สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	3
2. ทฤษฎี	4
2.1 ยางธรรมชาติ	4
2.2 พอลิอะคริโลไนไตรล์	4
2.3 การปรับปรุงทางเคมีของยางธรรมชาติ	5
2.3.1 ประเภท	5
2.3.2 ความว่องไวทางเคมีทั่วไป	5
2.4 การกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน	6
2.5 การพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ	8
2.5.1 อัตราเร็วของการพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ	8
2.5.2 ขั้นการเริ่มต้น	12
2.6 กระบวนการอีมัลชันพอลิเมอไรเซชัน	16
2.6.1 ประโยชน์	16
2.6.2 ส่วนประกอบ และหน้าที่	16
2.6.3 กลไกของการพอลิเมอไรเซชัน	18
2.6.4 อัตราเร็วในการพอลิเมอไรเซชัน	18

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

2.6.5 ตัวแปรอื่นๆ 18
2.7 ปฏิกรณ์แบบกึ่งแบทช์ 21
3. การตรวจเอกสาร 24
4. วิธีการดำเนินการทดลอง 38
4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 38
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 39
4.3 วิธีการดำเนินการทดลอง 39
4.3.1 การกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของอะคริโลไนไตรล์ บนยางธรรมชาติ โดยวิธีอีมัลชัน 39
4.3.2 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ 45
4.3.3 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา 46
4.3.4 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น 47
4.3.5 การศึกษาขนาดของอนุภาคและการกระจายของอนุภาค ของน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ 48
4.3.6 การศึกษาการทนน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลาย ไม่มีขั้วของกราฟต์โคพอลิเมอร์ 49
4.3.7 การศึกษาสมบัติด้านการดึงยืดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ 49
4.3.8 การศึกษาจลนพลศาสตร์และกลไกปฏิกิริยาของการกราฟต์ โคพอลิเมอไรเซชัน 50
5. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 51
5.1 การเปรียบเทียบการหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน (%Conversion) ที่ได้จากวิธีทาง High performance liquid chromatography (HPLC technique) กับที่ได้จากวิธีการชั่ง (Gravity technique) 51
5.2 การศึกษาการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของอะคริโลไนไตรล์ บนยางธรรมชาติ (AN-g-NR) 52
5.2.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนที่อัตราส่วนโมล ของ NR/AN = 93/7 และ 90/10. 52
5.2.2 ประสิทธิภาพการกราฟต์ (Grafting Efficiency) ที่ได้จากการกราฟต์ 54

สารบาญ (ต่อ)

		หน้า
	โคพอลิเมอร์ ที่อัตราส่วนโมลของ NR/AN = 97:3 และ 90/10	
5.2.3	สเปกตรัมจากการศึกษาทางสเปคโตรสโคปี ด้วยเครื่อง Furier transfrom infrared spectroscopy (FITR) ของกราฟต์ โคพอลิเมอร์ ที่อัตราส่วนโมลของ NR/AN=93/7 และ 90/10	55
5.3	การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN หรือความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ มอนอเมอร์	58
5.3.1	ผลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN ต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน (%Conversion)	58
5.3.2	ผลของความเข้มข้นของ AN มอนอเมอร์ ต่อสมบัติการกราฟต์	60
5.4	การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา	64
5.4.1	ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา ต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน (%Conversion)	64
5.4.2	ผลของอุณหภูมิ ต่อสมบัติการกราฟต์	65
5.5	การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น (Initiator)	69
5.5.1	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน	69
5.5.2	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นกับสมบัติการกราฟต์	71
5.6	การศึกษาขนาดของอนุภาคและการกระจายของอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์	76
5.6.1	อิทธิพลของมอนอเมอร์	76
5.6.2	อิทธิพลของตัวเริ่มต้น	76
5.6.3	ผลของอุณหภูมิ	78
5.7	การศึกษาการทนทานต่อน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว	80
5.7.1	ผลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN	80
5.7.2	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น	81
5.7.3	ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา	82
5.9	การศึกษาสมบัติด้านการทนต่อแรงดึง	83

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
5.9.1 ผลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN	83
5.9.2 ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น	84
5.9.3 ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา	84
5.10 การศึกษาจลศาสตร์และกลไกของปฏิกิริยา	85
5.10.1 อัตราเร็วในการโพลิเมอไรเซชัน	85
5.10.2 กลไกของปฏิกิริยา	89
5.10.3 การแปรความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์มอนอเมอร์	94
5.10.5 การแปรความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น	97
5.10.3 การแปรอุณหภูมิของปฏิกิริยา	99
6. สรุปผลการทดลอง	102
ข้อเสนอแนะ	104
บรรณานุกรม	105
ภาคผนวก	110
ก-ระบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งแบทช์สำหรับการพอลิเมอไรเซชัน	110
ข-เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR spectroscopy)	112
ค-เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)	115
ง-เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายอนุภาค	118
จ-การทดสอบการดึงยืด	121
ฉ-การทดสอบการทนน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายไม่มีขั้ว	127
ช-Calibration curve สำหรับการหาค่าความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์มอนอเมอร์	128
ซ-HPLC chromatogram	129
ประวัติผู้เขียน	130

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	องค์ประกอบของสูตร GR-S สำหรับกระบวนการอีมัลชันพอลิเมอไรเซชันของ สไตรีน-บิวตะไดอีน	16
4.1	ส่วนประกอบของสารละลายมอนอเมอร์	40
4.2	ส่วนประกอบของสารเคมีในถังปฏิกรณ์หลัก	40
4.3	สูตรของสารเคมีในถังปฏิกรณ์และถังมอนอเมอร์	46
4.4	สภาวะที่ใช้ในการพอลิเมอไรเซชัน	46
4.5	สูตรเคมีของการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ	47
4.6	สภาวะของการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน	47
4.7	สูตรของสารเคมีที่ใช้ในถังปฏิกรณ์และถังมอนอเมอร์	48
4.8	สภาวะของการพอลิเมอไรเซชัน	48
5.1	ประสิทธิภาพการกราฟต์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนโมล NR/AN=93/7 และ 90/10	54
5.2	ปฏิกิริยาที่ผลต่ออนุมูลอิสระต่างๆในการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน	90
จ-1	ขนาดของชิ้นตัวอย่าง	124

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
2.1	อะตอมไฮโดรเจนที่ว่องไวบนยางธรรมชาติ	5
2.2	เหตุของพอลิไอโซพรีนของยางธรรมชาติมีความว่องไว	6
2.3	รูปอย่างง่ายของกระบวนการอีมัลชันพอลิเมอไรเซชัน	18
2.4	ปฏิกรณ์แบบกึ่งแบทช์	21
5.1	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน ของอัตราส่วนโมลของ NR/AN=93/7 ที่อุณหภูมิ 50^{0}C	51
5.2	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน ของอัตราส่วนโมลของ NR/AN=90/10 ที่อุณหภูมิ 50^{0}C	52
5.3	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนกับเวลาการทำปฏิกิริยา ของอัตราส่วนโมลของ NR/AN=93/7 และ90/10 ที่อุณหภูมิ 50^{0}C	53
5.4	ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ ที่อัตราส่วนโมลของNR/AN=90/10 และอุณหภูมิของปฏิกิริยา=50^{0}C	54
5.5	สเปกตรัมที่ได้จาก FTIR ของ (ก) ยางธรรมชาติ (ข) กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนโมล NR/AN=93/7 (ค) กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนโมล NR/AN=90/10	56
5.6	การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน (HPLC technique) ตามเวลาของอัตราส่วนโมล NR/AN ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50^{0}C	58
5.7	การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา กับความเข้มข้นของ AN มอนอเมอร์เริ่มต้น	59
5.8	ผลของความเข้มข้นของ AN มอนอเมอร์ ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์	60
5.9	ผลของความเข้มข้นของ AN มอนอเมอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพการกราฟต์	61
5.10	สเปกตรัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนโมลของ NR/AN ต่างๆ (ก) NR/AN= 95/5 (ข) NR/AN=93/7 (ค) NR/AN=90/10 (ง) NR/AN=85/15	63
5.11	ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสุดท้าย โดยใช้อัตราส่วนโมลของ NR/AN = 90/10	64
5.12	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์	65

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
5.13	ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของอัตราส่วนโมล NR/AN=90/10	66
5.14	สเปกตรัมจาก FTIR ของอัตราส่วนโมลของ NR/AN = 90/10 ที่อุณหภูมิ (ก) 30°C (ข) 40°C (ค) 50°C (ง) 55°C	68
5.15	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน กับเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่ความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นต่างๆ	69
5.16	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสุดท้าย	70
5.17	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์	71
5.18	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์	72
5.19	สเปกตรัมจาก FTIR ของอัตราส่วนโมลของ NR/AN = 90/10 ที่อุณหภูมิ 50°C โดยที่ [I] = (ก) 0.009 (ข) 0.016 (ค) 0.022 และ (ง) 0.031 โมล/ลิตร	74
5.20	ผลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN ที่มีต่อขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (μm)	76
5.21	ผลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN ที่มีต่อการกระจายของอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์	76
5.22	ลักษณะการกราฟต์ของอะคริโลไนไตรล์บนยางธรรมชาติ	77
5.23	ผลของตัวเริ่มต้นที่มีต่อขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (μm)	77
5.24	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น ที่มีต่อการกระจายของขนาดอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์	77
5.25	ผลของตัวเริ่มต้นที่มีต่อขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (μm)	78
5.26	ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา ที่มีต่อการกระจายของขนาดอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์	79
5.27	เปอร์เซ็นต์การบวมพอง ในน้ำมันดีเซล และโทลูอีนของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ที่มีอัตราส่วนโมลต่างๆ โดยแช่นาน 24 ชั่วโมง	80

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
5.13	ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของอัตราส่วนโมล NR/AN=90/10	66
5.14	สเปกตรัมจาก FTIR ของอัตราส่วนโมลของ NR/AN = 90/10 ที่อุณหภูมิ (ก) 30°C (ข) 40°C (ค) 50°C (ง) 55°C	68
5.15	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน กับเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่ความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นต่างๆ	69
5.16	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสุดท้าย	70
5.17	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์	71
5.18	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์	72
5.19	สเปกตรัมจาก FTIR ของอัตราส่วนโมลของ NR/AN = 90/10 ที่อุณหภูมิ 50°C โดยที่ [I] = (ก) 0.009 (ข) 0.016 (ค) 0.022 และ (ง) 0.031 โมล/ลิตร	74
5.20	ผลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN ที่มีต่อขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (μm)	76
5.21	ผลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN ที่มีต่อการกระจายของอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์	76
5.22	ลักษณะการกราฟต์ของอะคริโลไนไตรล์บนยางธรรมชาติ	77
5.23	ผลของตัวเริ่มต้นที่มีต่อขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (μm)	77
5.24	ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้น ที่มีต่อการกระจายของขนาดอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์	77
5.25	ผลของตัวเริ่มต้นที่มีต่อขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (μm)	78
5.26	ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา ที่มีต่อการกระจายของขนาดอนุภาคของกราฟต์โคพอลิเมอร์	79
5.27	เปอร์เซ็นต์การบวมพอง ในน้ำมันดีเซล และโทลูอีนของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ที่มีอัตราส่วนโมลต่างๆ โดยแช่นาน 24 ชั่วโมง	80

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

5.28 เปอร์เซ็นต์การบวมพอง (Swelling percentage) ในน้ำมันดีเซล และโทลูอีน ที่ความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นต่างๆ โดยแช่นาน 24 ชั่วโมง 81

5.29 เปอร์เซ็นต์การบวมพองในน้ำมันดีเซล และโทลูอีน ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยแช่นาน 24 ชั่วโมง 82

5.30 ผลของอัตราส่วนโมลของ NR/AN ที่มีต่อ 300%โมดูลัส 83

5.31 ผลของความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นที่มีต่อ 300% โมดูลัส 84

5.32 ผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยา (^{0}C) ที่มีต่อ 300% โมดูลัส 84

5.33 อัตราเร็วของการโพลิเมอไรเซชันกับเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่างๆ 85

5.34 อัตราเร็วของการโพลิเมอไรเซชันกับเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่ความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นต่างๆ 86

5.35 อัตราเร็วในการโพลิเมอไรเซชันในตอนท้ายปฏิกิริยา ที่ความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นต่างๆ 87

5.36 อัตราเร็วของการโพลิเมอไรเซชันกับเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาต่างๆ 88

5.37 อัตราเร็วของการโพลิเมอไรเซชันสุดท้าย ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาต่างๆ 89

5.38 อัตราเร็วในการพอลิเมอไรเซชันที่ความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์ต่างๆ 95
(ก) 0.25 โมล/ลิตร (ข) 0.41 โมล/ลิตร
(ค) 0.52 โมล/ลิตร (ง) 0.81 โมล/ลิตร

5.39 ค่าของ *A* ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของมอนอเมอร์ 96

5.40 อัตราเร็วในการพอลิเมอไรเซชันที่ความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นต่างๆ 98
(ก) 0.009 โมล/ลิตร (ข) 0.016 โมล/ลิตร
(ค) 0.022 โมล/ลิตร (ง) 0.031 โมล/ลิตร

5.41 อัตราเร็วในการพอลิเมอไรเซชันที่ความเข้มข้นของตัวเริ่มต้นต่างๆ 100
(ก) 30^{0}C (ข) 40^{0}C (ค) 50^{0}C (ง) 55^{0}C

ก-1 ระบบถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการพอลิเมอไรเซชัน 110

ก-2 แผนผังของระบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งแบทช์ 111

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
ข-1	ระบบของ Fourier transform infrared spectroscopy รุ่น IR ผลิตโดย Shimadzu Co. Ltd.	112
ข-2	ชุด Variable angle ATR (VATR)	113
ข-3	ผลึก KRS-5	114
ค-1	เครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC)	115
ค-2	แผนผังการทำงานของเครื่อง HPLC	116
ง-1	เครื่อง Mastersizer รุ่น Hydro 2000MU	118
จ-1	เครื่องทดสอบการดึงยืด (Tensile machine)	122
จ-2	เครื่องอัดแม่พิมพ์	123
จ-3	แม่พิมพ์สำหรับการทดสอบการดึงยืด	123
จ-4	ชิ้นทดสอบดัมเบล	124
ฉ-1	Calibration curve สำหรับหาความเข้มข้นของอะคริโลไนไตรล์มอนอเมอร์	128
ช-1	HPLC Chromatogram	129