

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยใช้ซีลี้อยู่ไม่ยาวพาราเป็นสารเสริมแรง
นักศึกษา	นางสาวจิราภรณ์ คำศรี
รหัสประจำตัว	46064307
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ศ. ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยใช้ซีลี้อยู่ไม่ยาวพาราเป็นสารเสริมแรงโดยได้ศึกษาวิธีการผสมของพอลิเมอร์ผสมซึ่งพบว่าการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวตามด้วยเครื่องผสมชนิด 2 ลูกกลิ้ง ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงกว่าการใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวเพียงขั้นตอนเดียว และจากการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมพบว่าเมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้นสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงเนื่องจากการยึดติดระหว่างวัฏภาคต่ำ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่าง PVC และ LDPE โดยใช้สารช่วยผสม 3 ชนิด ได้แก่ คลอรีนเตดพอลิเอทิลีน (CPE) พอลิเมอร์ร่วมระหว่างเมทิลเมทาไครเลตและบิวทิลอะไครเลต (PA 20) และพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและเมทิลอะไครเลต (Elvaloy®) จากการศึกษาพบว่า PA 20 ให้สมบัติโดยรวมที่เหมาะสมในการนำไปทำเป็นวัสดุคอมโพสิต สำหรับการทดสอบโดยใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์คาร์บอน 13 พบว่า PVC ไม่เกิดการตอ้งกับ LDPE และที่อัตราส่วน PVC100 : LDPE10 อุณหภูมิการสลายตัวของ PVC มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาถ่ายโอนอนุมูลอิสระของ PVC และ LDPE ระหว่างกระบวนการผสม แต่เมื่อใส่สารช่วยผสมชนิด PA 20 และผงไม้ทำให้อุณหภูมิในการสลายตัวของ PVC มีค่าต่ำลง ในการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเมื่อใส่สารช่วยผสมการกระจายตัวของ LDPE ใน PVC ดีขึ้นและอนุภาคของ LDPE มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด CPE และ

Elvaloy[®] มีค่าลดลงโดยที่ T_g ของ PVC ในพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด PA 20 มี T_g ใกล้เคียงกับ PVC บริสุทธิ์มากกว่าการใช้สารช่วยผสมชนิด CPE และ Elvaloy[®] สำหรับสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมและ ขึ้นอยู่กับปริมาณของยางพารา พบว่าเมื่อปริมาณขึ้นก็ยิ่งมากขึ้น โมดูลัสการดึงยืดและโมดูลัสโค้งงอมีค่าสูงขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรง โค้งงอและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง โดยที่สมบัติต่างๆ มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการใช้สารช่วยผสมชนิด PA 20

Thesis Title	Properties of Polymer Blends of Poly(vinyl chloride) and Low-density Polyethylene using Rubber-Wood Sawdust as Reinforcement
Student	Ms. Jeerabhorn Khamstri
Student ID.	46064307
Degree	Master of Science
Programme	Polymer Technology
Year	2006
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Jutarat Prachayawarakorn
Thesis Co-advisor	Prof.Dr. Narongrit Sombatsompop

ABSTRACT

This research aims to study properties of polymer blends between poly(vinyl chloride) (PVC) and low-density polyethylene (LDPE) reinforced by rubber-wood sawdust. Two different mixing procedures were studied i was found that using both single-screw extruder and then two-roll mill led to greater mechanical properties than using only single-screw extruder. The experimental results suggested that as the LDPE contents were increased, the mechanical properties of the polymer blend progressively decreased due to poor interfacial adhesion. The phase compatibility between PVC and LDPE phase could be improved by three different types of compatibilizers which included chlorinated polyethylene (CPE), poly(methyl-methacrylate-co-butylacrylate) (PA 20) and poly(ethylene-co-methacrylate) (Elvaloy[®]). The PA 20 was found to be more suitable compatibilizer for the polymer blends in order to prepare the composites. The results from ¹³C-NMR showed that no grafted products of PVC and LDPE was found and decomposition temperature (T_d) of PVC in the polymer blends of PVC100 : LDPE10 increased because of a radical transfer reaction of PVC and LDPE during the mixing process. But the T_d of PVC in the blend decreased with the loading of the PA 20 and the wood sawdust. Scanning electron microscopy (SEM) was used to observe the phase morphology of the blends. It was found that the better phase dispersion and smaller particle size of LDPE of the polymer blends with the PA 20 compatibilizer were obtained. In addition, T_g of PVC decreased in the PVC/LDPE (100/10) blends with and without the CPE and Elvaloy[®] compatibilizers.

When PA 20 was used, T_g of PVC was very close to that of neat PVC. Besides, tensile and flexural moduli of the composites increased as sawdust contents were increased but tensile, flexural and impact strengths decreased. Slight improvement in mechanical properties was achieved if PA 20 was incorporated in the composites.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยการได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำวิจัยในครั้งนี้จาก ผศ.ดร. จุฑารัตน์ ประญาวรากร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ ในความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และได้ให้คำแนะนำและแก้ไขในการทำวิจัยให้ประสบความสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหาในบางจุดเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ ซึ่งมีส่วนให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยไปด้วยดี

ขอขอบคุณน้องๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ ด้วยดีตลอดมา นอกจากนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีและ คุณประเสริฐ สัมฤทธิ์วนิชชา ที่สนับสนุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) ในความอนุเคราะห์ให้ PVC Compound และบริษัทไทยพอลิเอทิลีน จำกัด ในความอนุเคราะห์ให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวจิราภรณ์ คำศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
รายการคำย่อ.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 พอลิเมอร์ผสม.....	4
2.1.1 วัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม.....	4
2.1.2 คำจำกัดความเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสม.....	5
2.1.3 ความสามารถในการละลายเข้ากันได้และความสามารถในการผสมเข้ากันได้.....	6
2.1.4 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม.....	6
2.1.5 กระบวนการตัดแปรพอลิเมอร์ผสมให้เข้ากันได้.....	8
2.2 คอมโพสิต.....	10
2.2.1 องค์ประกอบหลักของคอมโพสิต.....	10
2.2.1.1 ส่วนเสริมแรง.....	10
2.2.1.2 เมทริกซ์.....	11
2.2.2 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต.....	11
2.2.3 การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิต.....	12
2.3 เส้นใยไม้.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 องค์ประกอบของเส้นใยไม้.....	14
2.3.1.1 เซลลูโลส.....	14
2.3.1.2 เฮมิเซลลูโลส.....	15
2.3.1.3 ลิกนิน.....	15
2.3.1.4 สารอินทรีย์อื่นๆ.....	17
2.3.1.5 สารอนินทรีย์.....	17
2.3.2 ไม้ยางพารา.....	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	26
3.3 วิธีการทดลอง.....	29
3.3.1 ศึกษาวิธีการผสมและอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE.....	29
3.3.2 ศึกษาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE โดยใช้สารช่วยผสมชนิด CPE.....	30
3.3.3 ศึกษาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE โดยใช้สารช่วยผสม CPE, PA 20 และ Elvaloy®	31
3.3.4 การเตรียมคอมโพสิตระหว่างพอลิเมอร์ผสมและขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา.....	31
3.3.4.1 การเตรียมขี้เลื่อย.....	31
3.3.4.2 ขั้นตอนการทำพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	32
3.4 วิธีการตรวจวิเคราะห์และการทดสอบ.....	34
3.4.1 การตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต.....	34
3.4.1.1 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	34
3.4.1.2 ¹³ C – NMR.....	34
3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	34
3.4.2.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด.....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2.2 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ.....	36
3.4.2.3 ความแข็งแรงกระแทก.....	37
3.4.3 สันฐานวิทยา.....	38
3.4.4 สมบัติทางความร้อน.....	39
3.4.4.1 อุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature, T_d).....	39
3.4.4.2 Differential scanning calorimeter (DSC).....	39
3.4.4.3 การศึกษาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว.....	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	41
4.1 ผลการศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE.....	41
4.1.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม.....	41
4.1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม.....	43
4.1.3 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เทคนิค Solid-State ^{13}C -NMR	45
4.1.4 สมบัติเชิงกล.....	46
4.1.4.1 การศึกษาวิธีการผสมของพอลิเมอร์ผสมและผลของปริมาณ LDPE ต่อสมบัติเชิงกลของ PVC.....	46
4.1.4.2 ผลของสารช่วยผสมต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม.....	51
4.1.5 การศึกษาสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE.....	64
4.1.5.1 การศึกษาสันฐานวิทยาของ PVC และพอลิเมอร์ผสม.....	64
4.1.5.2 การศึกษาสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม....	65
4.1.6 การศึกษาอุณหภูมิในการสลายตัวของ PVC 100 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับ PVC ในพอลิเมอร์ผสม.....	67
4.1.7 การศึกษาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ PVC.....	69
4.1.8 การศึกษาอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสม.....	69
4.1.8.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวของ LDPE.....	70
4.1.8.2 อุณหภูมิการตกผลึกของ LDPE.....	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ผลการศึกษาสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิตระหว่างพอลิเมอร์ผสมและซีลี้อยจาก	
ไม้ยางพารา.....	71
4.2.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของคอมโพสิตของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงและไม่ได้	
ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม.....	71
4.2.2 สมบัติของคอมโพสิตระหว่างพอลิเมอร์ผสมและซีลี้อยจากไม้ยางพารา.....	73
4.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของคอมโพสิต.....	79
4.2.3.1 ลักษณะการกระจายตัวของซีลี้อยในพอลิเมอร์ผสม.....	79
4.2.3.2 ลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาคของซีลี้อยและพอลิเมอร์ผสม.....	80
4.2.4 การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของ PVC ในคอมโพสิตระหว่างพอลิเมอร์ผสม	
และซีลี้อยจากไม้ยางพารา.....	81
4.2.5 การศึกษาอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของ LDPE	
ในคอมโพสิตระหว่างพอลิเมอร์ผสมและซีลี้อยจากไม้ยางพารา.....	82
4.2.5.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวของ LDPE.....	82
4.2.5.2 อุณหภูมิการตกผลึกของ LDPE.....	82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	84
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	84
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	85
เอกสารอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีและข้อเสียของพอลิเมอร์.....	4
2.2 พอลิเมอร์ผสมและสารช่วยผสมในทางการค้า.....	10
2.3 ข้อดีและข้อเสียของพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	12
2.4 ตัวอย่างการใช้งานวัสดุคอมโพสิต.....	13
2.5 ส่วนประกอบต่างๆ ของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง.....	14
3.1 ส่วนประกอบของ PVC Compound.....	24
3.2 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	24
3.3 สมบัติของคลอรีเนเตดพอลิเอทิลีน (CPE 135A).....	25
3.4 สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเมทิลเมทาไครเลตและบิวทิลอะไครเลต (PA-20).....	25
3.5 สมบัติทั่วไปของพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและเมทิลอะไครเลต Elvaloy [®] 1125 AC.....	26
3.6 ส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้สำหรับพอลิเมอร์ผสม.....	29
3.7 ส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมด้วย CPE.....	30
3.8 ส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมด้วย CPE, PA 20 และ Elvaloy [®]	31
3.9 สูตรผสมต่างๆ ที่ใช้ในการทำคอมโพสิต.....	32
3.10 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	34
4.1 ตำแหน่งสเปกตรัมของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ LDPE.....	43
4.2 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม (PVC100 : LDPE10) เมื่อปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมในชนิดและปริมาณต่าง ๆ กัน.....	61
4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวของ PVC 100 เปอร์เซ็นต์ และ PVC ในพอลิเมอร์ผสม.....	67
4.4 ค่า T_g ของ PVC 100	69
4.5 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ LDPE.....	70
4.6 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปีและเอนทาลปีความเป็นผลึกของ LDPE.....	70
4.7 ตำแหน่งสเปกตรัมของคอมโพสิตระหว่างพอลิเมอร์ผสมและขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา.....	73
4.8 อุณหภูมิการสลายตัวของ PVC ในพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	81
4.9 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ LDPE.....	82
4.10 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปีและเอนทาลปีความเป็นผลึกของ LDPE.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม.....	7
2.2 ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม.....	8
2.3 พอลิเมอร์ผสมระหว่าง A และ B ที่เติมสารช่วยผสมแบบ (ก) พอลิเมอร์ร่วมแบบบดล๊อค และ (ข) พอลิเมอร์ร่วมแบบตอ่กิ่ง.....	9
2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	14
2.5 โครงสร้างของมอนอเมอร์ที่พบในเฮมิเซลลูโลส.....	15
2.6 โครงสร้างของมอนอเมอร์ในลิกนิน.....	16
2.7 โครงสร้างของลิกนินในไม้เนื้ออ่อน.....	16
3.1 ลักษณะชิ้นงานคัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ.....	35
3.2 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ.....	37
3.3 เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด.....	37
3.4 ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงกระแทก.....	38
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PVC 100 : LDPE 0 (ข) PVC 100 : LDPE 10.....	42
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PVC 100 : LDPE 10 (ข) PVC 100 : LDPE 10 : CPE 15 % (ค) PVC 100 : LDPE 10 : PA 20 15% (ง) PVC 100 : LDPE 10 : Elvaloy [®] 15 %.....	44
4.3 ¹³ C-NMR สเปกตรัมของ PVC 100 : LDPE 10.....	45
4.4 ผลของปริมาณ LDPE ต่อสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PVC / LDPE (ก) มอดุลัส (ข) ความแข็งแรงดึง และ (ค) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด.....	47
4.5 ผลของปริมาณ LDPE ต่อสมบัติด้านการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม PVC / LDPE (ก) มอดุลัสโค้งงอ และ (ข) ความแข็งแรงโค้งงอ.....	49
4.6 ผลของปริมาณ LDPE ต่อสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PVC / LDPE.....	50
4.7 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PVC / LDPE โดยใช้สารช่วยผสมชนิด CPE (ก) มอดุลัส (ข) ความแข็งแรงดึง และ (ค) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด.....	52
4.8 สมบัติด้านการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม PVC / LDPE โดยใช้สารช่วยผสมชนิด CPE (ก) มอดุลัสโค้งงอและ (ข) ความแข็งแรงโค้งงอ.....	54
4.9 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PVC / LDPE โดยใช้สารช่วยผสมชนิด CPE.....	55
4.10 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PVC100 : LDPE10 และสารช่วยผสม 3 ชนิด (ก) มอดุลัส (ข) ความแข็งแรงดึง และ (ค) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด.....	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 สมบัติด้านการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม PVC100 : LDPE10 และสารช่วยผสม 3 ชนิด	
(ก) มอดุลัสโค้งงอ และ (ข) ความแข็งแรงโค้งงอ.....	59
4.12 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PVC100 : LDPE10 และสารช่วยผสม 3 ชนิด.....	60
4.13 กลไกของอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PVC100 : LDPE10 และ	
สารช่วยผสม 3 ชนิด (ก) CPE (ข) PA 20 และ (ค) Elvaloy [®]	64
4.14 พื้นผิวแตกหักของ (ก) PVC (500X) (ข) PVC (1500X) (ค) PVC100 : LDPE10	
(500X) และ (ง) PVC100 : LDPE10 (1500X).....	65
4.15 พื้นผิวแตกหักของ PVC100 : LDPE10 โดยใช้สารช่วยผสม 3 ชนิด (ก) CPE 15%	
(500X) (ข) CPE 15% (1500X) (ค) PA 20 15% (500X) (ง) PA 20 15% (1500X)	
(จ) Elvaloy [®] 15% (500X) และ (ฉ) Elvaloy [®] 15% (1500X).....	66
4.16 กลไกการเกิดการถ่ายโอนอนุมูลอิสระระหว่างกระบวนการผสม.....	68
4.17 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PVC100 : LDPE10 : PA 20 15% (ข) PVC100 : LDPE10 : SD10%	
(ค) PVC100 : LDPE10 : SD 50% (ง) PVC100 : LDPE10 : SD10% : PA 20 15%	
(จ) PVC100 : LDPE10 : SD50% : PA 20 15%.....	72
4.18 ผลของปริมาณขี้เลื่อยต่อสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมคอมโพสิต	
(ก) มอดุลัสความแข็งแรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง และ (ค) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด.....	75
4.19 ผลของปริมาณขี้เลื่อยต่อสมบัติด้านการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมคอมโพสิต	
(ก) มอดุลัสโค้งงอ และ (ข) ความแข็งแรงโค้งงอ.....	77
4.20 ผลของปริมาณขี้เลื่อยต่อสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมคอมโพสิต.....	78
4.21 สันฐานวิทยาของคอมโพสิตที่กำลังขยาย 50 เท่า (ก) PVC100 : LDPE10 : SD10	
(ข) PVC100 : LDPE10 : PA 20 15 : SD10 (ค) PVC100 : LDPE10 : SD50 และ	
(ง) PVC100 : LDPE10 : PA 20 15 : SD50.....	79
4.22 สันฐานวิทยาของคอมโพสิตที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก) PVC100 : LDPE10 : SD10	
(ข) PVC100 : LDPE10 : PA 20 15% : SD10 (ค) PVC100 : LDPE10 : SD50	
(ง) PVC100 : LDPE10 : PA 20 15% : SD50.....	80
4.21 สันฐานวิทยาของคอมโพสิตที่กำลังขยาย 50 เท่า.....	79
4.22 สันฐานวิทยาของคอมโพสิตที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	80
ก.1 เทอร์โมแกรมของ PVC และ พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน PVC100 : LDPE 10.....	91

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.2 เทอร์โมแกรมของ PVC พอลิเมอร์ผสม PVC100:LDPE 10 และ PVC100:LDPE10:CPE.....	91
ก.3 เทอร์โมแกรมของ PVC พอลิเมอร์ผสม PVC100 : LDPE10 และ PVC100 : LDPE10 : PA 20....	92
ก.4 เทอร์โมแกรมของ PVC พอลิเมอร์ผสม PVC100 : LDPE10 และ PVC100 :LDPE10 :Elvaloy [®] ...	92
ก.5 เทอร์โมแกรมของ PVC และพอลิเมอร์ผสม PVC100 : LDPE10 ที่ใช้สารช่วยผสมชนิดต่างๆ.....	93
ก.6 เทอร์โมแกรมของคอมโพสิตของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด PA20 โดยใช้ปริมาณร้อยละ 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม.....	93
ก.7 เทอร์โมแกรมของคอมโพสิตของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด PA 20 โดยใช้ปริมาณร้อยละ 50 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม.....	93
ก.8 อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก LDPE.....	94
ก.9 อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสม.....	95
ก.10 อุณหภูมิการเกิดผลึกของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสม.....	95
ก.11 อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของ LDPE ในคอมโพสิต คือ PVC100 : LDPE10 : SD10.....	96
ก.12 อุณหภูมิการเกิดผลึกของ LDPE ในคอมโพสิต คือ PVC100 : LDPE10 : SD10 : PA 20.....	96
ก.13 อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของ LDPE ในคอมโพสิต คือ PVC100 : LDPE10 : SD50.....	97
ก.14 อุณหภูมิการเกิดผลึกของ LDPE ในคอมโพสิต คือ PVC100 : LDPE10 : SD50 : PA 20.....	97
ก.15 ค่า T_g ของ PVC 100%.....	98
ก.16 ค่า T_g ของ PVC ใน PVC 100 : LDPE 10.....	98
ก.17 ค่า T_g ของ PVC ใน PVC 100 :LDPE 10 :CPE 15%.....	99
ก.18 ค่า T_g ของ PVC ใน PVC 100 :LDPE 10 :PA 20 15%.....	99
ก.19 ค่า T_g ของ PVC ใน PVC 100 :LDPE 10 :Elvaloy [®] 15%.....	100

รายการคำย่อ

ABS	acrylonitrile- butadiene-styrene
ASA	acrylonitrile-styrene- acrylate
E-B-GMA	ethylene-butylacrylate- glycidyl methylacrylate
EBA	ethylene-butylacrylate
EEA	ethylene-ethylacrylate
EMA	ethylene-methacrylate
EPDM	Ethylene-propylene-diene-terpolymer
EVOH	ethylene vinyl alcohol copolymer
HIPS	high impact polystyrene
LCP	liquid crystal polymer
MA	maleic anhydride
PA	polyamide (nylon)
PBT	poly(butylene terephthalate)
PC	Polycarbonate
PE	Polyethylene
PET	poly(ethylene terephthalate)
PMMA	poly(methyl methacrylate)
PP	Polypropylene
PPE	polyphenylene ether
PPO	polyphenylene oxide
PS	Polystyrene
PVA	polyvinyl acetate
PVC	polyvinyl chloride
SAN	styrene acrylonitrile
SBC	styrenic block copolymer
SBS	styrene-butadiene- styrene
SEBS	styrene-ethylene- butylene-styrene
SIS	styrene-isoprene-styrene