

## สารบัญ

1. บทที่ 1: บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. บทที่ 2: เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ยางธรรมชาติ.....	3
2.1.1 โครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติ.....	3
2.1.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ .....	4
2.2 การตัดแปลงทางเคมีของโมเลกุลยางธรรมชาติ.....	5
2.2.1 การตัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติโดยการจัดเรียงพันธะเคมีใหม่ ...	6
2.2.2 การตัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติโดยเพิ่มหมู่เคมีบนโมเลกุล.....	7
2.2.3 การตัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติด้วยปฏิกิริยาการเกาะติด.....	8
2.3 การตัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติด้วยปฏิกิริยาการเกาะติดกับสารต้านออกซิเดชัน .....	9
2.4 ยางธรรมชาติอีพอกไซค์.....	16
2.4.1 ลักษณะทางเคมีของปฏิกิริยาอีพอกไซเดชัน.....	16
2.4.2 การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซค์.....	17
2.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซค์ในยางธรรมชาติอีพอกไซค์.....	17
2.4.4 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซค์.....	19
2.4.5 การคอมเปาต์และการวัลคาไนซ์.....	20
2.4.6 สมบัติเชิงฟิสิกส์.....	20
2.5 การเสื่อมสภาพของยาง .....	22
2.5.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลยาง.....	22
2.5.2 การป้องกันการเสื่อมสภาพของโมเลกุลยาง.....	25
2.6 สารต้านออกซิเดชัน .....	26
2.6.1 สารประกอบเอมีนและอนุพันธ์.....	27
2.6.2 สารประกอบฟีนอลและอนุพันธ์.....	34
2.6.3 ผลสรุปประสิทธิภาพของสารต้านออกซิเดชัน.....	34
2.6.4 สารต้านออกซิเดชันชนิดถาวร.....	35

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
3. บทที่ 3: สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	37
3.1 สารเคมี.....	37
3.2 อุปกรณ์.....	39
3.3 วิธีการทดลอง.....	45
3.3.1 ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์.....	45
3.3.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณหมู่อิพอกไซด์ในยางธรรมชาติอิพอกไซด์ด้วย เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR).....	45
3.3.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณหมู่อิพอกไซด์ในยางธรรมชาติอิพอกไซด์ด้วย เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี ( <sup>1</sup> H-NMR)..	46
3.3.2 ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติเกาะติดสารต้านออกซิเดชัน 4-ADPA ...	47
3.3.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของปริมาณการเกาะติดของสารต้าน ออกซิเดชัน 4-ADPA บนโมเลกุลยางธรรมชาติ .....	47
3.3.2.2 การเตรียมยางธรรมชาติเกาะติดสารต้านออกซิเดชัน 4-ADPA.	47
3.3.2.3 การหาปริมาณการเกาะติดของสารต้านออกซิเดชัน 4-ADPA บนโมเลกุลยางธรรมชาติ.....	48
3.3.2.4 การหาปริมาณเจล (Gel content).....	48
3.3.3 ศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติเกาะติดสาร 4-ADPA ที่ไม่มีสารวัลคาไนซ์	48
3.3.3.1 ทดสอบค่าความต้านทานต่อการถูกออกซิไดซ์ของยาง ธรรมชาติ (Plasticity Retention Index).....	48
3.3.3.2 ทดสอบความเหนียว.....	49
3.3.3.3 ทดสอบสมบัติเชิงความร้อน.....	49
3.3.4 ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติเกาะติดสาร 4-ADPA โดยการผสมสารเคมี ชนิดต่างๆในยางธรรมชาติที่เกาะติดสารต้านออกซิเดชัน .....	49
3.3.5 ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ 30 โมลเปอร์เซ็นต์อิพอกไซด์ (ENR-30) ที่ใช้ 4-ADPA เป็นสารต้านออกซิเดชันผสมโดยตรงโดยวิธีปกติ...	50
3.4 วิธีการทดสอบ.....	
3.4.1 การทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ .....	51
3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	51

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.3 การทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness).....	53
3.4.4 การทดสอบการผิดรูปจากการอัด (Compression set) .....	53
3.4.5 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อความร้อน.....	53
4. บทที่ 4: ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	55
4.1 การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซต์ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซต์ 30% (ENR-30) ...	55
4.2 การเตรียมยางธรรมชาติเกาะติดสารต้านออกซิเดชัน 4-ADPA .....	58
4.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของปริมาณการเกาะติดของสารต้านออกซิเดชัน 4-ADPA บนโมเลกุลยางธรรมชาติ .....	58
4.2.2 การหาปริมาณการเกาะติดของสารต้านออกซิเดชัน 4-ADPA บน โมเลกุลยางธรรมชาติ.....	63
4.2.3 การหาปริมาณเจล (Gel content).....	64
4.3 สมบัติของยางธรรมชาติเกาะติดสาร 4-ADPA ที่ไม่มีสารวัลคาไนซ์.....	65
4.3.1 ทดสอบค่าความต้านทานต่อการถูกออกซิไดซ์ของยางธรรมชาติ.....	65
4.3.2 ทดสอบค่าความหนืดมูนนี้.....	66
4.3.3 ทดสอบสมบัติเชิงความร้อน.....	67
4.4 สมบัติการวัลคาไนซ์ NR-bound-4-ADPA, ยางธรรมชาติ (NR) และ ยางธรรมชาติอิพอกไซต์ (ENR30) ผสมกับสารต้านออกซิเดชัน 4-ADPA โดยตรงแบบวิธีปกติ.....	69
4.4.1 การทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์.....	69
4.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	71
4.4.3 การทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness).....	74
4.4.4 การทดสอบการผิดรูปจากการอัด (Compression set).....	76
4.4.5 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อความร้อน.....	77
บทที่ 5: สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	82
เอกสารอ้างอิง.....	83