

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| สารบัญ..... | (6) |
| รายการตาราง..... | (8) |
| รายการภาพประกอบ..... | (9) |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 บทนำตั้งเรื่อง..... | 1 |
| 1.2 การตรวจเอกสาร..... | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์..... | 4 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 5 |
| 1.5 | 5 |
| ขอบเขตการวิจัย..... | |
| | |
| 2 ทฤษฎี..... | 7 |
| 2.1 ส่วนประกอบของยางคอมปาวด์..... | 8 |
| 2.2 ลักษณะการวัลคาไนซ์..... | 16 |
| 2.3 สมบัติเชิงกล..... | 17 |
| 2.4 | 23 |
| สมบัติเชิงพลวัต..... | |
| | |
| 3 วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการวิจัย..... | 27 |
| 3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย..... | 27 |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... | 29 |
| 3.3 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย..... | 30 |
| 3.4 การเตรียมยางคอมโพสิต..... | 30 |
| 3.5 การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ สมบัติเชิงกล และเชิงพลวัต..... | 34 |
| 3.6 การเปรียบเทียบสมบัติกับยางที่เดิมด้วยเขม่าดำ..... | 42 |
| 4 ผลการทดลอง..... | 43 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 4.1 การเตรียมถ้ำลอยลิกไนต์..... | 43 |
| 4.2 การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์..... | 44 |
| 4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล..... | 46 |
| 4.4 การทดสอบสมบัติเชิงพลวัต..... | 67 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.5 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคถ้ำลอยลิกไนต์ในเนื้อเยื่อ..... | 73 |
| 4.6 การเปรียบเทียบสมบัติกับยางที่เติมด้วยเขม่าดำ..... | 77 |
| 5 สรุปผล..... | 80 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 80 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 82 |
| บรรณานุกรม..... | 83 |
| ภาคผนวก..... | 86 |
| ก | 87 |
| ผลการทดสอบแรงดึง..... | |
| | |
| ข ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด..... | 103 |
| ค ผลการทดสอบความแข็ง..... | 110 |
| ง ผลการทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ..... | 113 |
| จ กราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาคขนาดต่างๆ ของถ้ำลอยลิกไนต์..... | 120 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 123 |

รายการตาราง

| ตาราง | | หน้า |
|-------|--|------|
| 3.1 | การทดสอบสมบัติของยางแท่งที่ใช้ในงานวิจัย..... | 27 |
| 3.2 | การทดสอบสมบัติของน้ำยางชั้น 60% ชนิดแอมโมเนียสูงที่ใช้ในงานวิจัย..... | 27 |
| 3.3 | สูตรผสมของยางคอมโพสิตที่ใช้ในงานวิจัย..... | 28 |
| 3.4 | ระยะ “Running-in” และระยะเดินที่ต้องทดสอบจริงในการทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ..... | 40 |
| 4.1 | องค์ประกอบของถ้ำลอยลิกไนต์..... | 43 |
| 4.2 | ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของถ้ำลอยลิกไนต์ทั้ง 4 ขนาด..... | 44 |
| 4.3 | การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลระหว่างยางคอมโพสิตที่ไม่มีสารตัวเติม เติมด้วยถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดมาก และเติมด้วยเขม่าดำ..... | 77 |
| 5.1 | ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับยางคอมโพสิตที่เติมถ้ำลอยลิกไนต์..... | 82 |

รายการภาพประกอบ

| ภาพ | | หน้า |
|------|--|------|
| 2.1 | ปริมาณพันธะเชื่อมโยงกับเวลาของระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน..... | 9 |
| 2.2 | การเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง..... | 9 |
| 2.3 | การเกิดการเชื่อมขวางโมเลกุลของยางทั้ง 3 แบบ..... | 9 |
| 2.4 | การเปลี่ยนแปลงสมบัติของยางคอมปาวด์ เมื่อให้ความร้อนแก่ยาง..... | 17 |
| 2.5 | ขั้นตอนทดสอบสำหรับทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 412..... | 19 |
| 2.6 | ขั้นตอนทดสอบสำหรับทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดแบบพิมพ์ C พิมพ์ B และแบบซากางเกง..... | 21 |
| 2.7 | ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของยางกับระดับการเชื่อมขวาง..... | 22 |
| 2.8 | ตัวอย่างผลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อสมบัติเชิงพลวัตของยางคอมโพสิต..... | 26 |
| 3.1 | แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... | 31 |
| 3.2 | เครื่องบดสารเคมี (planetary ball mill)..... | 32 |
| 3.3 | เครื่องวัดขนาดอนุภาค..... | 32 |
| 3.4 | เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง..... | 33 |
| 3.5 | เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน..... | 33 |
| 3.6 | เครื่อง Moving Disc Rheometer (MDR)..... | 34 |
| 3.7 | ขั้นตอนทดสอบแบบดัมเบล ASTM D412 (Die C)..... | 35 |
| 3.8 | เครื่องตัดขั้นตอนทดสอบสำหรับทดสอบแรงดึง..... | 35 |
| 3.9 | เครื่องวัดความหนา..... | 36 |
| 3.10 | เครื่องทดสอบแรงดึง..... | 36 |
| 3.11 | ขั้นตอนทดสอบแบบมูม ASTM D 624 (Die C)..... | 38 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.12 | เครื่องตัดชั้นทดสอบสำหรับทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด..... | 38 |
| 3.13 | เครื่อง Durometer (Shore A)..... | 39 |
| 3.14 | ชั้นทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ..... | 39 |
| 3.15 | เครื่อง Akron abrader..... | 40 |
| 4.1 | เก้าอี้ลยลิกไนต์..... | 44 |
| 4.2 | ผลการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง..... | 45 |
| 4.3 | ผลของขนาดและปริมาณเก้าอี้ลยลิกไนต์ต่อความแข็งแรงดึง..... | 46 |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพ | | หน้า |
|------|--|------|
| 4.4 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความแข็งแรงดึง (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ที่รับมา)..... | 48 |
| 4.5 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความแข็งแรงดึง (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ละเอียด ปานกลาง)..... | 48 |
| 4.6 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความแข็งแรงดึง (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ละเอียดมาก) | 49 |
| 4.7 | ผลของขนาดและปริมาณเก้าอี้ลยลิกไนต์ต่อระยะยืดเมื่อขาด..... | 50 |
| 4.8 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อระยะยืดเมื่อขาด (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ที่รับมา)..... | 51 |
| 4.9 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อระยะยืดเมื่อขาด (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ละเอียดปานกลาง)..... | 51 |
| 4.10 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อระยะยืดเมื่อขาด (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ละเอียดมาก) | 52 |
| 4.11 | ผลของขนาดและปริมาณเก้าอี้ลยลิกไนต์ต่อมอดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะยืด 300%..... | 53 |
| 4.12 | ผลของขนาดและปริมาณเก้าอี้ลยลิกไนต์ต่อมอดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะยืด 500%..... | 53 |
| 4.13 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อมอดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะยืด 300% (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ที่รับมา)..... | 55 |
| 4.14 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อมอดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะยืด 500% (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ที่รับมา)..... | 55 |
| 4.15 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อมอดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะยืด 300% (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ละเอียดปานกลาง)..... | 56 |
| 4.16 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อมอดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะยืด 500% (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ละเอียดปานกลาง)..... | 56 |
| 4.17 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อมอดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะยืด 300% (กรณีของเก้าอี้ลยลิกไนต์ที่รับมา)..... | 56 |

| | | |
|------|---|----|
| | ลิกไนต์ละเอียดมาก)..... | 57 |
| 4.18 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อมอดูลัสยืดหยุ่นที่ระยะยืด 500% (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดมาก)..... | 57 |
| 4.19 | ปฏิริยาระหว่างสารกึ่งควบไซเลนและถ้ำลอยลิกไนต์ (บริเวณพื้นผิว)..... | 58 |
| 4.20 | ปฏิริยาระหว่างพื้นผิวที่ปรับปรุงแล้วของถ้ำลอยลิกไนต์และยางธรรมชาติ..... | 58 |
| 4.21 | ผลของขนาดและปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ต่อความต้านทานต่อการฉีกขาด..... | 59 |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพ | | หน้า |
|------|--|------|
| 4.22 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความต้านทานต่อการฉีกขาด (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ที่รับมา)..... | 60 |
| 4.23 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความต้านทานต่อการฉีกขาด (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดปานกลาง)..... | 61 |
| 4.24 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความต้านทานต่อการฉีกขาด (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดมาก)..... | 61 |
| 4.25 | ผลของขนาดและปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ต่อความแข็ง..... | 62 |
| 4.26 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความแข็ง (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ที่รับมา)..... | 63 |
| 4.27 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความแข็ง (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดปานกลาง) | 63 |
| 4.28 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อความแข็ง (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดมาก)..... | 64 |
| 4.29 | ผลของขนาดและปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ต่อค่าดัชนีการสึกหรอ..... | 65 |
| 4.30 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อค่าดัชนีการสึกหรอ (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ที่รับมา) | 66 |
| 4.31 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อค่าดัชนีการสึกหรอ (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดปานกลาง)..... | 66 |
| 4.32 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อค่าดัชนีการสึกหรอ (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดมาก)..... | 67 |
| 4.33 | ผลของปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ต่อค่ามอดูลัสสะสม..... | 68 |
| 4.34 | ผลของขนาดอนุภาคถ้ำลอยลิกไนต์ต่อค่ามอดูลัสสะสม..... | 68 |
| 4.35 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อค่ามอดูลัสสะสม (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ที่รับมา).... | 69 |
| 4.36 | ผลของสารกึ่งควบไซเลนต่อค่ามอดูลัสสะสม (กรณีของถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียด | |

| | |
|--|----|
| ปานกลาง)..... | 70 |
| 4.37 ผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อค่าตัวประกอบของการสูญเสีย..... | 71 |
| 4.38 ผลของขนาดอนุภาคเถ้าลอยลิกไนต์ต่อค่าตัวประกอบของการสูญเสีย (เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 10 phr)..... | 71 |
| 4.39 ผลของสารคู่ควบไซเลนต่อค่าตัวประกอบของการสูญเสีย (กรณีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่รับมา)..... | 72 |

.....

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพ | หน้า |
|---|------|
| 4.40 ผลของสารคู่ควบไซเลนต่อค่าตัวประกอบของการสูญเสีย (กรณีของเถ้าลอยลิกไนต์ละเอียดปานกลาง)..... | 73 |
| | |
| 4.41 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM ของยางคอมโพสิตที่ไม่มีสารตัวเติม..... | 74 |
| 4.42 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM ของยางคอมโพสิตที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่รับมา 10 phr... | 74 |
| 4.43 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM ของยางคอมโพสิตที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่รับมา 50 phr... | 75 |
| 4.44 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM ของยางคอมโพสิตที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ละเอียดมาก 50 phr..... | 75 |
| 4.45 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM ของยางคอมโพสิตที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ละเอียดมาก 50 phr และเติมสารคู่ควบไซเลนด้วย..... | 76 |
| 4.46 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM ของยางคอมโพสิตที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่รับมา 30 phr โดยใช้น้ำยางข้นในการเตรียมยางคอมโพสิต..... | 76 |
| 4.47 การเปรียบเทียบค่ามอดูลัสสะสมระหว่างยางคอมโพสิตที่เติมเขม่าดำและเติมเถ้าลอยลิกไนต์ละเอียดมาก..... | 78 |
| | |
| 4.48 การเปรียบเทียบค่าตัวประกอบของการสูญเสียระหว่างยางคอมโพสิตที่เติมเขม่าดำและเติมเถ้าลอยลิกไนต์ละเอียดมาก..... | 79 |