

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	

1	บทนำ.....	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3	แนวคิดงานวิจัย.....	2
1.4	ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและการประยุกต์ใช้.....	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1	กระบวนการนำ PVC กลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่.....	5
2.1.1	กระบวนการเชิงกล.....	5
2.1.2	กระบวนการใช้ความร้อน.....	5
2.1.3	กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี.....	6
2.2	พอลิไวนิลคลอไรด์ [Poly(vinyl chloride), PVC].....	6
2.2.1	การผลิตไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์.....	7
2.2.2	กระบวนการสังเคราะห์พอลิไวนิลคลอไรด์.....	7
2.2.3	โครงสร้างและสมบัติของ PVC.....	9
2.2.4	การเสื่อมสภาพของ PVC.....	13
2.2.5	สารเติมแต่ง (Additives).....	19
2.3	พอลิเอทิลีน [Polyethylene, PE].....	20
2.3.1	โครงสร้างและสมบัติของ PE.....	20
2.3.2	กระบวนการสังเคราะห์พอลิเอทิลีน.....	22
2.3.3	การเสื่อมสภาพทางความร้อนของ PE.....	23

บทที่	หน้า
2.4 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสม.....	26
2.4.1 ความหมายของพอลิเมอร์ผสม.....	26
2.4.2 ความสำคัญของการทำพอลิเมอร์ผสม.....	26
2.4.3 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม.....	28
2.5 รายงานผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	37
3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	37
3.2 การออกแบบการทดลอง.....	38
3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบในรูปแบบเม็ดคอมปาวด์.....	42
3.4 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เป็นแผ่น.....	44
3.5 วิธีการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม.....	46
3.5.1 อุณหภูมิสลายตัว.....	46
3.5.2 สมบัติต้านทานแรงดึง.....	47
3.5.3 สมบัติทนแรงกระแทก.....	48
3.5.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค.....	49
3.5.5 การตรวจสอบค่า Yellowness (b*).....	49
3.5.6 การตรวจสอบค่า Polyene Index.....	50
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	53
4.1 สมบัติทางความร้อน.....	54
4.1.1 อิทธิพลของดัชนีการไหลของ LDPE และอุณหภูมิในการอัดรีดที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ.....	54
4.1.2 อิทธิพลของความเร็วยรอบสกรูของเครื่องอัดรีดที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ.....	66
4.1.3 อิทธิพลของชนิด PE และอุณหภูมิของการอัดรีดที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ PE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ.....	69
4.2 สมบัติเชิงกล.....	77
4.2.1 อิทธิพลของดัชนีการไหลของ LDPE และอุณหภูมิในการอัดรีดที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ....	77

4.2.2	อิทธิพลของความเร็วรอบสกรูเครื่องอัดรีดที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ ผสมระหว่างPVC และ LDPE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ.....	89
4.2.3	อิทธิพลของชนิด PE และอุณหภูมิของการอัดรีดที่มีต่อสมบัติเชิงกลของ พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC และ PE เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดซ้ำ.....	92
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	101
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	101
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	103
	บรรณานุกรม.....	104
	ภาคผนวก ก.....	109
	ภาคผนวก ข.....	111
	ประวัติผู้วิจัย.....	113

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักโมเลกุล, K-Valueและความหนืดดั้งเดิม ของ PVC.....	12
2.2	ลักษณะเฉพาะของชนิดพอลิเอทิลีน.....	21
2.3	ชนิดพอลิเมอร์ผสมที่นิยมใช้ทางการค้า.....	27
3.1	แหล่งที่มาของเม็ดพลาสติก PE เกรดต่างๆ.....	38
4.1	อุณหภูมิสลายตัวของ PVC/LDPE (5g/10 min) ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF.....	64
4.2	อุณหภูมิสลายตัวของ LDPE ที่ผ่านการอัดรีดแล้ว 1 รอบ.....	64
4.3	อุณหภูมิสลายตัวของ PVC/HDPE (5g/10 min) ที่ปริมาณ HDPE 5 phr ที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย THF.....	76

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ขั้นตอนของกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของ VCM..... 8
2.2	ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ PVC..... 10
2.3	กลไกการหลอมตัวของ PVC..... 11
2.4	โครงสร้างและค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมในโมเลกุลของ PVC..... 14
2.5	แสดงตำแหน่งที่มีการแตกตัวของพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอน กับคลอรีนในโมเลกุลของ PVC..... 14
2.6	กลไกการจัดไฮโดรเจนคลอไรด์ แบบอนุมูลอิสระ..... 15
2.7	กลไกการจัดไฮโดรเจนคลอไรด์ แบบคู่ประจุ..... 16
2.8	การสลายตัวของพอลิอิน (a) การขาดออกของสายโซ่ PVC บริเวณพอลิอิน และ (b) การเชื่อมโยงโมเลกุล (cross-link)..... 17
2.9	การเกิดปฏิกิริยา Thermooxidative เป็นแบบ five or six-membered cyclic peroxides..... 18
2.10	ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ PE..... 21
2.11	โครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงของ LDPE เมื่อผ่านกระบวนการขึ้นรูป..... 25
2.12	การแบ่งประเภทของพอลิเมอร์ผสม..... 28
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทั่วไปกับสัดส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสม ประเภท Miscible..... 29
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทั่วไปกับสัดส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสม ประเภท Immiscible..... 30
3.1	เม็ดพลาสติก PVC คอมปาวด์ เกรดเป่าขวด (B0504BLA)..... 37
3.2	แฟ้มผังแสดงการดำเนินงานส่วนที่ 1..... 39
3.3	แฟ้มผังแสดงการดำเนินงานส่วนที่ 2..... 40
3.4	แฟ้มผังแสดงการดำเนินงานส่วนที่ 3..... 41
3.5	เครื่อง High speed mixer..... 42
3.6	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ของบริษัท HAKKE Co., Ltd. (Germany)..... 43
3.7	ตัวอย่างของเม็ดที่ผ่านการผสมจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่..... 44

3.8	เครื่องบดลูกกลิ้งคู่และเครื่องอัดแผ่นขึ้นรูปร้อนของบริษัท Lab Tech Engineering จำกัด.....	45
3.9	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงและความทนแรงกระแทก.....	45
3.10	เครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA) ของบริษัท Perkin Elmer.....	46
3.11	เครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท LLOYD Instruments.....	47
3.12	เครื่อง Impact Pendulum Tester ของบริษัท ZWICK.....	48
3.13	แกนสามมิติแสดงระดับของสีแต่ละเฉด.....	49
3.14	เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth.....	50
3.15	เครื่อง Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR) ของบริษัท Nicolet.....	50
4.1	แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปและอุณหภูมิของ neat PVC และ PVC/LDPE (5 g/ 10min) ที่ปริมาณ LDPE 5 phr เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดรอบที่ 5	54
4.2	อุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC และ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	58
4.3	อุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC และ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 20g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	59
4.4	อุณหภูมิสลายตัวของ neat PVC และ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 43g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย(a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	60
4.5	Infrared spectrum ของ neat PVC ที่ผ่านการอัดรีด (a) 1 รอบ และ (b) 5 รอบ ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย 210 °C.....	61
4.6	ค่าดัชนีพอลิอิน ของ neat PVC และ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10 min) ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	62
4.7	ค่าความเหลืองของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 5g/10 min) ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	63
4.8	ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE (MFI 5g/10min) ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย 180 °C เมื่อผ่านการอัดรีดรอบที่ 3.....	64

4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ Derivative และอุณหภูมิของ Residue ที่เหลือจากการละลายในตัวทำละลาย THF ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 160 °C.....	65
4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ Derivative และอุณหภูมิของ Residue ที่เหลือจากการละลายในตัวทำละลาย THF ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) ที่ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 160 °C.....	65
4.11	อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr ณ ความเร็วรอบสกรูของเครื่องอัดรีด 100 rpm และ 40 rpm.....	67
4.12	(a) ค่าดัชนีพอลิอิน (Polyene index) (b) ค่าความเหลือง (Yellowness, b*) ของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10 min) blends มีปริมาณ LDPE 5 phr ณ ความเร็วรอบสกรูของเครื่องอัดรีด 100 rpm และ 40 rpm.....	68
4.13	อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10min) และใน PVC/HDPE (MFI 5g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	71
4.14	อุณหภูมิสลายตัวของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 20g/10min) และใน PVC/HDPE (MFI 5g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	72
4.15	ค่าดัชนีพอลิอินของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 5g/10 min) และ ใน PVC/HDPE (MFI 5g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	73
4.16	ค่าดัชนีพอลิอินของ PVC ใน PVC/LDPE (MFI 20g/10 min) และ ใน PVC/HDPE (MFI 20g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	74
4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ Derivative และอุณหภูมิของ Residue ที่เหลือจากการละลายในตัวทำละลาย THF ของ PVC/HDPE (MFI 5g/10min) ที่ปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 160 °C.....	76
4.18	Young's Modulus ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	78
4.19	Young's Modulus ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวตาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	79

4.20	Young's Modulus ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 43 g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	80
4.21	Ultimate Tensile Stress ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	81
4.22	Ultimate Tensile Stress ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	82
4.23	Ultimate Tensile Stress ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 43 g/10min) ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C	83
4.24	Impact Strength ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) ณ อุณหภูมิ ของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	85
4.25	Impact Strength ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) ณ อุณหภูมิ ของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	86
4.26	Impact Strength ของ neat PVC และ PVC/LDPE (MFI 43 g/10min) ณ อุณหภูมิ ของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	87
4.27	ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PVC/LDPE (MFI 5g/10min) ปริมาณ LDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวคาย 210 °C (a) เมื่อผ่านการอัดรีดรอบที่ 1 (b) รอบที่ 3 และ (c) รอบที่ 5.....	88
4.28	Young's Modulus ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) ความเร็วรอบสกรู ของเครื่องอัดรีด (a) 100 rpm และ (b) 40 rpm.....	89
4.29	Ultimate Tensile Stress ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) ความเร็วรอบสกรู ของเครื่องอัดรีด (a) 100 rpm และ (b) 40 rpm.....	90
4.30	Impact Strength ของ PVC/LDPE (MFI 5g/10min) blends ความเร็วรอบสกรู ของเครื่องอัดรีด (a) 100 rpm และ (b) 40 rpm.....	91
4.31	Young's Modulus ของ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) มีปริมาณ LDPE 5 phr และ PVC/HDPE (MFI 5 g/10min) มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของ เครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	93
4.32	Young's Modulus ของ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) มีปริมาณ LDPE 5 phr และ PVC/HDPE (MFI 20 g/10min) มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของ เครื่องอัดรีดที่หัวคาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C.....	94

- 4.33 Ultimate Tensile Stress ของ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) มีปริมาณ LDPE 5 phr
และ PVC/HDPE (MFI 5 g/10min) มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของ
เครื่องอัดรีดที่หัวดาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C..... 95
- 4.34 Ultimate Tensile Stress ของ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) มีปริมาณ LDPE 5 phr
และ PVC/HDPE (MFI 20 g/10min) มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของ
เครื่องอัดรีดที่หัวดาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C..... 96
- 4.35 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณ PE 5 phr
ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่หัวดาย 210 °C เมื่อผ่านการอัดรีดรอบที่ 5
(a) PVC/LDPE (MFI 5) (b) PVC/HDPE (MFI 5)..... 97
- 4.36 Impact Strength ของ PVC/LDPE (MFI 5 g/10min) มีปริมาณ LDPE 5 phr
และ PVC/HDPE (MFI 5 g/10min) มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของ
เครื่องอัดรีดที่หัวดาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C..... 98
- 4.37 Impact Strength ของ PVC/LDPE (MFI 20 g/10min) มีปริมาณ LDPE 5 phr
และ PVC/HDPE (MFI 20 g/10min) มีปริมาณ HDPE 5 phr ณ อุณหภูมิของ
เครื่องอัดรีดที่หัวดาย (a) 160 °C (b) 180 °C และ (c) 210 °C..... 99
- 4.38 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PVC/HDPE ณ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่
หัวดาย 210 °C (a) HDPE (MFI 5) ที่ผ่านการอัดรีดรอบที่ 1 (b) HDPE (MFI 5)
ผ่านการอัดรีดรอบที่ 5 (c) HDPE (MFI 20) ที่ผ่านการอัดรีดรอบที่ 1 และ
(d) HDPE (MFI 20) ผ่านการอัดรีดรอบที่ 5..... 100