สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ..... I

บทคัดย่อ..... II

บทที่

1. บทนำ

1.1 บทนำ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปริมาณการผลิตยาง..... 5

2.2 น้ำยางสด..... 5

2.2.1 สมบัติของน้ำยางสด..... 5

2.2.2 ส่วนประกอบของน้ำยาง..... 6

2.3 น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ..... 6

2.4 ปริมาณเจลในยางธรรมชาติ..... 7

2.5 การลดน้ำหนักโมเลกุลในยางธรรมชาติ..... 9

2.6 วิธีลดน้ำหนักโมเลกุลโดยใช้สารเคมีในยางธรรมชาติ..... 10

2.6.1 การดีพอลิเมอไรซ์ยางธรรมชาติ..... 10

2.6.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการลดน้ำหนักโมเลกุลในยางโดยการพอลิเมอไรซ์ 14

2.7 ความหนืดของยางธรรมชาติ..... 19

2.7.1 ความหนืดของยางดิบ..... 19

2.7.2 สาเหตุของการเพิ่มความหนืด..... 20

2.7.3 การใช้สารควบคุมความหนืดในยางธรรมชาติ..... 23

2.7.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารควบคุมความหนืดในยางธรรมชาติ..... 24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3.	**วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการวิจัย**	
	3.1 วัสดุ	27
	3.2 อุปกรณ์	29
	3.3 วิธีดำเนินการ	38
	3.3.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยทางกล	38
	3.3.2 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยการใช้สารเคมี	38
	3.3.3 การทดสอบสมบัติของยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ	42
	3.3.4 การศึกษาโครงสร้างของยางด้วยเครื่อง FTIR และ ^{1}H-NMR	47
	3.3.5 การศึกษาผลของเวลาการเก็บต่อสมบัติของยาง	47
	3.3.6 การทดสอบสมบัติของยางดิบ	48
	3.3.7 การทดสอบการไหลของยางด้วยเครื่อง Capillary Extrusion Rheometer	50
	3.3.8 การทดสอบพลังงานในการผสมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์	51
	3.3.9 ลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง	51
	3.3.10 การทดสอบการกระจายตัวของเขม่าดำด้วยเครื่องวัดการกระจายตัวของเขม่าดำในพอลิเมอร์	53
	3.3.11 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง	50
	3.3.12 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ	54
	3.3.13 การทดสอบ Compression set	54
	3.3.14 การทดสอบความแข็ง	54
	3.3.15 การทดสอบการกระเด้งตัวแบบเยิรสเลย์	55
	3.3.16 การทดสอบความทนทานต่อการหักงอแบบ De Mattia	55
	3.3.17 การขยายระดับการผลิต	56
	3.3.18 การแปรรูปโดยกระบวนการ Extrusion	57
	3.3.19 การแปรรูปโดยการรีดแผ่นด้วยเครื่องรีดแผ่นยาง Calender	57
4.	**ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล**	
	4.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยทางกล	58
	4.2 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยการใช้สารเคมี	65

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4.2.1	การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์	65
4.2.2	การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	71
4.2.3	การใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต	74
4.2.4	การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต	77
4.2.5	การใช้ไนโตรเบนซีน	85
4.2.6	การใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	89
4.2.7	การใช้สารย่อยยาง	93
4.3	การศึกษาโครงสร้างของยางที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล	99
4.4	ผลของเวลาการเก็บยางต่อสมบัติของยางดิบ	105
4.5	สมบัติของยางดิบ	115
4.6	สมบัติการไหลของยาง	116
4.7	การทดสอบพลังงานในการผสมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์	119
4.8	ลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง	123
4.9	การขยายระดับการผลิตและสมบัติของยาง	129
4.10	การทดลองผลิตและถ่ายทอดเทคนิควิธีการผลิตไปสู่อุตสาหกรรม	145
5.	**สรุปผลการวิจัย**	
5.1	สรุป	146
5.2	ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย	148
บรรณานุกรม		149
ภาคผนวก		152
(ก)	การทำกราฟมาตรฐานของฮัลดีไฮด์ เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณอัลดีไฮด์ในยางธรรมชาติ	153
(ข)	การหาปริมาณ Crosslink density ในยางธรรมชาติโดยการแช่น้ำมัน	154
(ค)	ผลงานที่เสนอในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร	156

รายการตาราง

ตาราง หน้า

2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด..... 5

2.2 ปัจจัยที่ทำให้ความหนืดของยางเพิ่มขึ้น..... 19

3.1 สูตรการเตรียมสารย่อยยาง 50% Dispersion..... 42

3.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่า relative viscosity, specific viscosity และ inherent viscosity..... 43

3.3 สูตรยางตามมาตรฐาน ASTM D3184-89..... 52

4.1 ความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลของยางเมื่อบดด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง..... 58

4.2 ความอ่อนตัว ดัชนีความอ่อนตัว ปริมาณเจล และปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อบดด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง..... 61

4.3 สมบัติของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์ 0.5 phr เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ 65

4.4 สมบัติของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโซเดียมไนไตรท์ เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 69

4.5 สมบัติของยางเมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 71

4.6 สมบัติของยางเมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 1 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ 74

4.7 สมบัติของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 phr ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.10 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ 77

4.8 สมบัติของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 80

4.9 สมบัติของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 83

4.10 สมบัติของยางเมื่อใช้ไนโตรเบนซีนในปริมาณและเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ 85

4.11 สมบัติของยางเมื่อใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... 89

4.12 สมบัติของยางเมื่อใช้สารย่อยยางปริมาณ 1 phr 93

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

4.13 ความหนืดมูนนี่และความอ่อนตัวของยางธรรมชาติดิบเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาเก็บต่างๆ และเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงภายใน 90 วัน 105

4.14 ความหนืดมูนนี่ของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงภายใน 90 วัน..... 108

4.15 น้ำหนักโมเลกุลของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงภายใน 90 วัน..... 109

4.16 ความอ่อนตัวของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงภายใน 90 วัน 111

4.17 ปริมาณเจลของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงภายใน 90 วัน..... 112

4.18 ปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงภายใน 90 วัน 114

4.19 สมบัติของยางดิบ..... 115

4.20 ความเค้นเฉือนที่อัตราเฉือนต่างๆ ของยางชนิดต่างๆ 116

4.21 ความหนืดเฉือนที่อัตราเฉือนต่างๆ ของยางชนิดต่างๆ..... 117

4.22 สมบัติของยางดิบเมื่อบดเป็นเวลา 10 นาที..... 119

4.23 สมบัติของยางคอมปาวด์เมื่อผสมเป็นเวลา 10 นาที..... 119

4.24 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางชนิดต่างๆ 123

4.25 สมบัติทางฟิสิกส์ของยางธรรมชาติ..... 124

4.26 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางชนิดต่างๆ หลังจากเก็บไว้ 150 วัน..... 125

4.27 สมบัติทางฟิสิกส์ของยางชนิดต่างๆ หลังจากเก็บไว้ 150 วัน..... 127

4.28 การจัดอันดับเอกซ์ทรูด ด้วยระดับตัวเลขและตัวอักษร 136

4.29 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางลดน้ำหนักโมเลกุลเปรียบเทียบกับยางชนิดต่างๆ 138

รายการรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติอายุต่างๆ กัน..... 7

2.2 ปริมาณเจลและปริมาณอัลดีไฮด์ในยางธรรมชาติเมื่อระยะเวลากรีดเพิ่มขึ้น 8

2.3 ผลของเวลาบดต่อน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ..... 11

2.4 ประสิทธิภาพของการบดยาง..... 11

2.5 การแตกตัวของสารจากแสงอุลตราไวโอเลต..... 12

2.6 กลไกการเกิดโฟโตเคมิคอลจากอนุมูลของไฮดรอกซิล..... 13

2.7 กลไกการเกิด Ozone decomposition..... 14

2.8 การเกิดการดีพอลิเมอไรซ์ยางธรรมชาติโดยการเติมไนโตรเบนซีน..... 15

2.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของยางธรรมชาติเมื่อใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับออกซิเจน 16

2.10 ปฏิกิริยาที่คาดว่าเกิดขึ้นเมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตร่วมกับโพรพานอล 18

2.11 ปฏิกิริยาของสารควบคุมความหนืด..... 24

3.1 เครื่องวัดความอ่อนตัวของยาง..... 30

3.2 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง..... 31

3.3 เครื่องวัดความหนืดของยาง..... 32

3.4 เครื่องเซนตริฟิวจ์..... 32

3.5 เครื่องวัดน้ำหนักโมเลกุล..... 33

3.6 เครื่องวัดสมบัติการไหลของยาง..... 34

3.7 เครื่องวัดการกระจายตัวของเขม่าดำในพอลิเมอร์..... 34

3.8 ถังกวนน้ำยางขนาด 20 กิโลกรัม..... 35

3.9 ถังกวนน้ำยางขนาด 200 ลิตร 37

3.10 ถังกวนน้ำยางขนาด 1000 ลิตร..... 37

3.11 ลำดับการเติมสารเคมีในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ
ในรูปน้ำยางสด..... 39

4.1 ความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อบดด้วยเครื่อง
ผสมยางสองลูกกลิ้งที่ระยะเวลาต่างๆ 59

4.2 โมเลกุลของยางธรรมชาติเมื่อผ่านการบด..... 60

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 ความอ่อนตัวและดัชนีความอ่อนตัวของยางเมื่อบดด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งที่ระยะเวลาต่างๆ 61

4.4 ปริมาณเจลและปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อบดด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งที่ระยะเวลาต่างๆ 63

4.5 การเกิดออกซิเดชั่นของยางเมื่อผ่านการบด..... 64

4.6 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ 1.0 phr ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์ 0.5 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 66

4.7 ปริมาณเจลและอัลดีไฮด์ของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 phr ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์ 0.5 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 66

4.8 ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์..... 68

4.9 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยางจากอนุมูลอิสระ..... 68

4.10 ลักษณะและสีของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr. ร่วมกับโซเดียมไนไตรท์ 0.5 phr..... 68

4.11 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโซเดียมไนไตรท์ เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 69

4.12 ปริมาณเจลและอัลดีไฮด์ของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโซเดียมไนไตรท์ เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 70

4.13 ความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 72

4.14 ปริมาณเจลและปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 72

4.15 ลักษณะและสีของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr..... 73

4.16 ความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 1 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 75

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 ปริมาณเจลและปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 1 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 75

4.18 ลักษณะและสีของยางเมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์วัลเฟต 1 phr..... 76

4.19 ความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.10 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 78

4.20 ปริมาณเจลและปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.10 phr ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 78

4.21 ลักษณะและสีของยางเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 phr ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.10 phr 79

4.22 ความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 81

4.23 ปริมาณเจลและปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 81

4.24 ความหนืดมูนนี่และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 83

4.25 ปริมาณเจลและปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อแปรปริมาณระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง..... 84

4.26 ความหนืดมูนนี่ของยางเมื่อใช้ไนโตรเบนซีนในปริมาณต่างๆ..... 86

4.27 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อใช้ไนโตรเบนซีนในปริมาณต่างๆ..... 86

4.28 ปริมาณเจลของยางเมื่อใช้ไนโตรเบนซีนในปริมาณต่างๆ..... 87

4.29 ปริมาณอัลดีไฮด์ยางเมื่อใช้ไนโตรเบนซีนในปริมาณต่างๆ..... 87

4.30 ลักษณะและสีของยางเมื่อใช้ไนโตรเบนซีน 0.62 phr 88

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.31 ความหนืดมูนนี่ของยางเมื่อใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณต่างๆ 90

4.32 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณต่างๆ 90

4.33 ปริมาณเจลของยางเมื่อใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณต่างๆ 91

4.34 ปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณต่างๆ 91

4.35 ลักษณะและสีของยางเมื่อใช้ฟีนิลไฮดราซีน 0.72 phr ร่วมกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.17 phr 92

4.36 ความหนืดมูนนี่ของยางเมื่อใช้สารย่อยยางปริมาณ 1 phr 94

4.37 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อใช้สารย่อยยางปริมาณ 1 phr 94

4.38 ปริมาณเจลของยางเมื่อใช้สารย่อยยางปริมาณ 1 phr 95

4.39 ปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อใช้สารย่อยยางปริมาณ 1 phr 95

4.40 ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใช้สารย่อยยาง..... 97

4.41 ลักษณะและสีของยางเมื่อใช้ MBTS 1phr 98

4.42 FTIR spectra ของยางธรรมชาติ (STR 5L)..... 99

4.43 FTIR spectra ของยาง STR 5L บด 5 นาที..... 99

4.44 FTIR spectra ของยางที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.02 phr ร่วมกับ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.10 phr 100

4.45 FTIR spectra ของยางที่ใช้ MBTS 1 phr 100

4.46 ^{1}H-NMR ของยางธรรมชาติ (STR 5L) 101

4.47 ^{1}H-NMR ของยาง STR 5L บด 5 นาที..... 101

4.48 ^{1}H-NMR ของยางที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.02 phr ร่วมกับ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8.10 phr..... 102

4.49 ^{1}H-NMR ของยางที่ใช้ MBTS 1 phr..... 102

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.50	^{1}H-NMR ของยางจากการ Degradation ของ DPNR-AE ในโทลูอีน ร่วมกับ $Co(acac)_2$ 1 phr	103
4.51	^{1}H-NMR ของยาง DPNR ที่ใช้ดพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 1 phr ร่วมกับโพรพานอล 15 phr ที่ 60 °C	103
4.52	ความหนืดมูนนี่และความอ่อนตัวของยางธรรมชาติดิบ เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 90 วัน	106
4.53	ความหนืดมูนนี่ของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ	108
4.54	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ	110
4.55	ความอ่อนตัวของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ	111
4.56	ปริมาณเจลของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ	113
4.57	ปริมาณอัลดีไฮด์ของยางเมื่อเก็บเป็นระยะเวลาต่างๆ	114
4.58	ความเค้นเฉือนที่อัตราเฉือนต่างๆ ของยางชนิดต่างๆ	117
4.59	ความหนืดเฉือนที่อัตราเฉือนต่างๆ ของยางชนิดต่างๆ	118
4.60	แรงบิดของยางชนิดต่างๆ เมื่อบดเป็นเวลา 10 นาที	120
4.61	พลังงานของยางชนิดต่างๆ เมื่อบดเป็นเวลา 10 นาที	120
4.62	แรงบิดของยางคอมปาวด์เมื่อผสมสารเคมีเป็นเวลา 10 นาที	121
4.63	พลังงานของยางคอมปาวด์เมื่อผสมสารเคมีเป็นเวลา 10 นาที	121
4.64	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางชนิดต่างๆ	123
4.65	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางชนิดต่างๆ หลังจากเก็บไว้ 150 วัน	126
4.66	การกระจายตัวของเขม่าดำในยางชนิดต่างๆ	128
4.67	น้ำหนักโมเลกุลเพื่อเปรียบเทียบความแปรปรวนในการเตรียมแต่ละครั้ง	129
4.68	ความหนืดมูนนี่เพื่อเปรียบเทียบความแปรปรวนในการเตรียมแต่ละครั้ง	130
4.69	ความอ่อนตัวเริ่มต้นและดัชนีความอ่อนตัวในการเตรียมแต่ละครั้ง	130
4.70	ขั้นตอนการผลิตยางควบคุมน้ำหนักโมเลกุลและความหนืด	131
4.71	ความหนืดมูนนี่ของยางต่างๆตามระยะเก็บ	132
4.72	ดัชนีความอ่อนตัวของยางต่างๆตามระยะเวลาเก็บ	132
4.73	แสดงค่าทอร์คของการบดยางดิบเป็นเวลา 10 นาที	133

4.74 พลังงานของการบดยางดิบเป็นเวลา 10 นาที..... 134

4.75 ค่าทอร์คของยางระหว่างการผสมสารเคมีในยาง..... 134

4.76 พลังงานระหว่างการผสมสารเคมีในยาง..... 135

4.77 ลักษณะของผิวยางและมุมของยางที่ผ่านการเอกซ์ทรูด..... 135

4.78 ลักษณะของแผ่นยาง STR5L และยางลดน้ำหนักโมเลกุลที่ผ่านการ calender..... 137

4.79 ลักษณะของแผ่นยาง IR และยาง STR CV 50 ที่ผ่านการ calender..... 137

4.80 ค่า 300% Modulus (MPa) ก่อนและหลังบ่มเร่งที่ 70^0 C นาน 72 ชม..... 139

4.81 ค่า Tensile strength (MPa) ก่อนและหลังบ่มเร่ง..... 139

4.82 ค่า % Elongation at break ก่อนและหลังบ่มเร่ง..... 140

4.83 ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอของยาง..... 141

4.84 ค่า Compression set ของยางที่ลดน้ำหนักโมเลกุลเปรียบเทียบกับยางชนิดต่างๆ.... 142

4.85 ความแข็ง (Shore A) ของยาง ที่ลดน้ำหนักโมเลกุลเปรียบเทียบกับยางชนิดต่างๆ.... 142

4.86 ค่า Yerzley resilience และ Yerzley hysteresis ของยาง 143

4.87 ค่าความต้านทานต่อการหักงอของยาง..... 144