทางธรรมชาติด้วยเครื่องเป่าฟิล์มพอลิเอทิลีน HA45 ยี่ห้อ ILIE PLASTIC รุ่น EP-HA 45 MM ขนาด 20 HP ผลิตจากประเทศไต้หวัน ก่อนนำไปขึ้นรูปเม็ดคอมพาวด์คั่งจะถูกอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่ระหว่าง 155-180 องศาเซลเซียส โดยควบคุมความหนาของฟิล์มที่ 10 ไมครอน

## 2.4 การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

### 2.4.1 การตรวจสอบสมบัติทางกล

ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแบบกดอัด จะถูกนำไปทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Testing) ของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท Instron ที่ความเร็วในการดึงเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ในการทดสอบจะใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้นต่อตัวอย่าง

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Properties) ของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิต ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 โดยใช้เครื่องต้านทานแรงตกกระแทก (Impact Testing Machine) ที่ผลิตจากบริษัท Atlas Electric Devices Company รุ่น BPE โดยแต่ละการทดสอบจะใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น

### 2.4.2 การตรวจสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา

สัณฐานวิทยาของ PLA/PBAT blend ศึกษาโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (JEOL, JSM6400) ที่ 10 keV โดยนำพื้นผิวที่ได้จากการหักตัวอย่างในไนโตรเจนเหลวไปเคลือบด้วยทองก่อนนำไปวิเคราะห์

## 2.4 การตรวจสอบสมบัติทางกลของฟิล์มพลาสติก

ฟิล์มพลาสติกจะถูกนำไปทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Testing) ของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมพอสิตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท Instron ที่ความเร็วในการดึงเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ในการทดสอบจะใช้ชิ้นงานจำนวน 15 ชิ้นต่อตัวอย่าง

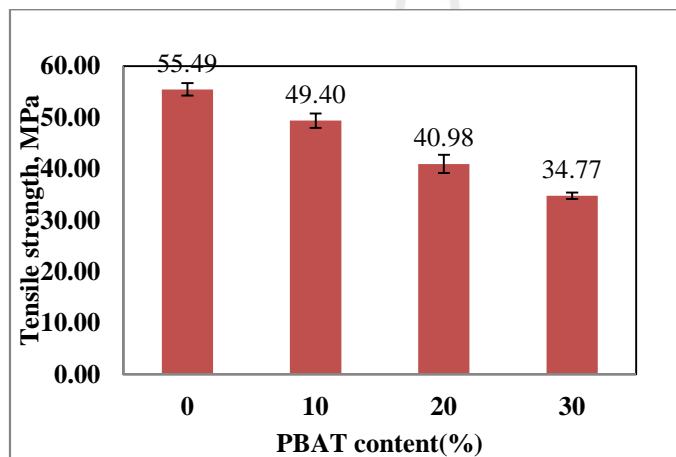


### บทที่ 3

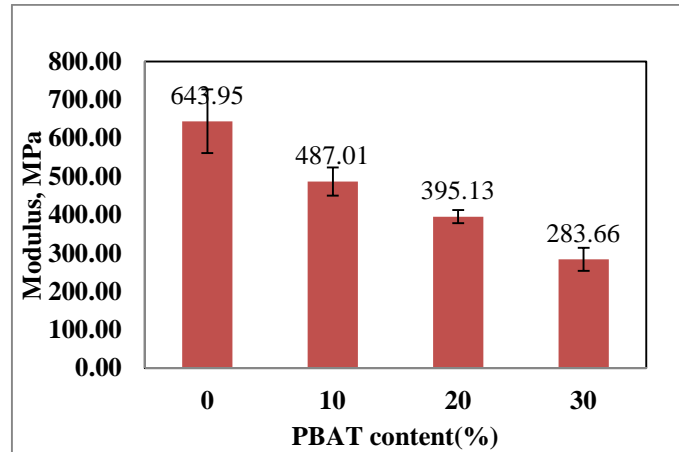
#### ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

##### 3.1 สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT และพอลิเมอร์คอมพอสิต PLA/PBAT/CaCO<sub>3</sub>

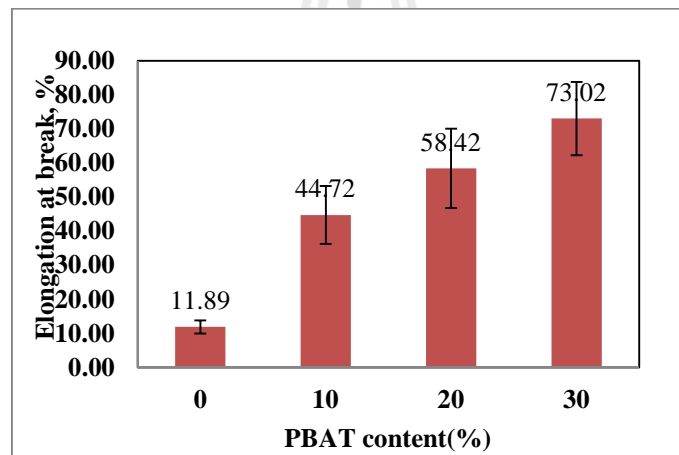
ผลการทดสอบของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT และพอลิเมอร์คอมพอสิต PLA/PBAT/CaCO<sub>3</sub> แสดงในรูปที่ 3.1-3.8 ค่าความต้านทานแรงดึง และค่ามอดูลัสของยังก์ของ PLA จะลดลงเมื่อผสมกับ PBAT เนื่องจากค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังก์ของ PBAT มีค่าที่ต่ำกว่า PLA มาก เมื่อเติม PBAT ลงใน PLA ค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังก์ของพอลิเมอร์ผสมจะลดลงเมื่อปริมาณ PBAT เพิ่มขึ้น ซึ่งคล้ายกับผลการศึกษาศสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับพอลิไบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) [4]



รูปที่ 3.1 ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT ที่อัตราส่วนผสมของ PBAT ต่างๆ กัน

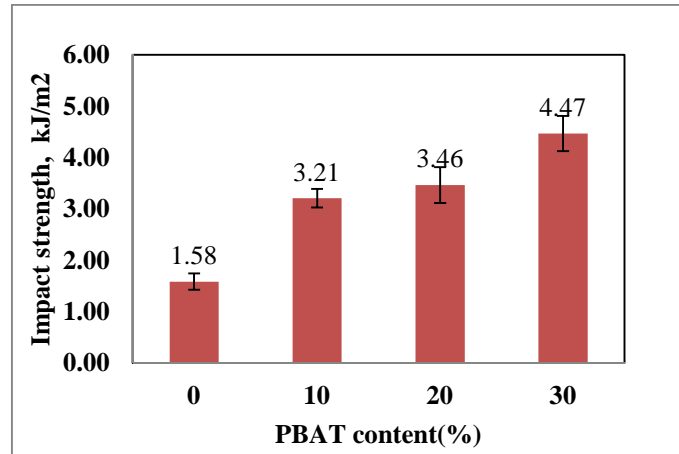


รูปที่ 3.2 ค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT ที่อัตราส่วนผสมของ PBAT ต่างๆ กัน



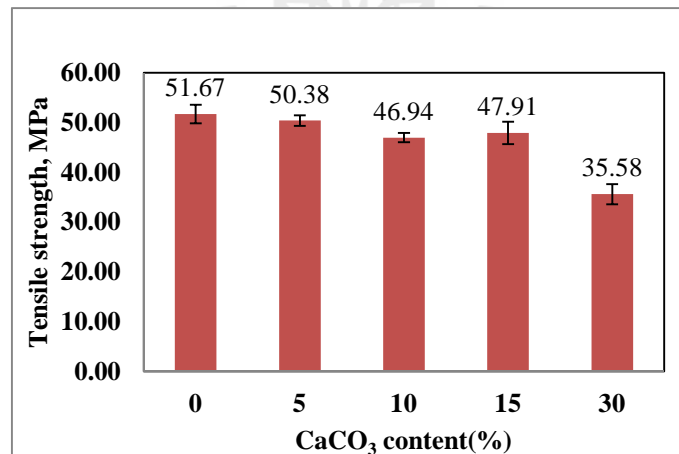
รูปที่ 3.3 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (elongation at break) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT ที่อัตราส่วนผสมของ PBAT ต่างๆ กัน

ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความต้านทานการกระแทกของพอลิเมอร์ผสมจะสูงกว่า PLA และ ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความต้านทานการกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PBAT เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลการศึกษานี้ของ Bhatia *et al.* และ Jiang *et al.* [2, 4] กรณี PBAT ปริมาณ 100 % ไม่สามารถทดสอบค่าความทนต่อแรงกระแทกได้เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ไม่สามารถตีให้ชิ้นงานแตกได้

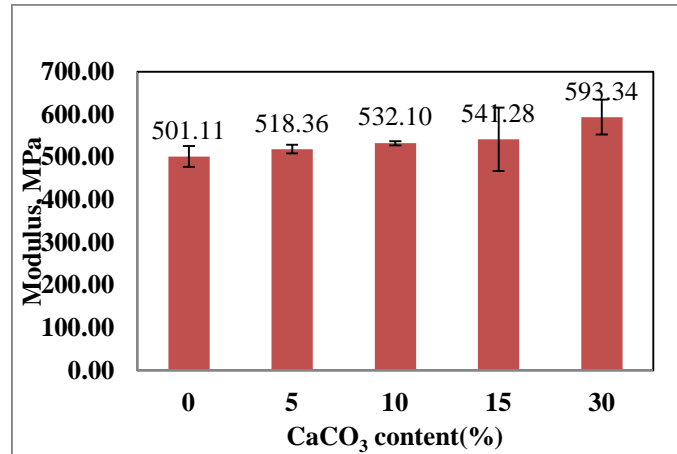


รูปที่ 3.4 ค่าความต้านทานการกระแทก (impact strength) ของของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBAT ที่อัตราส่วนผสมของ PBAT ต่างๆ กัน

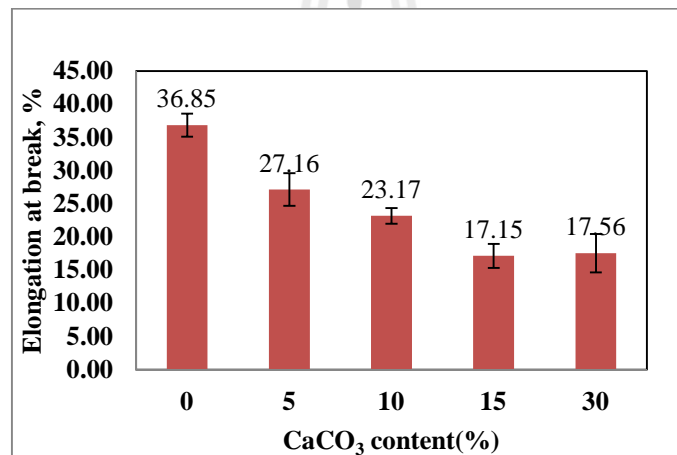
ค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่ถูกปรับปรุงความเข้ากันได้ด้วย PLA-g-MA พบว่า PLA-g-MA ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึง ค่ามอดุลัสของยังก์ และค่าความต้านทานการกระแทก เนื่องจากการใส่ PLA-g-MA ส่งผลต่อการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ส่งผลให้สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น



รูปที่ 3.5 ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่าง PLA PBAT และ CaCO<sub>3</sub> ที่อัตราส่วนผสมของ CaCO<sub>3</sub> ต่างๆ กัน



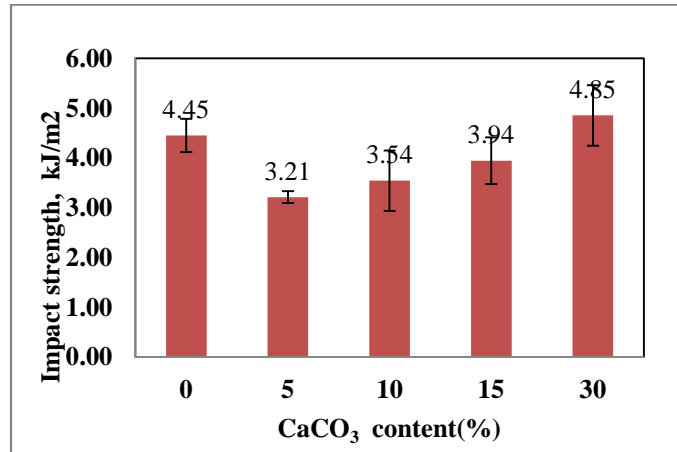
รูปที่ 3.6 ค่ามอดูลัสของยังก์ (Young's modulus) ของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่าง PLA/PBAT และ CaCO<sub>3</sub> ที่อัตราส่วนผสมของ CaCO<sub>3</sub> ต่างๆ กัน



รูปที่ 3.7 ความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหัก (elongation at break) ของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่าง PLA/PBAT และ CaCO<sub>3</sub> ที่อัตราส่วนผสมของ CaCO<sub>3</sub> ต่างๆ กัน

ค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม จะลดลงเมื่อเติมกับ CaCO<sub>3</sub> และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ CaCO<sub>3</sub> เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการเกิดรวมกลุ่มของ CaCO<sub>3</sub> (agglomeration) แต่ค่ามอดูลัสของยังก์เพิ่มขึ้น เนื่องจาก CaCO<sub>3</sub> มีค่ามอดูลัสของยังก์ที่สูง ในขณะที่ค่าความต้านทานการกระแทกของพอลิเมอร์คอมพอสิตจะต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสม อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณ CaCO<sub>3</sub> เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานการกระแทกของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น





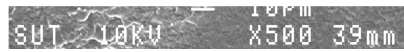
รูปที่ 3.8 ค่าความต้านทานการกระแทก (impact strength) ของพอลิเมอร์คอมพอลิทีระหว่าง PLA/PBAT และ CaCO<sub>3</sub> ที่อัตราส่วนผสมของ CaCO<sub>3</sub> ต่างๆ กัน

### 3.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT และพอลิเมอร์คอมพอลิที PLA/PBAT/CaCO<sub>3</sub>

จากรูปที่ 3.9-3.12 พบว่าลักษณะการเข้ากันระหว่าง PLA และ PBAT ยังไม่ดีเท่าที่ควรทำให้มีลักษณะแบ่งเป็นสองเฟสชัดเจน เมื่อเพิ่มปริมาณ PBAT ขนาดของเฟสกระจาย (PBAT) มีขนาดใหญ่ขึ้น [2, 4] ส่งผลให้ค่าความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมไม่ดีดังกล่าวไปข้างต้น นอกจากนี้เมื่อเติม CaCO<sub>3</sub> พบการรวมกลุ่มของ CaCO<sub>3</sub> เมื่อใส่ CaCO<sub>3</sub> ในปริมาณที่สูง (30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ซึ่งอาจส่งผลต่อการลดลงของสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมพอลิที



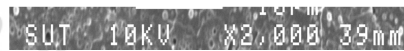
(a) x500



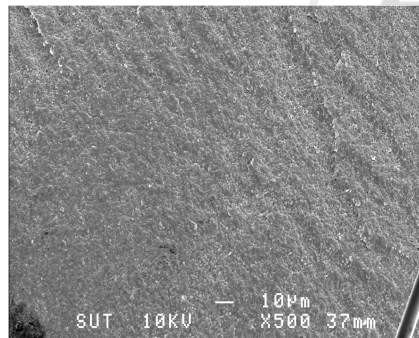
(b) x500



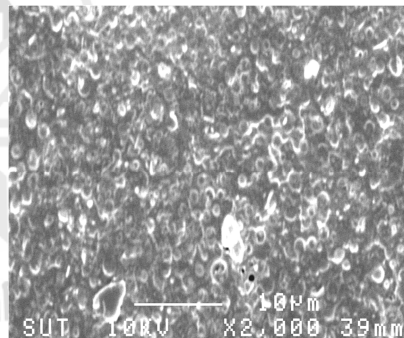
(c1) x500



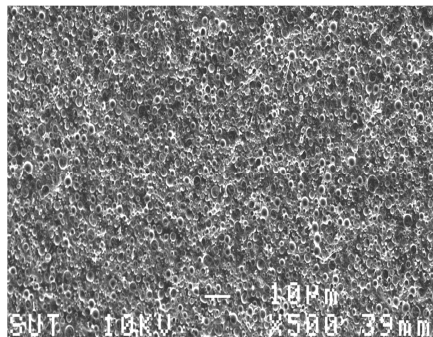
(c2) x2000



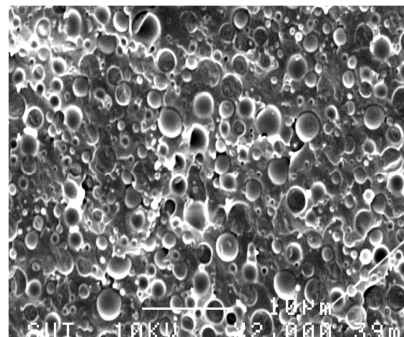
(d1) x500



(d2) x2000

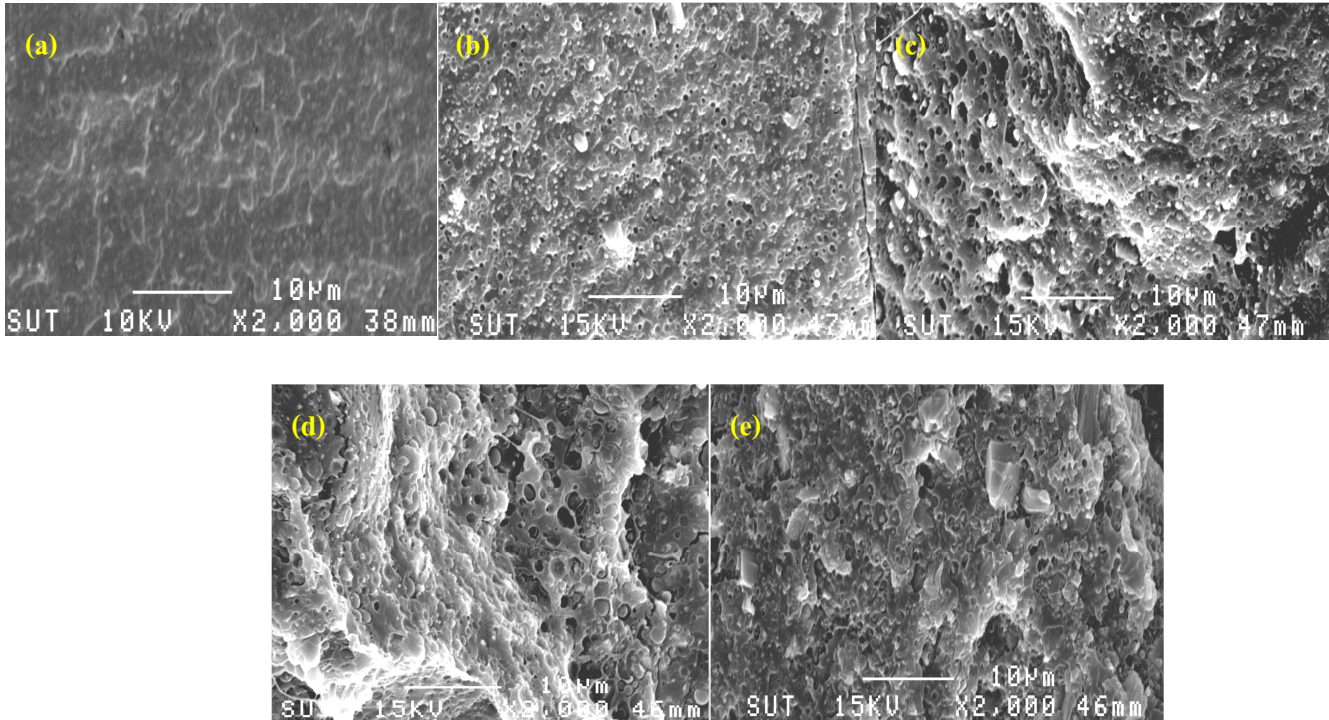


(e1) x500



(e2) x2000

รูปที่ 3.9 SEM micrographs ของ (a) PLA, (b) PBAT, (c) PLA/PBAT 90/10 blend, (d) PLA/PBAT 80/20 blend, (e) PLA/PBAT 70/30 blend



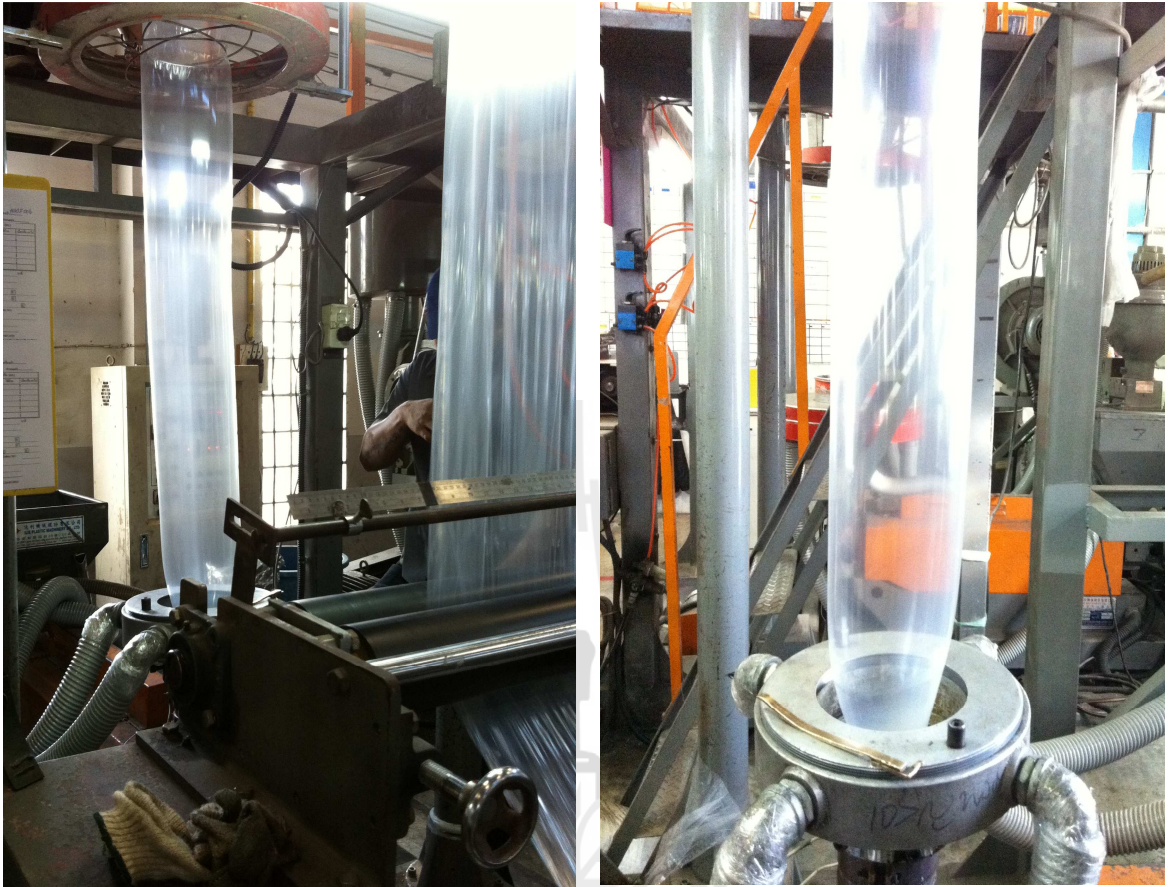
รูปที่ 3.10 SEM micrographs ของ (a) PLA/PBAT/PLA-g-MA 90/10/2 blend, (b) PLA/PBAT/PLA-g-MA/CaCO<sub>3</sub> 90/10/2/5 composite (c) PLA/PBAT/PLA-g-MA/CaCO<sub>3</sub> 90/10/2/10 composite, (d) PLA/PBAT/PLA-g-MA/CaCO<sub>3</sub> 90/10/2/15 composite, (e) PLA/PBAT/PLA-g-MA/CaCO<sub>3</sub> 90/10/2/30 composite

### 3.3 สมบัติทางกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT และพอลิเมอร์คอมพอสิต

#### PLA/PBAT/CaCO<sub>3</sub>

ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) ใช้พอลิเมอร์ผสม (PBAT10) พอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ด้วย PLA-g-MA (cPBAT10) และพอลิเมอร์คอมพอสิต (5CaCO<sub>3</sub>) ในการขึ้นรูปเนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดคั้งผลการทดลองที่แสดงก่อนหน้านี้ กระบวนการขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่ 3.11 และลักษณะของตัวอย่างฟิล์มที่ขึ้นรูปได้จากการเป่าแสดงในรูปที่ 3.12



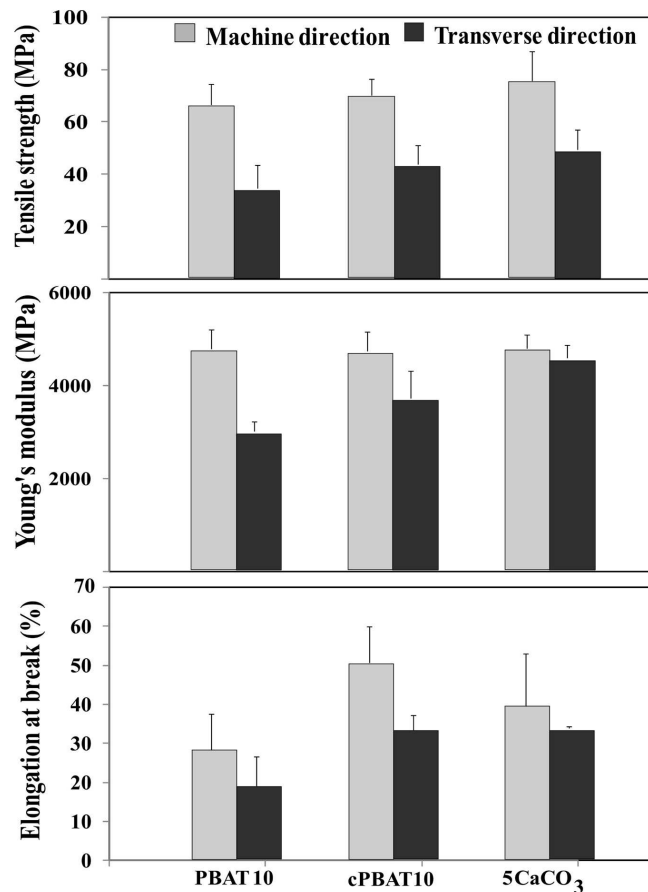


รูปที่ 3.11 การเป่าขึ้นรูปของฟิล์มพลาสติก



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการเป่า

จากการทดสอบสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ผสม(PBAT10) พอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ (cPBAT10) และพอลิเมอร์คอมพอสิต (5CaCO<sub>3</sub>) พบว่าค่าความต้านทานแรงดึง และค่ามอดูลัสของยังก์ ของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้เล็กน้อย ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักในแนว MD และ TD ของฟิล์มที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้มีค่าสูงที่สุดในขณะที่ฟิล์มที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม มีค่าสูงกว่าฟิล์มที่เตรียมได้จาก PLA/PBAT/CaCO<sub>3</sub> ทั้งในทิศทาง MD และ TD (รูป 3.13) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปโดยการกดอัดของพอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์พอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้และพอลิเมอร์คอมพอสิต



รูปที่ 3.13 สมบัติทางกลของฟิล์มพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม (PBAT10) พอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ (cPBAT10) และพอลิเมอร์คอมพอสิต (5CaCO<sub>3</sub>)

## บทที่ 4

### บทสรุป

ในการศึกษาสมบัติทางกลและสมบัติทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่าง PLA/PBAT และแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าเมื่อมีการผสม PBAT ใน PLA พบว่าค่าความต้านทานแรงดึง และค่ามอดูลัสของยังก์ของ PLA จะลดลงเมื่อผสมกับ PBAT เนื่องจากค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังก์ของ PBAT มีค่าที่ต่ำกว่า PLA มาก เมื่อเติม PBAT ลงใน PLA ค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังก์ของพอลิเมอร์ผสมจะลดลงเมื่อปริมาณ PBAT เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความต้านทานการกระแทกของพอลิเมอร์ผสมจะสูงกว่า PLA และ ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความต้านทานการกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PBAT เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเติมสารที่ช่วยให้เข้ากันลงในพอลิเมอร์ผสมพบว่าช่วยเพิ่มสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากการใส่ PLA-g-MA ส่งผลต่อการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ส่งผลให้สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม จะลดลง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการเกิดรวมกลุ่มของ  $\text{CaCO}_3$  (agglomeration) อย่างไรก็ตามค่ามอดูลัสของยังก์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่ามอดูลัสของยังก์ที่สูงของ  $\text{CaCO}_3$  เมื่อทดสอบสมบัติของฟิล์มพลาสติก พบว่าค่าความต้านทานแรงดึง และค่ามอดูลัสของยังก์ ของพอลิเมอร์คอมพอสิตมีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้เล็กน้อย ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักในแนว MD และ TD ของฟิล์มที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ฟิล์มที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมมีค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักสูงกว่าฟิล์มที่เตรียมได้จาก PLA/PBAT/ $\text{CaCO}_3$  ทั้งในทิศทาง MD และ TD

## บรรณานุกรม

1. 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.
2. Jiang, L., Wolcott, M.P. and Zhang, J. (2006). Study of biodegradable polylactide/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends. *Biomacromolecules*, 7, 199-207.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Wang, L., Ma, W., Gross, R.A. and McCarthy, S.P. (1998). Reactive compatibilization of biodegradable blends of poly (lactic acid) and poly ( $\epsilon$ - caprolactone). *Polym. Degrad. Stab*, 59, 161-168.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.

12. 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.





## ประวัติผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ (ภาษาไทย): รองศาสตราจารย์ ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

(ภาษาอังกฤษ): Associate Professor Yupaporn Ruksakulpiwat

2. รหัสประจำตัวประชาชน: -

3. ตำแหน่งปัจจุบัน: รองศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ (044) 22-4433 โทรสาร (044) 22-4605

E-mail: [yupa@sut.ac.th](mailto:yupa@sut.ac.th)

5. ประวัติการศึกษา

2542 Ph.D.(Polymer Engineering), The University of Akron, USA

2537 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยม) วัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Polymer Processing and Characterization

- Polymer Crystallization and Morphology

6. ผลงานทางวิชาการ

ผลงานทางวิชาการในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติ

1. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong and Y. Ruksakulpiwat, "Effect of Glycidyl Methacrylate grafted Natural Rubber on Physical Properties of Polylactic Acid and Natural Rubber Blends", J Appl. Polym Sci., vol. 125, p. 745-754, 2012.
2. S. Rakmae, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun and N. Suppakarn, "Effect of Silane Coupling Agent Treated Bovine Bone Based Carbonated Hydroxyapatite on In Vitro Degradation Behavior and Bioactivity of PLA Composites", Mater Sci Eng C, 32, 1428-1436, 2012.
3. S. Boonying, W. Sutapun, N. Supakarn, and Y. Ruksakulpiwat, "Crystallization Behavior of Vetiver Grass Fiber- Polylactic Acid Composite", Advanced Materials Research, vol. 410, p. 55-58, 2012.

4. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong and Y. Ruksakulpiwat, "Comparison Between Mechanical and Thermal Properties of Polylactic Acid and Natural Rubber Blend using Calcium Carbonate and Vetiver Grass Fiber as Fillers", *Advanced Materials Research*, vol.410, p. 59-62, 2012.
5. A Teamsinsungvon, Y Raksakulpiwat, K Jaruumjorn, " Poly (lactic acid)/Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Blend and Its Composite: Effect of Maleic Anhydride Grafted Poly (lactic acid) as A Compatibilizer", *Advanced Materials Research*, vol. 410, p. 51-54. , 2012.
6. W. Sutapun, Y. Raksakulpiwat and N. Suppakarn, "Effect of heat treatment on chemical structure of a bio-filler from vetiver grass", *Advanced Materials Research*, vol. 410, p. 71-74, 2012
7. W. Sutapun, Y. Raksakulpiwat, N. Suppakarn, R. Jeencham, and A. Aontee, "Characterization of precipitated calcium carbonate from eggshell powder", *Advanced Materials Research*, vol. 410, p. 228-231, 2012
8. 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
9. 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.
10. 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, p. 1259-1269, 2011
11. P. Juntuek, C. Ruksakulpiwat, P. Chumsamrong, Y. Ruksakulpiwat, "Mechanical properties of polylactic acid and natural rubber blends using vetiver grass fiber as filler", *Advanced Materials Research*, vol. 123-125, p. 1167-1170, 2010.
12. A. Teumsinsunworn, Y. Ruksakulpiwat and K. Jarukumjorn. Properties of Biodegradable Poly(lactic acid)/Poly(butylene adipate-co-terephthalate)/Calcium Carbonate Composites, *Advanced Materials Research*, vol. 123-125, p193, 2010
13. W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat and N. Suppakarn, "Study of Characteristic of Vetiver Fiber Before and after Alkaline Treatment" , *Advanced Materials Research*, vol. 123-125, p. 1191, 2010

14. 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*, vol. 40, p. 619-622, 2009.
15. U. Somnuk, P. Phinyocheep, N. Suppakarn, W. Sutapun, and Y. Ruksakulpiwat, "Shear-induced crystallization of injection molded vetiver grass-polypropylene composites", *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 113 , p. 3403-4014, 2009.
16. Y. Ruksakulpiwat, J. Sridee, N. Suppakarn, and W. Sutapun, "Natural Rubber and EPDM Rubber as An Impact Modifier in Vetiver grass-Polypropylene Composites", *Advanced Materials Research*, 47-50, 427-430, 2008.
17. S. Sanmunag, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, "Chicken Eggshell as A filler for Polymer Composites: Preparation and Characterizations", *Advanced Materials Research*, 47-50, 490-493, 2008.
18. 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.
19. N. Suppakarn, S. Sanmaung, Y. Ruksakulpiwat, and W. Sutapun, "Effect of Surface Modification on Properties of Natural Hydroxyapatite/Polypropylene Composites," *Key Eng. Mater.*, 361-363, 511-514, 2008.
20. U. Somnuk, G. Eder, P. Phinyocheep, N. Suppakarn, W. Sutapun, and Y. Ruksakulpiwat, "Quiescent Crystallization of Natural Fiber-Polypropylene Composites", *J. Appl. Polym. Sci.*, 106 , 2997-3006, 2007.
21. Y. Churdpant and A.I. Isayev, "Comparison of Birefringence and Mechanical Properties of Injection Molded Metallocene and Ziegler-Natta Based Isotactic Polypropylenes", *J. Polym. Eng.*, 20, 76, 2000.
22. A.I. Isayev, Y. Churdpant, and X.Guo, "Comparative Study of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes in Injection Molding", *Inter. Polym. Proc.*, 15, 72, 2000.

#### ผลงานทางวิชาการในเอกสารการประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ

1. Parina Kangwanwatthanasiri , Nitinat Suppakarn and Yupaporn Ruksakulpiwat, "Effect of Cassava Pulp on Physical Properties of Polylactic Acid and Polybutylene Succinate Blends", *Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON)*, Chiang Mai, Thailand, 2012.

2. 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.
3. A Teamsinsungvon, Y Raksakulpiwat, K Jaruiumjorn, ""Mechanical and morphological properties of poly(lactic acid)/poly(butylene adipate-coterephthalate) blend and its composites" , the 3 rd International Conference on Biodegradable and bio-based polymer (BIOPOL2011), August 29- 31,2011, Strasbourg, FRANCE. PO- 098
4. Y. Ruksakulpiwat, P. Tonimit, J. Kluengsamrong, "Mechanical Properties of PLA-Jute Composites by Using Natural Rubber and Epoxidized Natural Rubber as Impact Modifiers : Effect of Molding Technique" , Proceedings of Cleantec 2010 in TechConnect World Conference and Expo 2010, P.302-305, June 21 -25 , 2010, Anaheim, California, U.S.A
5. 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 Cleantec 2010 in TechConnect World Conference and Expo 2010. June 21 -25 , 2010, Anaheim, California, U.S.A
6. 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.
7. 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
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
9. P. Pakdechote, 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
10. K. Jarukumjorn, W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, and J. Kluengsamrong, "Effect of Sinlane Coupling Agent and Compatibilizer on Properties of Rossells Fiber/PP Composites" The 2nd International Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers, Bangkok, Thailand, BC-P16, 2007.

11. Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, W. Thomthong. Vetiver - Polypropylene Composites: Physical and Mechanical Properties. *Composites Part A.* , 38, 590-601, 2007.
12. U. Somnuk, N. Suppakarn, W. Sutapun, P. Phinyocheep and Y. Ruksakulpiwat. "Effect of processing conditions on crystallization of vetiver grass-polypropylene composites". The 4th East Asian Polymer Conference. China., pp.168-170, 2006.
13. N. Suppakarn, S. Sanmaung, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, C. Lorprayoon, and S. Ekgasit. "Mechanical Properties of Natural Hydroxyapatite/PP Composites" Annual Technical Conference 2006. The Society of Plastics Engineers. Charlotte. North Carolina USA. , p. 325, 2006.
14. Y. Ruksakulpiwat, U. Somnuk, J. Kleungsumrong, P. Phinyocheep, N. Suppakarn, and W. Sutapun. Shear-Induced Crystallization of Natural Fiber-Polypropylene Composites. Annual Technical Conference 2006. The Society of Plastics Engineers. Charlotte. North Carolina USA. p. 1225, 2006.
15. K. Jarukumjorn, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, and J. Kluengsamrong. Compatibilization of Natural Fibers/PP Composites. Annual Technical Conference 2006. The Society of Plastics Engineers. Charlotte. North Carolina USA., p. 330, 2006.
16. U. Somnuk, N. Suppakarn, W. Sutapun, and Y. Ruksakulpiwat. Injection Molding of Vetiver Grass-Polypropylene Composites: Effect of Particle Sizes on Rheological. Thermal. and Mechanical Properties. The 28th Australasian Polymer Symposium (APS2006). Rotorua. New Zealand, p. 8, 2006.
17. Y. Ruksakulpiwat, U. Somnuk, P. Phinyocheep, N. Suppakarn, and W. Sutapun. Effect of Particle Sizes of Vetiver Grass on Shear-Induced Crystallization of Injection Molded Vetiver Grass-Polypropylene Composites. The 28th Australasian Polymer Symposium (APS2006). Rotorua. New Zealand, p. 9, 2006.
18. N. Suppakarn, S. Sanmaung, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, C. Lorprayoon, and S. Ekgasit. Effect of Water Absorption and Silane coupling agent on Tensile Properties of Hydroxyapatite/PP Composites. The 28th Australasian Polymer Symposium (APS2006). Rotorua. New Zealand, p. 27, 2006.
19. Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, W. Sutapun, and W. Thomthong. "The Study of Using Vetiver Grass as a Filler in Polypropylene Composites". Annual Technical Conference 2004. The Society of Plastics Engineers. Chicago. Illinois. USA. p. 1641, 2004.
20. W. Thuamthong, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, and N. Suppakarn, The 8th Pacific Polymer Conference (PPC8), Bangkok, Thailand, 118, 2003.

21. Y. Ruksakulpiwat and C. Ruksakulpiwat , The 8th Pacific Polymer Conference (PPC8), Bangkok, Thailand, 134, 2003.
22. Y. Ruksakulpiwat, “Comparative Study of Structure and Property of Ziegler-Natta and Metallocene Based Linear Low Density Polyethylene in Injection Moldings”, SPE Tech. Papers, 582, 2001.
23. Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, “ Shear-Induced Crystallization in Injection Moldings of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes”, SPE Tech. Papers, 486, 2000.
24. Y. Churdpant and A.I. Isayev, “Crystallization and Microstructure of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes: Simulation and Experiment”, SPE Tech. Papers, 2527, 1999.
25. A.I. Isayev, Y. Churdpant and X. Guo, Proceeding of the 15th PPS Meeting, Netherlands, paper no. 289, 1999.

#### ผลงานทางวิชาการตีพิมพ์ในเอกสารการประชุมทางวิชาการระดับชาติ

1. W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, K. Jarukumjorn, N. Supakarn, P. Chumsamrong, and J. Kluengsamrong. Studies of Thermal Properties and Surface Characteristics of Pretreated and Silane-Treated Rossell Fibers. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, p. 241, 2005.
2. Ruksakulpiwat, J. Kluengsamrong, U. Somnuk, W. Sutapun, and N. Suppakarn. Comparison of Rheology Properties and Mechanical Properties of Polypropylene Composites from Various Types of Natural Fibers. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, 2005.
3. U. Somnuk, W. Sutapun, N. Suppakarn, P. Phinyocheep, and Y. Ruksakulpiwat. Effect of Processing Conditions on Shear-induced Crystallization of Vetiver Grass-Polypropylene /Composites. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, 2005.
4. K. Jarukumjorn, W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, and J. Kluengsamrong. Short Rossells Fiber/Polypropylene Composites: Effect of Compatibilizer on Mechanical and Rheological Properties. and Heat Distortion Temperature. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, 2005.
5. Y. Ruksakulpiwat, J. Kluengsamrong, W. Sutapun, and N. Suppakarn. Injection Molding of Rossells-Polypropylene Composites: Effect of Processing Parameters on Mechanical

- Properties. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, 2005.
6. P. Chumsamrong, W. Sutapun, Suriya Kiaw-on, and W. Tonukoon. Influence of Alkali-Treated Rossells Fibers on The Tensile Properties of Unsaturated Polyester. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, 2005.
  7. N. Suppakarn, W. Sutapun, Suriya Kiaw-on, and W. Tonukoon. Effect of Fiber Content and Fiber Treatment on Mechanical Properties of Rossells Fiber-Epoxy Composite. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, 2005.
  8. N. Suppakarn, M. Baru, S. Sanmuang, C. Lorprayoon, and S. Ekgasit, "Effect of Filler Content on Mechanical Properties of Cattle Bone Based Hydroxyapatite-Polypropylene Composite," The 31st Congress on Science and Technology of Thailand, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2005.
  9. N. Suppakarn, J. Rittita, Y. Ruksakulpiwat, W. Sutapun, and C. Lorprayoon. Effect of Filler Particle size on Mechanical Properties of Cattle Bone Based Hydroxyapatite-Polypropylene Composite. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, 2005.
  10. Y. Ruksakulpiwat, W. Thomthong, A. Thitichaisri, W. Sutapun, and N. Suppakarn. Natural Rubber: an Impact Modifier for Vetiver Grass-Polypropylene Composites. The 31st Congress on Science and Technology of Thailand. Nakhon Ratchasima. Thailand, 2005.
  11. W. Sutapun, Y. Ruksakulpiwat, K. Jarukumjorn, N. Suppakarn, P. Chumsamrong, and J. Kluengsamrong. "Studies of Thermal Properties and Surface Characteristics of Pretreated Jute Fibers by Boiling and Soxhlet Extraction". The 30th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok. Thailand. p. 175, 2004
  12. W. Thuamthong, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun. "Effect of Vetiver Contents and Vetiver Lengths on Mechanical and Morphological Properties of Vetiver-Polypropylene Composites". The Third Thailand Materials Science and Technology Conference. Bangkok. Thailand. p. 167, 2004.
  13. U. Somnuk, Y. Ruksakulpiwat, N. Suppakarn, and W. Sutapun. "Characterization of Chemical Treated Vetiver Grass". The Third Thailand Materials Science and Technology Conference. Bangkok. Thailand. p. 420, 2004.
  14. Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, Proceedings of the First Thailand Materials Science and Technology Conference, Thailand, 116, 2000.

## 7. การปฏิบัติงานวิจัย ณ ต่างประเทศ

1. ปฏิบัติงานวิจัย ณ University of Linz ประเทศออสเตรีย ด้วยทุนแลกเปลี่ยนนักวิทยาศาสตร์ตามโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศไทยและประเทศออสเตรีย ทบวงมหาวิทยาลัย ในระหว่างเดือนกันยายน 2544

## 8. รางวัลที่ได้รับ

- Certificates of Excellence for the King of Thailand Vetiver Awards 2006/ An investigation of using vetiver grass in polypropylene composites





**ผู้ร่วมโครงการ**

นางสาว กษมา จารุกัจฉา ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถานที่ติดต่อ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนัก วิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000 การศึกษา พ.ศ. 2533 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2536 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล และ พ.ศ. 2542 Ph.D. (Polymer Engineering) University of Akron, OH, USA สาขาวิชาการที่มีความสนใจ กระบวนการขึ้นรูปและ ตรวจสอบพอลิเมอร์ (polymer processing and characterization) และพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต (polymer blends and composites) ผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 35 บทความ และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 9 ฉบับ

