# บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 4.1 ผลการศึกษาการพัฒนาสูตรยางชั้นผิวหน้า

### 4.1.1 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารเสริมแรงต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ

การศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารเสริมแรง ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการเลือกใช้ชนิดและปริมาณของสารเสริมแรงในการทำผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ สารเสริมแรงที่ใช้ศึกษาคือ เขม่าดำเกรด N220, N330 และซิลิกาเกรด Hi-Sil 233 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารเสริมแรง แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

**ตารางที่ 4.1** สูตรยางที่ใช้ศึกษาผลของปริมาณเขม่าดำเกรด N220 และ N330 ต่อสมบัติทาง กายภาพของยางธรรมชาติ

| **Ingredient** | **Loading (phr[a])** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **CB-0** | **CB-10** | **CB-20** | **CB-30** | **CB-40** |
| RSS No.3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Sulphur | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Stearic acid | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Zinc Oxide | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| CBS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **(N220, N330)[b]** | **-** | **10** | **20** | **30** | **40** |
| 6PPD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Paraffin Wax | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Spindle Oil | 0 | 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.4 |

**หมายเหตุ** [a]phr: Parts per hundred of rubber

[b]สารเสริมแรง N220 และ N330 ใช้ในรูปของมาสเตอร์แบทช์

**ตารางที่ 4.2** สูตรยางที่ใช้ศึกษาผลของปริมาณซิลิกาเกรด Hi-Sil 233 ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ

| Ingredient | Loading (phr) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Hi-Sil 233-0** | **Hi-Sil 233-10** | **Hi-Sil 233-20** | **Hi-Sil 233-30** | **Hi-Sil 233-40** |
| RSS No.3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Sulphur | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Stearic acid | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Zinc oxide | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **Hi-Sil 233** | **-** | **10** | **20** | **30** | **40** |
| CBS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6PPD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Si-69 | - | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 |
| PEG | - | 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.4 |
| Paraffin wax | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Spindle oil | 0 | 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.4 |

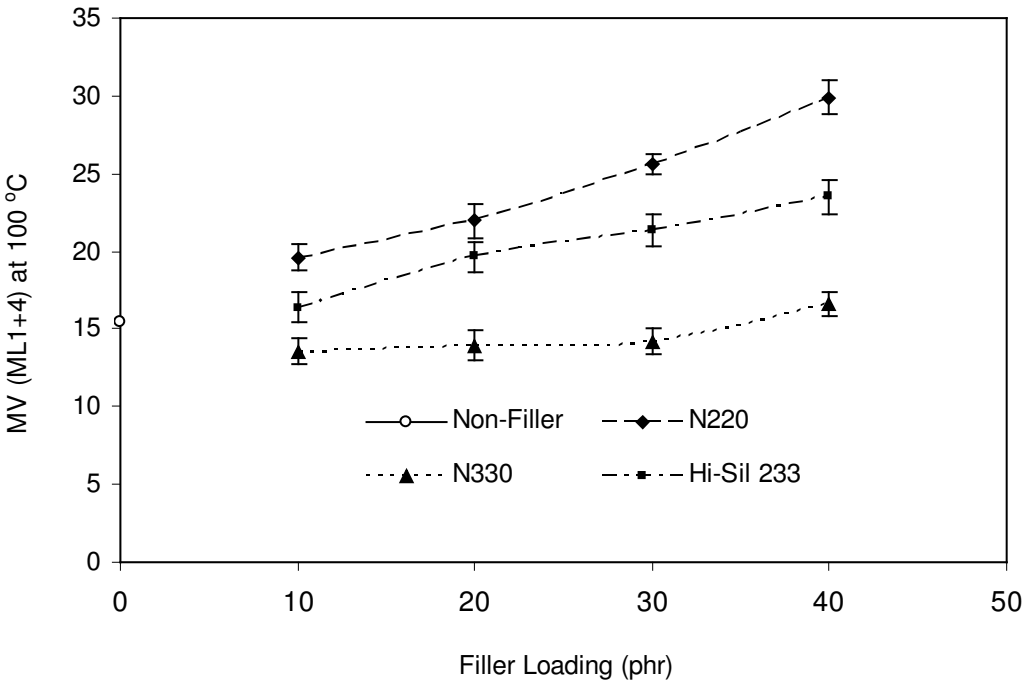
**หมายเหตุ** สารเสริมแรง Hi-Sil 233 ใช้ในรูปของมาสเตอร์แบทช์

#### 4.1.1.1 ผลการศึกษาความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์

ความหนืดของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233 แสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 เมื่อเพิ่มปริมาณสารเสริมแรงในปริมาณ 10 ถึง 40 phr พบว่าค่าความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณสารเสริมแรงที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความหนืดมูนนีของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220 > Hi-Sil 233 > N330 เมื่อเปรียบเทียบเขม่าดำด้วยกัน N220 จะให้ค่าความหนืดมูนนีสูงกว่า N330 ผลมาจากโครงสร้างของเขม่าดำ N220 สูงกว่า N330 (พรพรรณ, 2528) และสาเหตุที่ Hi-Sil 233 มีความหนืดสูงกว่า N330 คาดว่าเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคเล็กและความเป็นสารอนินทรีย์ของซิลิกาจึงส่งผลให้ยางมีความหนืดสูง ส่วนค่าความหนืดของยางคอมปาวด์ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปด้วยความยากลำบาก และสิ้นเปลืองพลังงานสูง

**ตารางที่ 4.3** ค่าความหนืดมูนนีของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220 330 และ Hi-Sil 233

| Filler Loading (phr) | ML1+4 (100 °C) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 15.46 ± 0.84 | 15.46 ± 0.84 | 15.46 ± 0.84 |
| 10 | 19.61 ± 0.79 | 13.57 ± 0.85 | 16.38 ± 0.98 |
| 20 | 21.94 ± 1.12 | 13.91 ± 0.96 | 19.63 ± 0.95 |
| 30 | 25.62 ± 0.68 | 14.21 ± 0.82 | 21.36 ± 1.08 |
| 40 | 29.91 ± 1.09 | 16.60 ± 0.78 | 23.52 ± 1.10 |




**รูปที่ 4.1** ค่าความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์ที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

#### 4.1.1.2 ผลการศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์

นำยางธรรมชาติคอมเปาวด์ที่เตรียมตามสูตรดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งเป็นยางคอมปาวด์ที่ผสมสารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233 ปริมาณ 10 ถึง 40 phr ไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง MDR 2000 ที่อุณหภูมิ 150 °C เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time ($t_{c90}$)) และ เวลายางคอมปาวด์สุกก่อนกำหนด (Scorch time ($t_{s2}$)) ที่อุณหภูมิ 150 °C ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 และรูปที่ 4.2

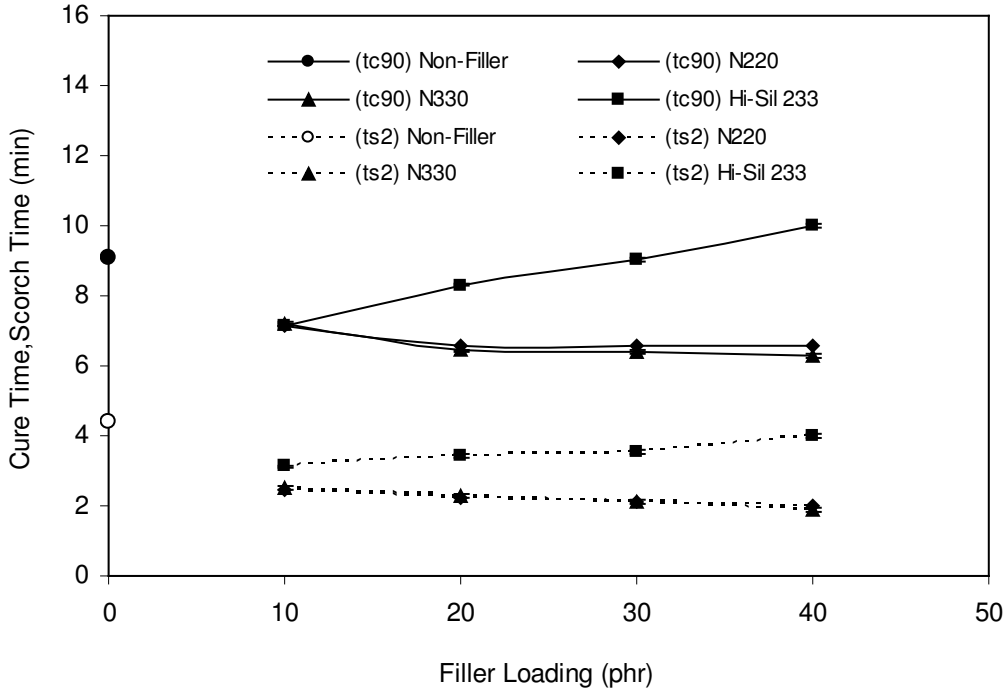
จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 และรูปที่ 4.2 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำทั้งเกรด N330 และ N220 จะมีค่า $t_{c90}$ และ $t_{s2}$ มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อใช้สารเสริมแรงชนิดซิลิกาเกรด Hi-Sil 233 พบว่าค่า $t_{c90}$ และ $t_{s2}$ มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องมาจากซิลิกามีฤทธิ์เป็นกรดส่งผลให้ค่า $t_{c90}$ และ $t_{s2}$ มีแนวโน้มสูงขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการเวลาในการวัลคาไนซ์ที่สั้น เพื่อประหยัดเวลาและพลังงาน และเวลายางคอมปาวด์สุกก่อนกำหนดเป็นเวลานานขึ้น เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตมีความปลอดภัยสูง

**ตารางที่ 4.4** เวลาการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233 ที่อุณหภูมิ 150 $^{o}$C

| Filler Loading (phr) | Cure time ($t_{c90}$) at 150 $^{o}$C (min) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 9.06 ± 0.06 | 9.06 ± 0.05 | 9.06 ± 0.06 |
| 10 | 7.12 ± 0.05 | 7.22 ± 0.06 | 7.17 ± 0.05 |
| 20 | 6.58 ± 0.06 | 6.43 ± 0.05 | 8.31 ± 0.05 |
| 30 | 6.56 ± 0.05 | 6.38 ± 0.05 | 9.04 ± 0.05 |
| 40 | 6.55 ± 0.05 | 6.29 ± 0.05 | 10.00 ± 0.06 |

**ตารางที่ 4.5** เวลายางคอมปาวด์สุกก่อนกำหนดของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรงชนิด N220 N330 และ Hi-Sil 233 ที่อุณหภูมิ 150 $^{o}$C

| Filler Loading (phr) | Scorch time ($t_{s2}$) at 150 $^{o}$C (min) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 4.38 ± 0.01 | 4.38 ± 0.01 | 4.38 ± 0.01 |
| 10 | 2.43 ± 0.05 | 2.52 ± 0.05 | 3.12 ± 0.04 |
| 20 | 2.25 ± 0.05 | 2.28 ± 0.06 | 3.43 ± 0.05 |
| 30 | 2.13 ± 0.06 | 2.13 ± 0.05 | 3.56 ± 0.05 |
| 40 | 2.02 ± 0.06 | 1.90 ± 0.06 | 4.02 ± 0.05 |




**รูปที่ 4.2** เวลาวัลคาไนซ์และเวลายางสุกก่อนกำหนดของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220 N330 และ Hi-Sil 233 ที่อุณหภูมิ 150 $^{o}$C

#### 4.1.1.3 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233 แสดงในตาราง 4.6 ถึง 4.11 และ รูปที่ 4.3 ถึง 4.8 พบว่าค่า ความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส ของยางธรรมชาติที่ใช้ N220 > N330 > Hi-Sil 233 ส่วนค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้ Hi-Sil 233 > N220 > N330 สารเสริมแรงชนิดเขม่าดำและซิลิกาเป็นสารเสริมแรงชนิดเสริมประสิทธิภาพ เพราะฉะนั้นการเพิ่มปริมาณสารเสริมแรงดังกล่าวส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส มีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณสารเสริมแรงจะไปลดความเป็นยางลงทำให้ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ลดต่ำลงจากการทดลองเมื่อใส่สารเสริมแรงเกิน 40 phr จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเนื่องจากความเข้ากันได้ของสารเสริมแรงกับยางธรรมชาติมีขีดจำกัด

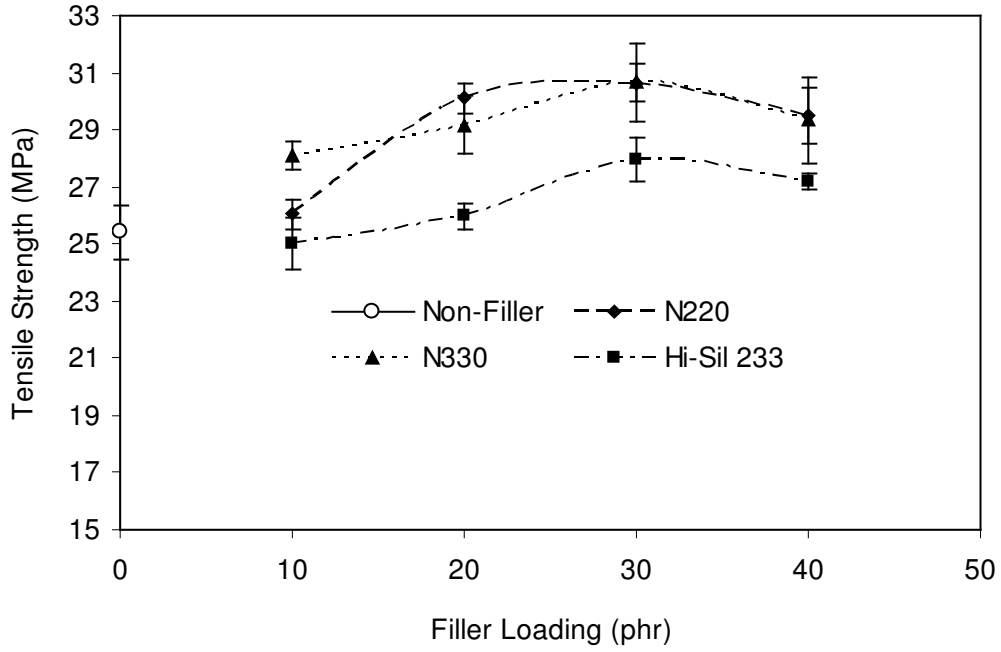
เหตุที่เขม่าดำเกรด N220 ทำให้ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อแรงดึง 300% มอดุลัส และ ระยะยืด ณ จุดขาด สูงกว่ายางธรรมชาติที่ผสมเขม่าดำเกรด N330 เป็นเพราะ N220 มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า N330 จึงส่งผลให้มีค่าดังกล่าวสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของแรงดึงระหว่างยางที่ใช้เขม่าดำกับซิลิกาพบว่าเขม่าดำจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส

สูงกว่าซิลิกา คาดว่าเป็นผลมาจากซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์เข้ากับยางซึ่งเป็นสารอินทรีย์ได้ยากกว่าเขม่าดำจึงส่งผลให้การเสริมแรงของซิลิกาด้อยกว่าเขม่าดำ และจากอนุภาคปฐมภูมิของซิลิกาจะรวมกลุ่มกันเป็นโครงสร้างปฐมภูมิในยางด้วยพันธะโควาเลนท์ ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงไม่สามารถถูกทำลายได้ในระหว่างการผสม และโครงสร้างปฐมภูมิยังสามารถเกาะกลุ่มกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ เกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิของซิลิกาด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อบดผสมทำให้การกระจายตัวในยางได้ไม่ดีซึ่งอนุภาคจะไปเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน (พงษ์ธร, 2548) ทำให้ในโครงสร้างของยางในส่วนที่อนุภาคของซิลิกากระจายไม่ถึงจะมีความเป็นยางมากส่งผลให้ยางมีค่าระยะยืด ณ จุดขาด สูงขึ้น แต่ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส ต่ำลง

สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งพบว่าค่า 300% มอดุลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N330 มีค่าสูงกว่า N220 และ Hi-Sil 233 ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ ระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง Hi-Sil 233 มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งมีแนวโน้มลดลง (ค่าติดลบน้อย) ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220 และ N330 มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ค่าติดลบมาก) โดยที่ยางธรรมชาติที่ใช้ N330 มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้ N220 แสดงว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N330 และ N220 มีข้อด้อยด้านการทนต่อการถูกออกซิไดซ์มากกว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง Hi-Sil 233 เนื่องมาจากออกซิเจนสามารถละลายในยางได้มากขึ้นถ้าหากว่ามีเขม่าดำ (อรสา, 2546)

**ตารางที่ 4.6** ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

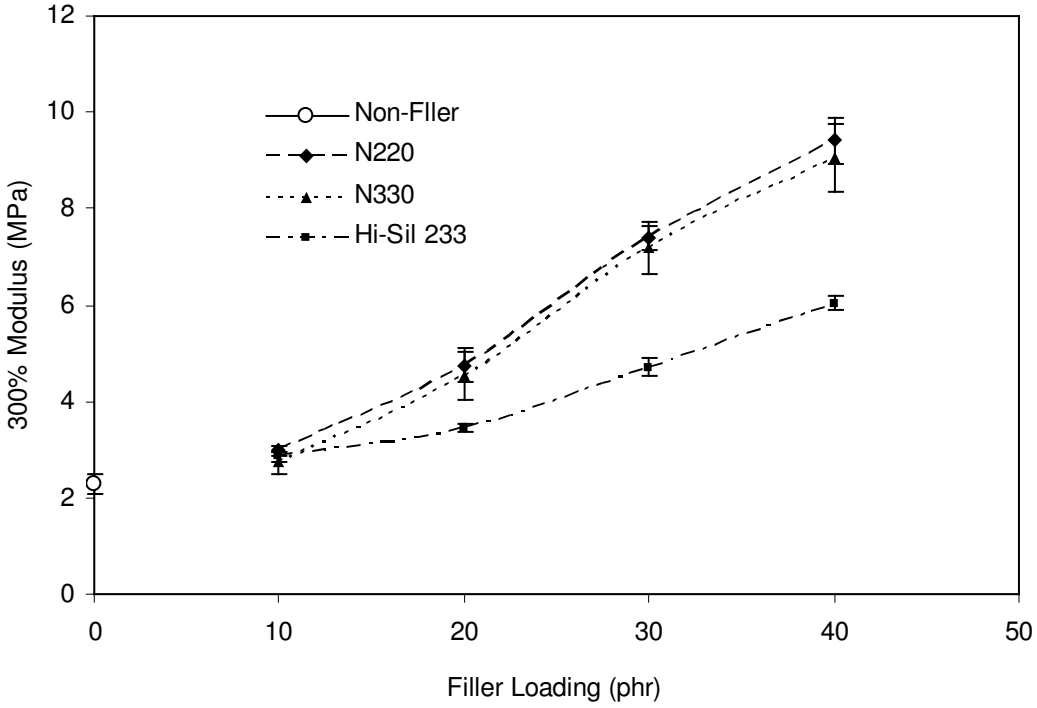
| Filler Loading (phr) | ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 25.41 ± 1.94 | 25.41 ± 1.94 | 25.41 ± 1.94 |
| 10 | 26.06 ± 0.52 | 28.11 ± 0.48 | 25.01 ± 0.91 |
| 20 | 30.1 ± 0.53 | 29.17 ± 1.01 | 25.98 ± 0.47 |
| 30 | 30.65 ± 0.69 | 30.66 ± 1.38 | 27.97 ± 0.78 |
| 40 | 29.49 ± 0.98 | 29.34 ± 1.49 | 27.19 ± 0.31 |




**รูปที่ 4.3** ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

**ตารางที่ 4.7** ค่า 300% มอดุลัส ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

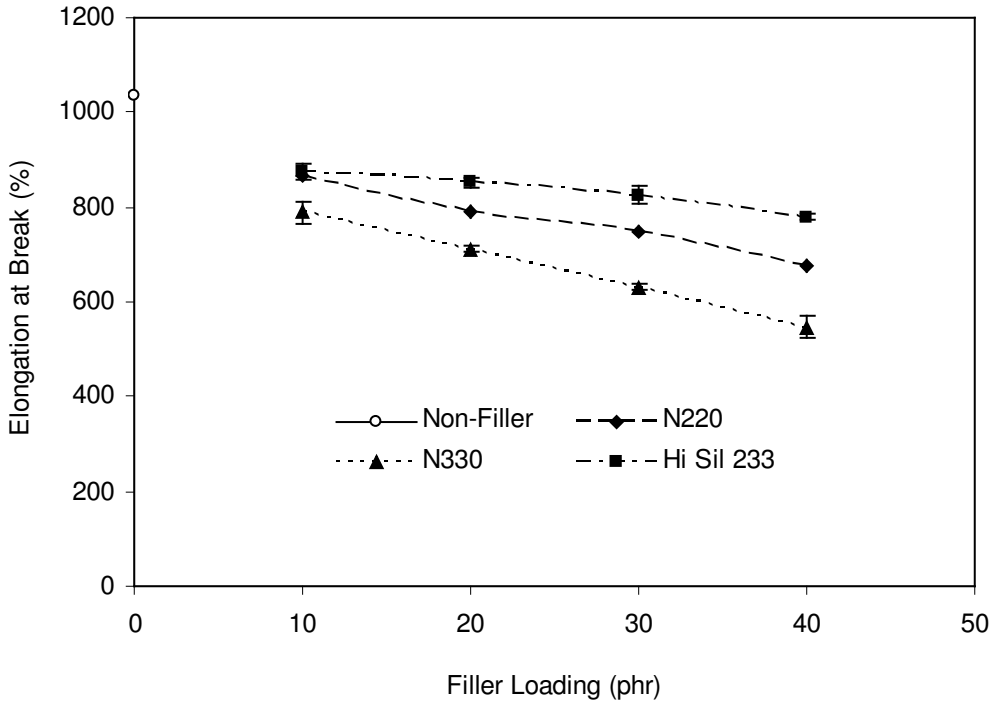
| Filler Loading (phr) | 300% Modulus (MPa) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 2.30 ± 0.21 | 2.30 ± 0.21 | 2.30 ± 0.21 |
| 10 | 2.97 ± 0.12 | 2.73 ± 0.23 | 2.85 ± 0.34 |
| 20 | 4.75 ± 0.34 | 4.51 ± 0.50 | 3.45 ± 0.33 |
| 30 | 7.40 ± 0.24 | 7.17 ± 0.54 | 4.47 ± 0.43 |
| 40 | 9.41 ± 0.49 | 9.06 ± 0.70 | 6.03 ± 0.48 |




**รูปที่ 4.4** ค่า 300% มอดุลัส ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

**ตารางที่ 4.8** ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

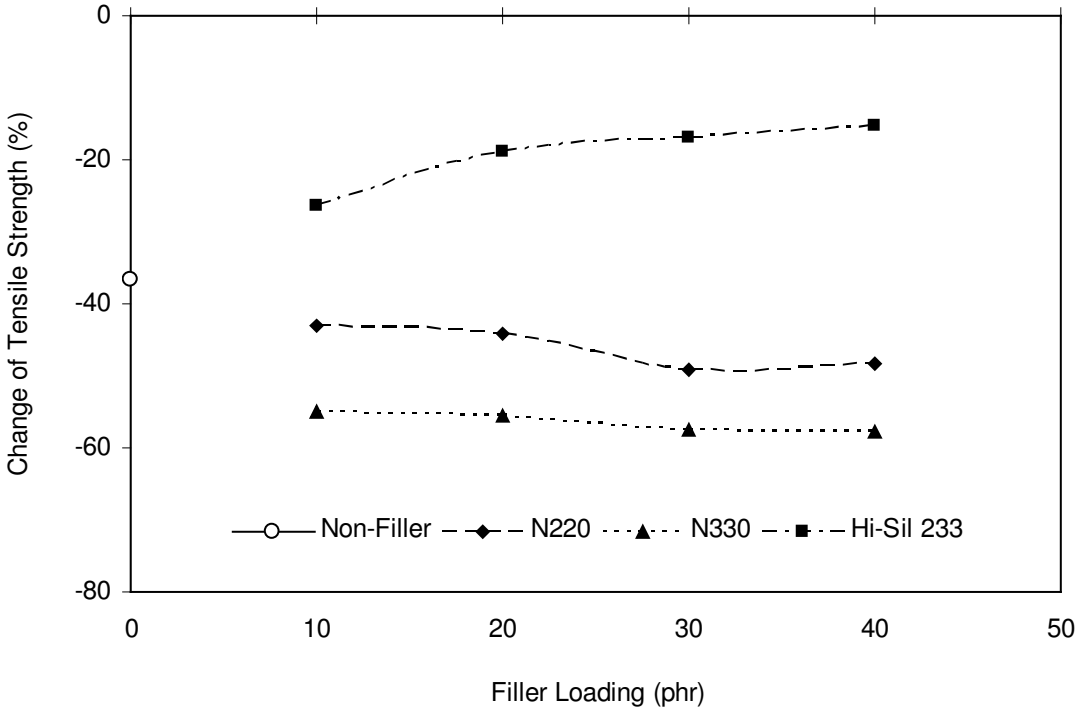
| Filler Loading (phr) | Elongation at Break (%) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 1037.00 ± 15.82 | 1037.00 ± 15.82 | 1037.00 ± 15.82 |
| 10 | 859.00 ± 8.20 | 788.2 0± 22.33 | 859.40± 17.45 |
| 20 | 821.00 ± 11.98 | 711.90 ± 8.23 | 853.00 ± 10.33 |
| 30 | 733.70 ± 10.97 | 630.00 ± 6.39 | 819.00 ± 19.5 |
| 40 | 673.10 ± 12.75 | 545.80 ± 23.6 | 771.70 ± 6.04 |




**รูปที่ 4.5** ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

**ตารางที่ 4.9** ค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่ง ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

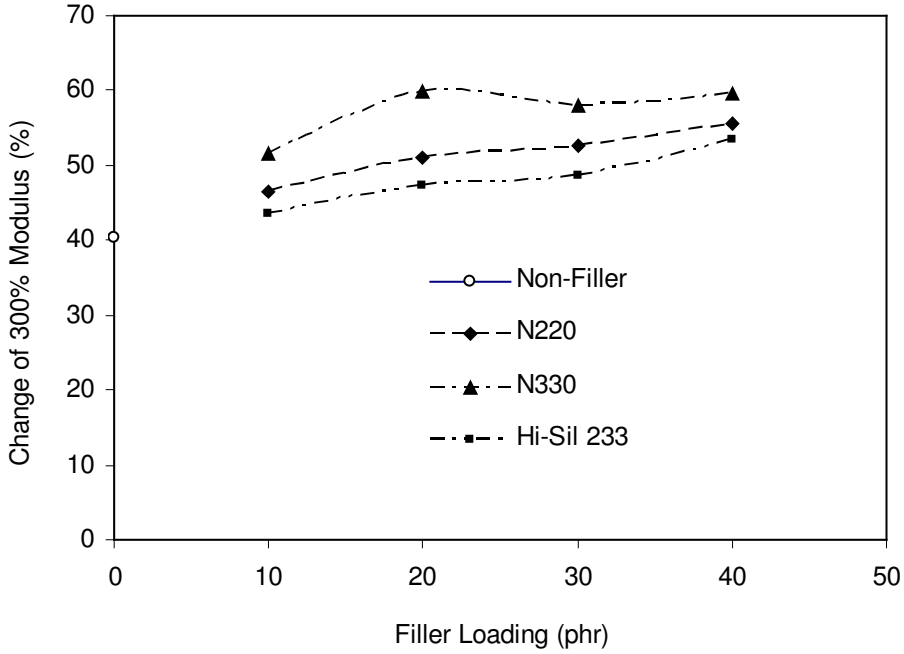
| Filler Loading (phr) | Change of Tensile Strength (%) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | -36.66 | -36.66 | -36.66 |
| 10 | -43.13 | -54.9 | -26.38 |
| 20 | -44.15 | -55.5 | -18.86 |
| 30 | -49.26 | -57.59 | -16.83 |
| 40 | -48.42 | -57.77 | -15.4 |




**รูปที่ 4.6** ค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่ง ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

**ตารางที่ 4.10** ค่า 300% มอดุลัส ที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

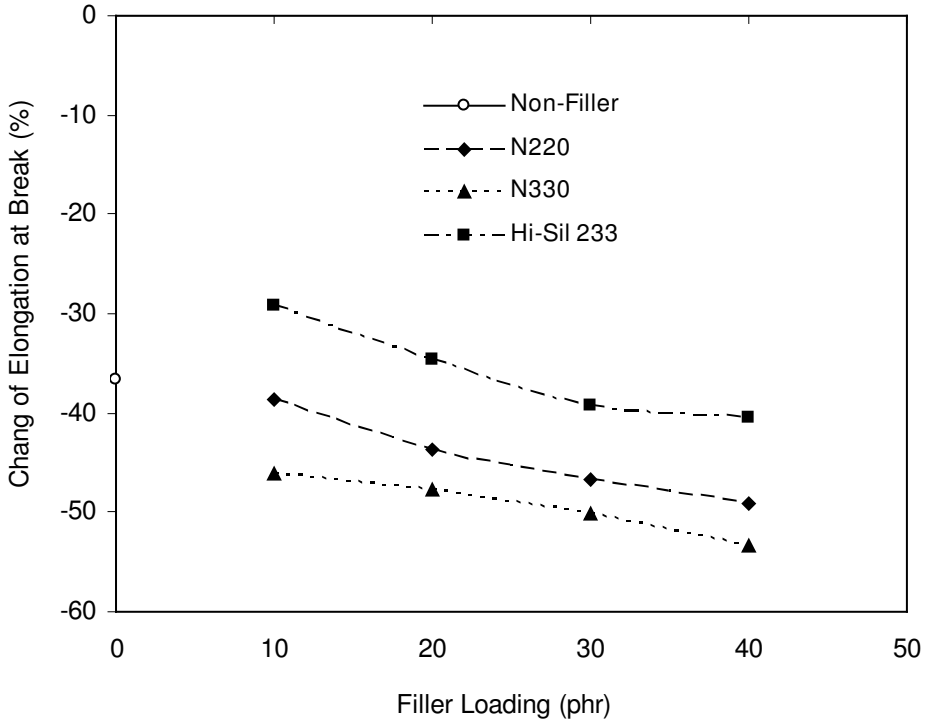
| Filler Loading (phr) | Change of 300% Modulus (%) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 40.43 | 40.43 | 40.43 |
| 10 | 46.46 | 51.65 | 43.45 |
| 20 | 51.16 | 59.98 | 47.31 |
| 30 | 52.57 | 57.88 | 48.67 |
| 40 | 55.47 | 59.60 | 53.45 |




**รูปที่ 4.7** ค่า 300% มอดุลัสที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220 N330 และ Hi-Sil 233

**ตารางที่ 4.11** ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

| Filler Loading (phr) | Change of Elongation at Break (%) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | -36.73 | -36.73 | -36.73 |
| 10 | -38.64 | -46.14 | -29.19 |
| 20 | -43.67 | -47.73 | -34.61 |
| 30 | -46.71 | -50.07 | -39.21 |
| 40 | -49.21 | -53.45 | -40.52 |



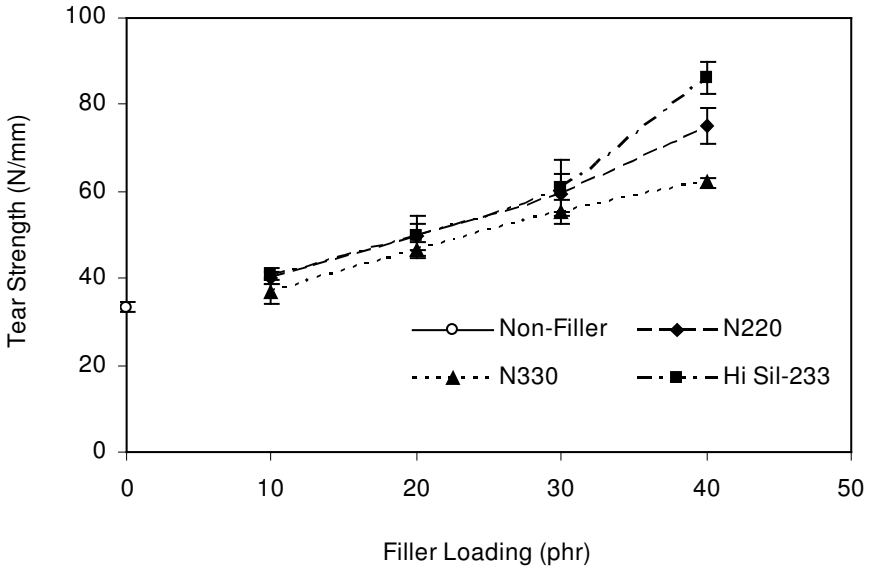

**รูปที่ 4.8** ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

#### 4.1.1.4 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ

ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233 แสดงในตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเสริมแรงจะทำให้ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดมากขึ้น โดยความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง Hi-Sil 233 > N220 > N330 ตามลำดับ ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของสารเสริมแรงโดย Hi-Sil 233 จะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า N220 และ N330 เป็นผลให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง (พรพรรณ, 2528)

**ตารางที่ 4.12** ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

| Filler Loading (phr) | Tear Strength (N/mm) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 33.41 ± 0.97 | 33.41 ± 0.97 | 33.41 ± 0.97 |
| 10 | 40.21 ± 1.41 | 36.88 ± 2.64 | 40.43 ± 1.83 |
| 20 | 49.59 ± 2.95 | 46.46 ± 1.98 | 49.90 ± 4.65 |
| 30 | 59.65 ± 4.27 | 55.29 ± 2.65 | 60.78 ± 6.56 |
| 40 | 75.24 ± 4.12 | 62.11 ± 1.10 | 86.26 ± 3.58 |




**รูปที่ 4.9** ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

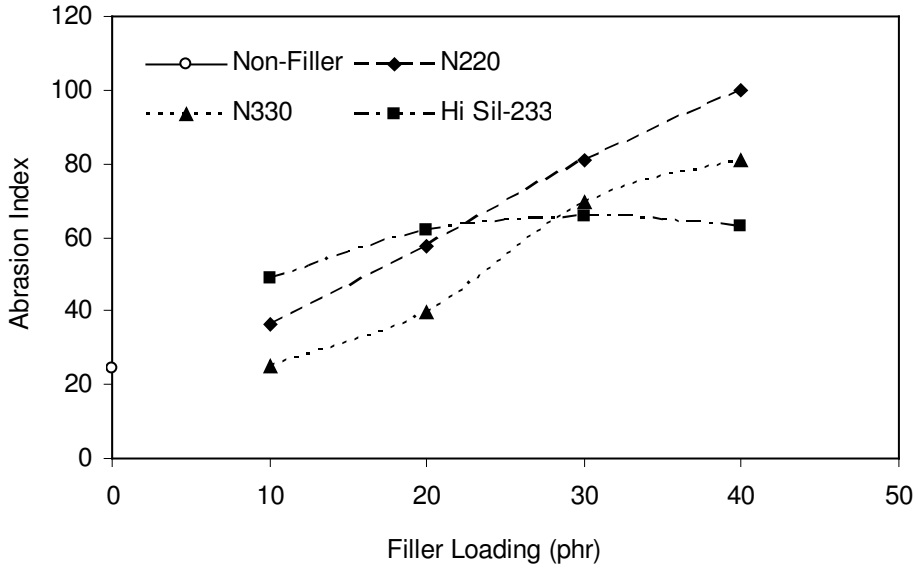
#### 4.1.1.5 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติ

ความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233 แสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.10 พบว่าที่ปริมาณสารเสริมแรง 10 ถึง 20 phr จะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง Hi-Sil 233 จะมีค่าดัชนีการสึกหรอ (A.I.) สูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้ N220 และ N330 ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเสริมแรง 30 ถึง 40 phr พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้ N220 จะให้ค่า A.I. สูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้ N330 และ Hi-Sil 233 ค่าดัชนีการสึก

หรอ (A.I.) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความต้านทานต่อการขัดถูของยาง ยางที่มีค่า A.I. สูงแสดงว่ายางนั้นมีความต้านทานต่อการขัดถูดี จากการทดลองพบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรงเขม่าดำมีค่า A.I. สูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรงชนิดซิลิกา ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่นิยมใช้สารเสริมแรงชนิดเขม่าดำในอุตสาหกรรมประเภทยางยานพาหนะ

**ตารางที่ 4.13** ค่าดัชนีความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

| Filler Loading (phr) | Abrasion Index (A.I.) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 24.41 | 24.41 | 24.41 |
| 10 | 36.29 | 25.08 | 48.83 |
| 20 | 57.75 | 39.57 | 62.13 |
| 30 | 80.86 | 69.53 | 65.80 |
| 40 | 99.76 | 80.96 | 63.03 |



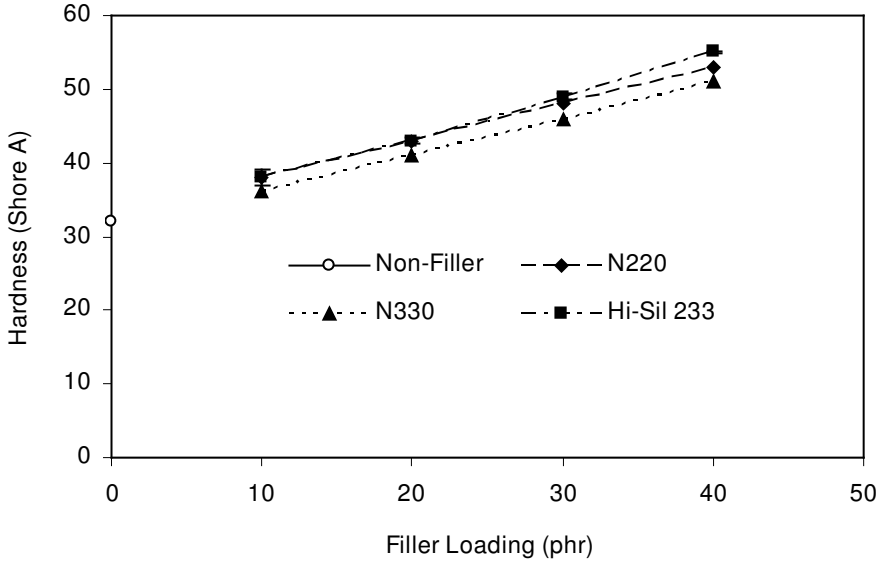

**รูปที่ 4.10** ค่าดัชนีความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

#### 4.1.1.6 ผลการศึกษาความแข็งของยางธรรมชาติ

ความแข็งของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233 แสดงในตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.11 เมื่อเพิ่มปริมาณสารเสริมแรงพบว่าค่าความแข็งของยางธรรมชาติมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณสารเสริมแรงที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความแข็งของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง Hi-Sil 233 > N220 > N330 คาดว่าเป็นผลมาจากความเป็นสารอนินทรีย์ของซิลิกาจึงส่งผลให้ยางความแข็งสูง ส่วน N220 จะให้ค่าความแข็งสูงกว่า N330 ผลมาจากขนาดอนุภาคที่เล็กและโครงสร้างที่สูงของ N220 จึงทำให้มีความแข็งสูงกว่า

**ตารางที่ 4.14** ค่าความแข็งของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

| Filler Loading (phr) | Hardness (Shore A) | | |
|---|---|---|---|
| | N220 | N330 | Hi-Sil 233 |
| 0 | 32 ± 0.50 | 32 ± 0.50 | 32 ± 0.50 |
| 10 | 38 ± 0.50 | 36 ± 0.23 | 38 ± 0.50 |
| 20 | 43 ± 0.23 | 41 ± 0.50 | 43 ± 0.50 |
| 30 | 48 ± 0.23 | 46 ± 0.50 | 49 ± 0.50 |
| 40 | 53 ± 0.50 | 51 ± 0.50 | 55 ± 0.23 |




**รูปที่ 4.11** ค่าความแข็งของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233

**4.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Silane coupling agent ชนิด Si-69 ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ**

จากการศึกษาอิทธิพลของสารเสริมแรง พบว่าสารเสริมแรงชนิดซิลิกาเกรด Hi-Sil 233 ปริมาณ 30 phr ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุดเหมาะสมที่จะนำมาเป็นสูตรเริ่มต้นในการพัฒนาเป็นสูตรยางชั้นผิวหน้า เนื่องจาก Hi-Sil 233 เป็นสารเสริมแรงที่ใช้สัมผัสอาหารได้ปลอดภัยกว่าเขม่าดำ และให้สมบัติความต้านทานต่อการบ่มเร่ง ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาดตามต้องการจึงได้นำสารเสริมแรงดังกล่าวในปริมาณ 30 phr มาเป็นสูตรเริ่มต้นในการพัฒนาเป็นสูตรยางชั้นผิวหน้า และการใช้ซิลิกาให้มีประสิทธิภาพต้องเติมสารช่วยยึดระหว่างยางกับซิลิกา (Silane coupling agent) ดังนั้นจึงทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารช่วยยึดระหว่างยางกับซิลิกาเกรด Si-69 ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ สูตรยางที่ใช้ศึกษาแสดงในตารางที่ 4.15

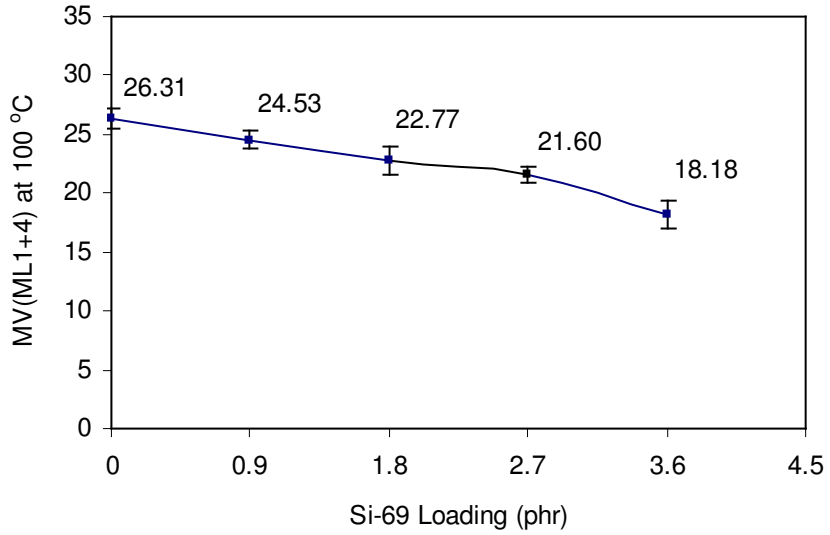
**ตารางที่ 4.15** สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Si-69 ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ

| **Ingredient** | **Loading (phr)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Silane 0%** | **Silane 3%** | **Silane 6%** | **Silane 9%** | **Silane 12%** |
| RSS No.3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Sulphur | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Stearic acid | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Zinc oxide | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **Hi-Sil233** | **30** | **30** | **30** | **30** | **30** |
| CBS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6PPD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Si-69** | **0** | **0.9** | **1.8** | **2.7** | **3.6** |
| PEG 4000 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| Paraffin wax | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Spindle oil | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |

**หมายเหตุ** สารเสริมแรง Hi-Sil 233 ใช้ในรูปของมาสเตอร์แบทซ์

#### 4.1.2.1 ผลการศึกษาความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์

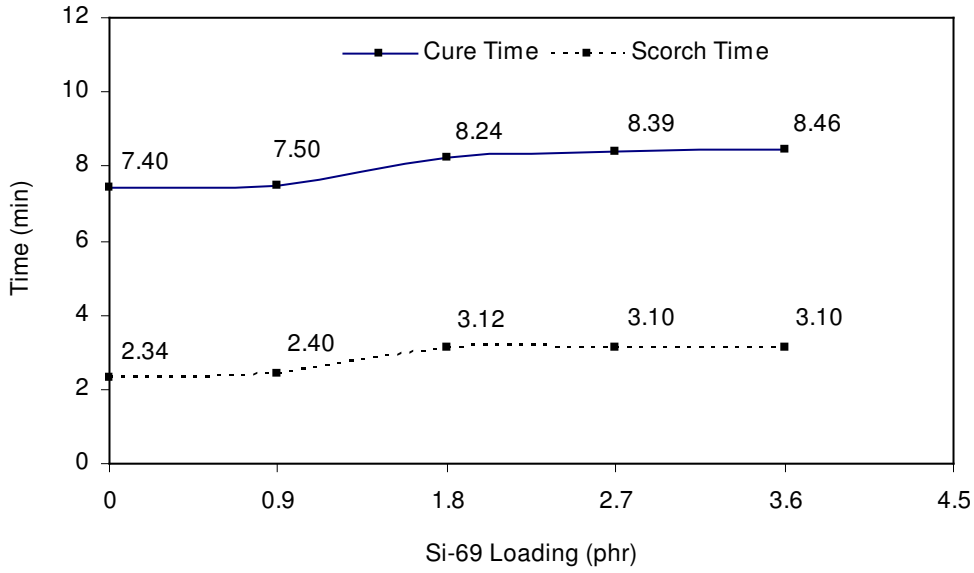
ความหนืดมูนนีของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 แสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Si-69 เนื่องมาจากสารช่วยยึดชนิดไซเลนสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่ไซลานอลบนพื้นผิวของซิลิกา จึงไปลดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของซิลิกา ทำให้อนุภาคของซิลิกาที่เกาะกลุ่มกันเป็นก้อนแตกออกกระจายได้ดีในยาง ส่งผลให้ความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์ลดลง (Pongdhorn *et al*., 2005)




**รูปที่ 4.12** ค่าความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์ที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ

#### 4.1.2.2 ผลการศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ

ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 แสดงในรูปที่ 4.13 เมื่อเพิ่มปริมาณ Si-69 พบว่าเวลาการวัลคาไนซ์ ($t_{c90}$) และเวลายางคอมปาวด์สุกก่อนกำหนด ($t_{s2}$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Poh and NG, 1998) ซึ่งได้ให้เหตุว่าเป็นผลมาจากความเกะกะ (Steric hindrance effect) ของหมู่ปลายที่มีขนาดใหญ่ส่งผลให้เวลาการวัลคาไนซ์ช้า

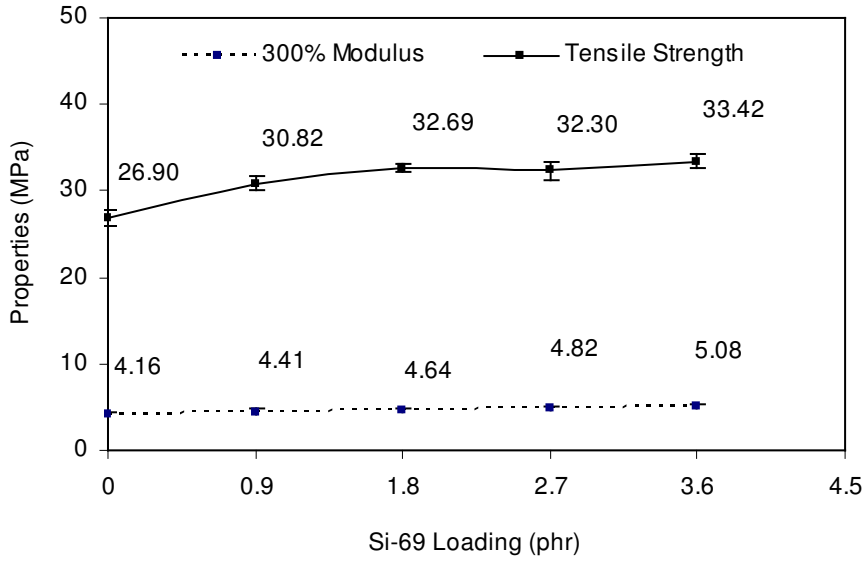



**รูปที่ 4.13** ค่าเวลาการวัลคาไนซ์และเวลายางคอมปาวด์สุกก่อนกำหนด ของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 °C

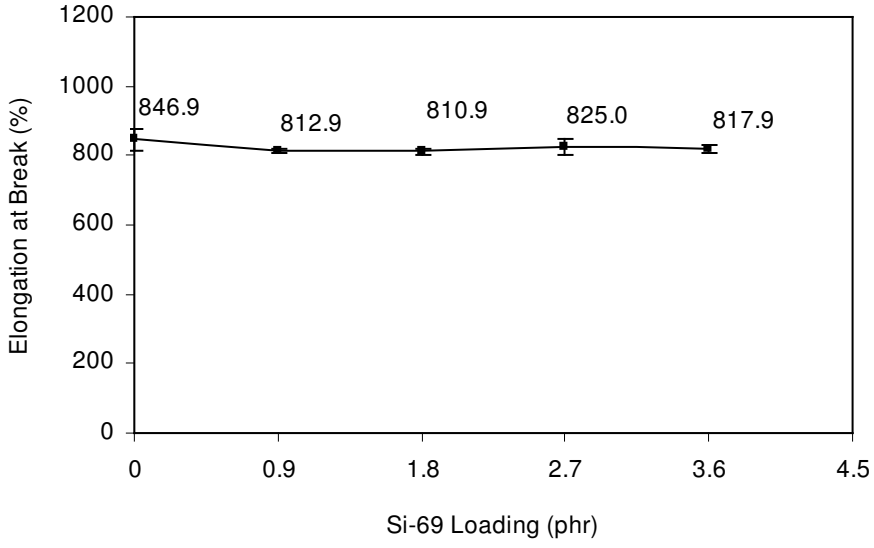
#### 4.1.2.3 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติ

ความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 แสดงในรูปที่ 4.14 ถึง 4.16 พบว่าค่า ความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณของ Si-69 ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากหมู่อัลคอกซีจะเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับหมู่ไซลานอนที่อยู่บนพื้นผิวของซิลิกาในระหว่างกระบวนการผสมเกิดเป็นพันธะไซลอกเซน (Siloxane) ปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้พื้นผิวของซิลิกามีปริมาณหมู่ไซลานอลลดลง ด้วยเหตุนี้การเติม Si-69 จึงทำให้อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของซิลิกา (Filler-filler interaction) ลดลง ซิลิกาจึงแตกตัวและกระจายตัวในยางได้ง่ายยิ่งขึ้น ส่วนหมู่ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบก็จะเข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาคงรูป (เฉพาะในระบบที่มีการคงรูปด้วยกำมะถันเท่านั้น) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงกับยางธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ Si-69 จึงทำหน้าที่เสมือนสะพานเชื่อมระหว่างยางกับซิลิกา ทำให้อันตรกิริยาระหว่างยางธรรมชาติกับซิลิกา (Rubber-filler Interaction) มีค่าสูงขึ้น จึงส่งผลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง 300% มอดุลัส และความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าสูงขึ้น (Pongdhorn *et al*., 2004) ปริมาณของ Si-69 ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่า ระยะยืด ณ จุดขาด มากนักค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ส่วนสมบัติของแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการบ่มเร่งพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง 300% มอดุลัส และ ระยะยืด ณ จุดขาด มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงภายหลังการบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ในปริมาณ 0.9 ถึง 3.6 phr มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมี

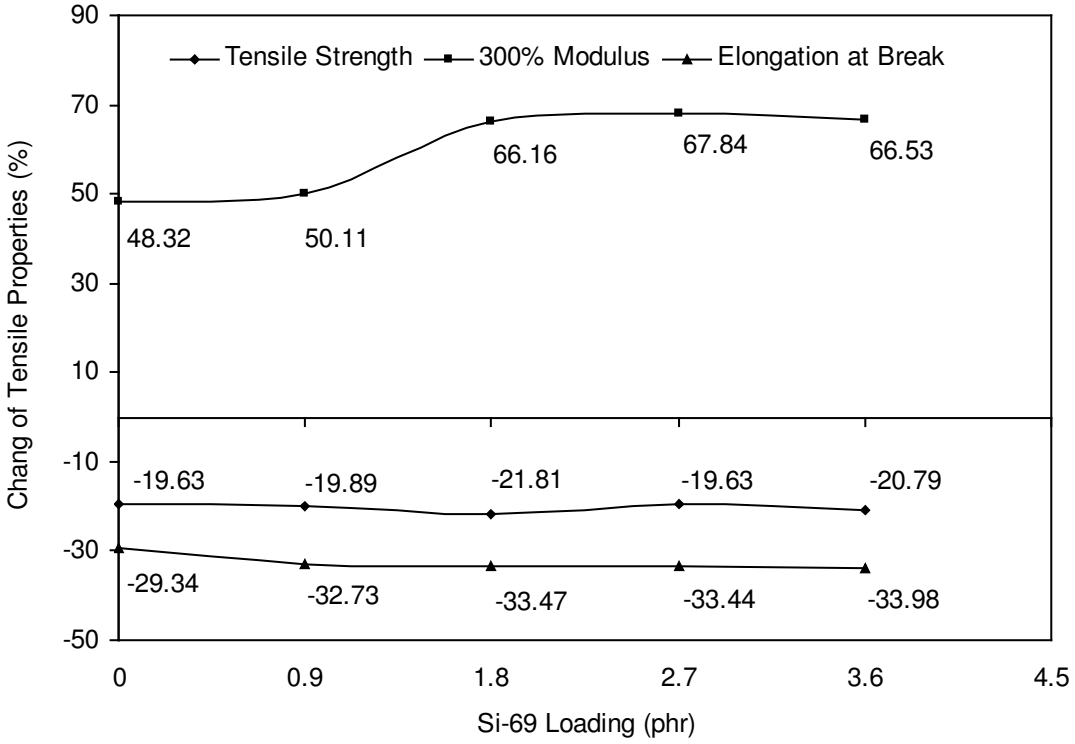
แนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Pongdhorn *et al*., 2005) แสดงว่ายางธรรมชาติมีข้อด้อยด้านการทนต่อการถูกออกซิไดซ์เมื่อใช้สาร Si-69 ในปริมาณที่มากขึ้น




**รูปที่ 4.14** ความต้านทานต่อแรงดึงและ 300% มอดุลัส ของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ



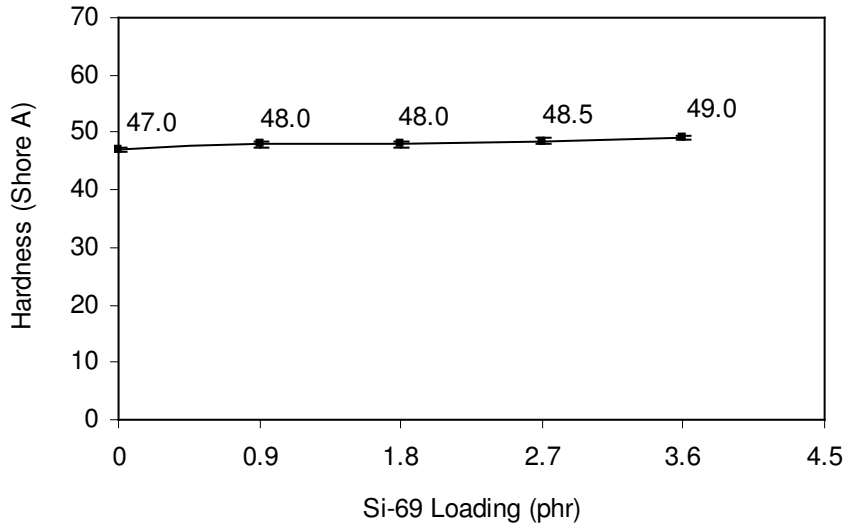

**รูปที่ 4.15** ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ




**รูปที่ 4.16** สมบัติของแรงดึงภายหลังการบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ

#### 4.1.2.4 ผลการศึกษาความแข็งของยางธรรมชาติ

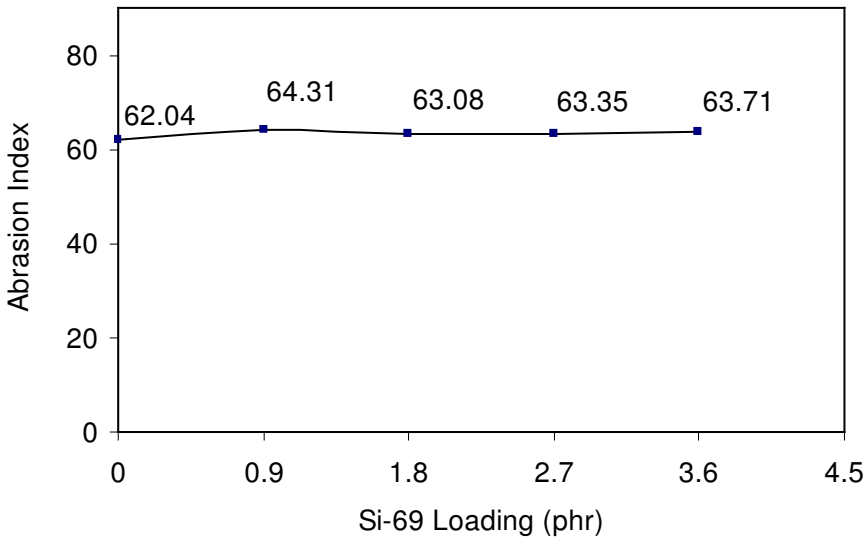
ความแข็งของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 แสดงในรูปที่ 4.17 เมื่อเพิ่มปริมาณ Si-69 ในปริมาณ 0.9 ถึง 3.6 phr พบว่าค่าความแข็งไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนัก ค่าอยู่ที่ประมาณ 48 ถึง 49 แต่ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณ Si-69 ทำให้ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส สูงขึ้นส่งผลให้ความแข็งเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Pongdhorn *et al*., 2005)




**รูปที่ 4.17** ค่าความแข็งของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ

#### 4.1.2.5 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติ

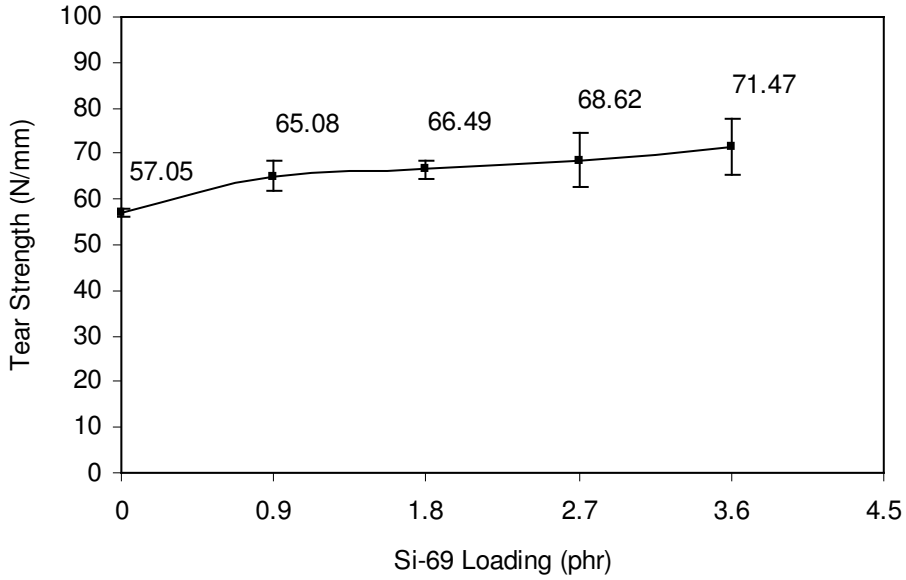
ความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติใช้ Si-69 แสดงในรูปที่ 4.18 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ในปริมาณ 0.9 phr จะมีค่าดัชนีการสึกหรอ (A.I.) สูงสุด และสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้ Si-69 ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ในปริมาณ 1.8 ถึง 3.6 phr จะมีค่า A.I. ที่ใกล้เคียงกันแต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ในปริมาณ 0.9 และ 3.6 phr พบว่าค่า A.I. มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย




**รูปที่ 4.18** ค่าดัชนีความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ

#### 4.1.2.6 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ

ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 แสดงในรูปที่ 4.19 พบว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Si-69 ในปริมาณ 0.9 ถึง 3.6 phr เนื่องจาก Si-69 เป็นสารช่วยยึดระหว่างยางธรรมชาติกับซิลิกาโดยที่โครงสร้างทางเคมีของ Si-69 มี 2 ขั้ว คือด้านที่มีขั้วจะจับกับซิลิกาส่วนด้านที่ไม่มีขั้วจะไปจับกับยางธรรมชาติจึงทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าสูงขึ้น




**รูปที่ 4.19** ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ

### 4.1.3 อิทธิพลของสารป้องกันยางเสื่อมชนิดต่างๆ ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Si-69 ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Si-69 ทำให้สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดดีขึ้น แต่ไม่ทนต่อการบ่มเร่ง จึงเลือกใช้ Si-69 ปริมาณ 0.9 phr หรือประมาณ 3% ของซิลิกานำมาเป็นส่วนประกอบของสูตรยางเริ่มต้น ในการศึกษาอิทธิพลของสารป้องกันยางเสื่อมชนิดต่างๆ เพื่อให้ได้สมบัติด้านความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมตามที่ต้องการ สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของสารป้องกันยางเสื่อมชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.16

**ตารางที่ 4.16** สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของสารป้องกันยางเสื่อมต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ

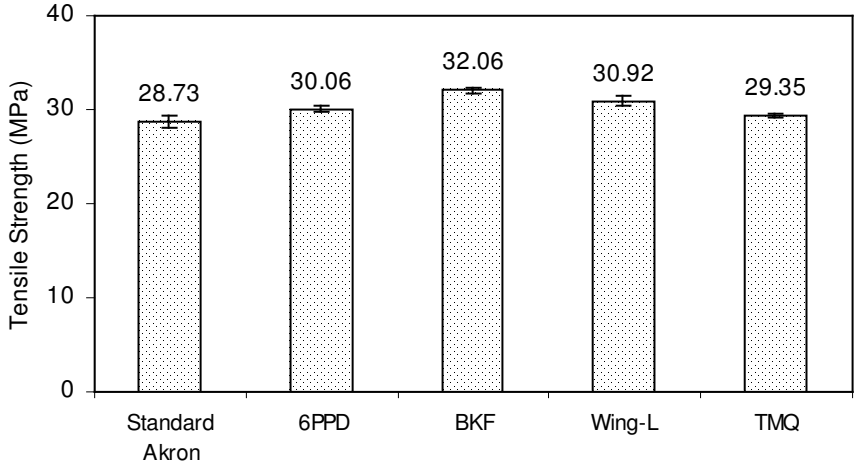
| **Ingredient** | **Loading (phr)** |
|---|---|
| RSS No.3 | 100 |
| Sulphur | 2.5 |
| Stearic acid | 2 |
| Zinc oxide | 5 |
| Hi-Sil 233 | 30 |
| CBS | 1 |
| **Antioxidant*** | **1** |
| Silane | 0.9 |
| PEG 4000 | 1.8 |
| Paraffin wax | 1 |
| Spindle oil | 3 |

**หมายเหตุ** * (6PPD, Wingstay-L, TMQ และ Vulkanox BKF)

เมื่อพิจารณาจากค่า $LD_{50}$ ตามตารางที่ 2.9 แล้วมีความปลอดภัยจึงนำสารป้องกันยางเสื่อมดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD และ TMQ เป็นสารกลุ่มเอมีน ส่วน Vulkanox BKF และ Wingstay-L เป็นสารกลุ่มฟีนอล

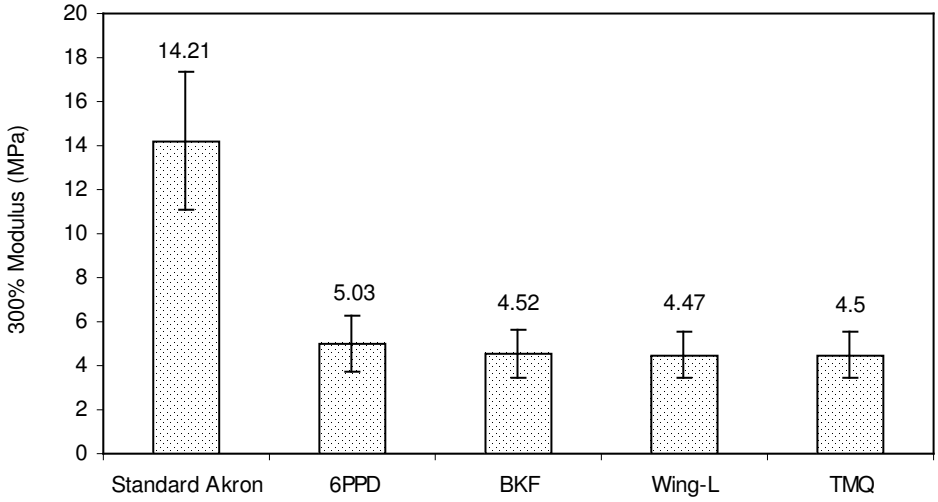
#### 4.1.3.1 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติ

ความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่ใช้ สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในรูปที่ 4.20 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด Wingstay-L 6PPD TMQ และ ยางมาตรฐานยางรถยนต์ จะมีความต้านทานต่อแรงดึงใกล้เคียงกัน ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด Vulcanox BKF จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าเล็กน้อย



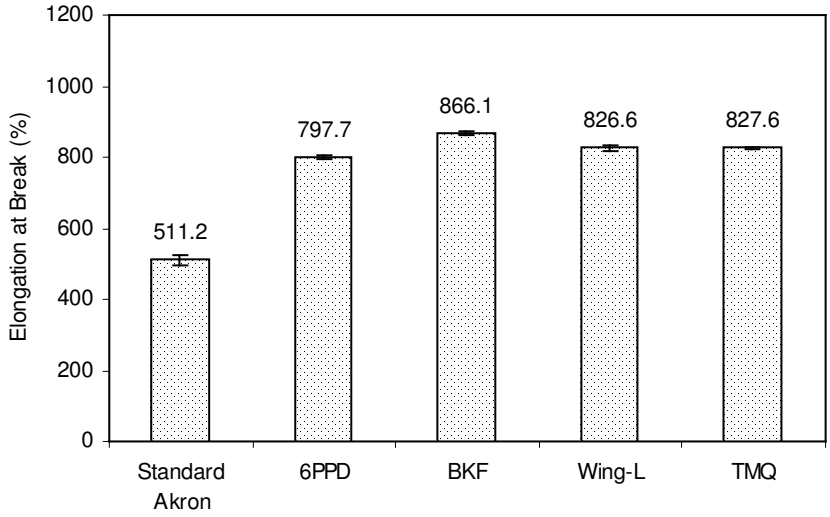

**รูปที่ 4.20** ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน

ค่า 300% มอดุลัส ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในรูปที่ 4.21 พบว่าค่า 300% มอดุลัส ของยางมาตรฐานยางรถยนต์มีค่าสูงมากอยู่ที่ประมาณ 14.21 MPa เนื่องจากใช้สารเสริมแรงชนิดเขม่าดำ (N330) มากถึง 50 phr จึงส่งผลให้ยางธรรมชาติมีความแข็งและมีค่ามอดุลัสสูงขึ้น ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด Wingstay-L, TMQ, Vulcanox BKF และ 6PPD จะมีค่า 300% มอดุลัส ใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 4.47 ถึง 5.03 MPa โดยค่า 300% มอดุลัส ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD > Vulcanox BKF > TMQ > Wingstay-L ตามลำดับ



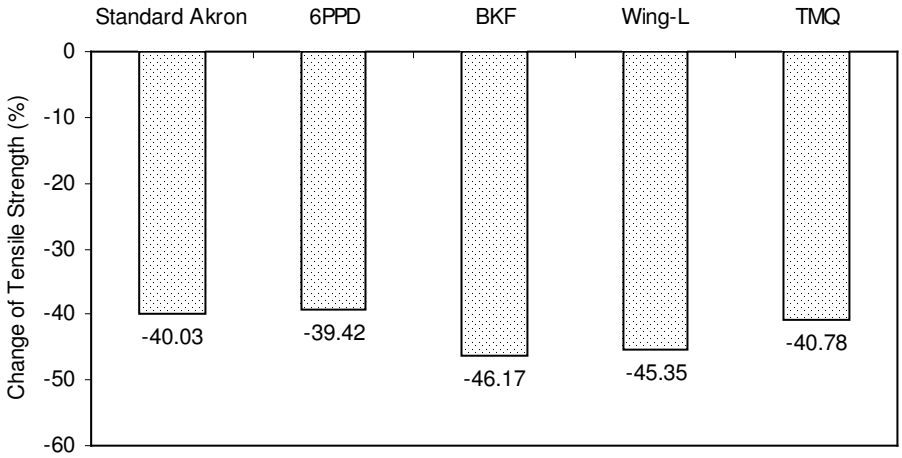

**รูปที่ 4.21** ค่า 300% มอดุลัส ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน

ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในรูปที่ 4.22 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมดังกล่าวมีค่าระยะยืด ณ จุดขาด ที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด Vulcanox BKF > TMQ > Wingstay-L > 6PPD ตามลำดับ ส่วนยางมาตรฐานยางรถยนต์มีค่าระยะยืด ณ จุดขาด ต่ำกว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิดต่างๆ ดังกล่าว เนื่องจากยางมาตรฐานยางรถยนต์ใช้ปริมาณสารเสริมแรงเขม่าดำมากถึง 50 phr ซึ่งสารเสริมแรงจะไปลดความเป็นยางธรรมชาติลงทำให้ยางธรรมชาติยืดตัวได้ต่ำลง



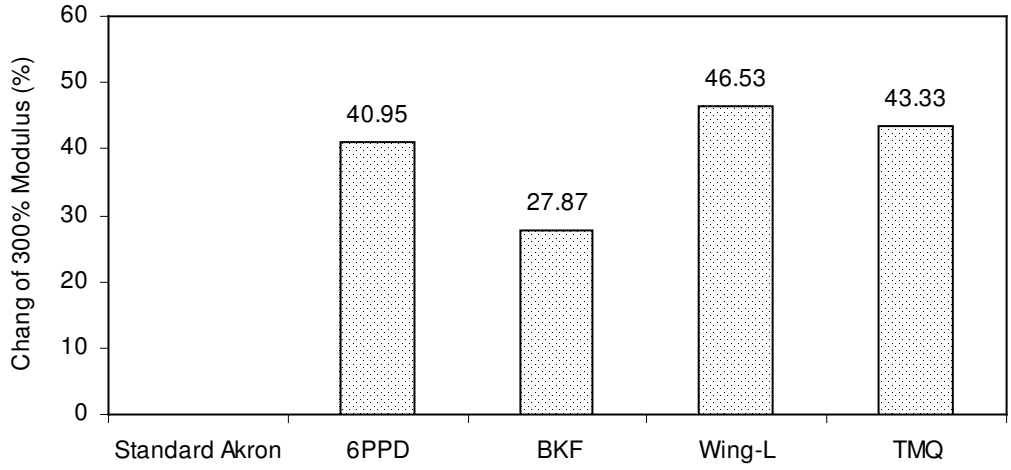

**รูปที่ 4.22** ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน

ค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการบ่มเร่ง ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในรูปที่ 4.23 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงภายหลังบ่มเร่ง ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด Vulcanox BKF มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมากกว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด Wingstay-L, TMQ และ 6PPD ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แสดงว่ายางธรรมชาติทนต่อการถูกออกซิไดซ์มากที่สุด



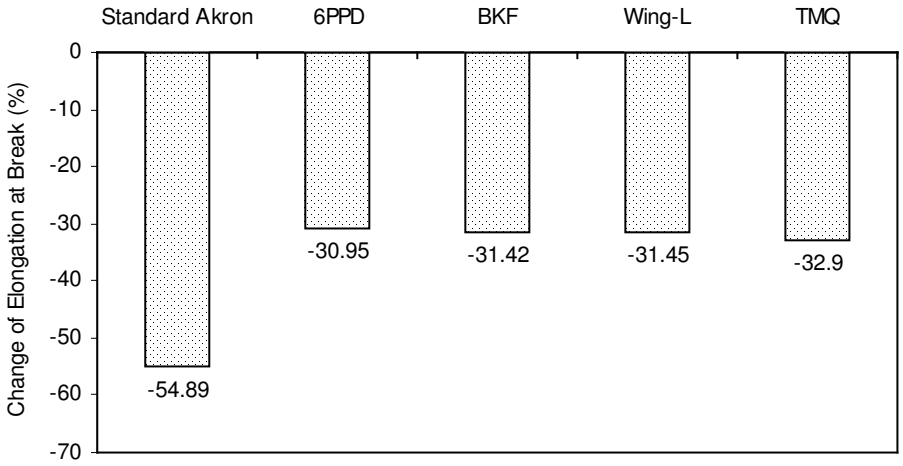

**รูปที่ 4.23** ค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน

ค่า 300% มอดุลัส ที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในรูปที่ 4.24 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด Wingstay-L จะมีค่า 300% มอดุลัส ที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่งมากกว่ายางธรรมชาติที่ใช้ TMQ, 6PPD และ Vulcanox BKF ตามลำดับ ส่วนยางมาตรฐานยางรถยนต์ไม่สามารถวัดค่า 300% มอดุลัส ภายหลังบ่มเร่งได้เนื่องจากขณะดึงยางจะขาดก่อนที่จะยืดถึง 300% และภายหลังการบ่มเร่งแล้วยางธรรมชาติจะมีความแข็งมากขึ้นส่งผลให้ค่า 300% มอดุลัส มีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย




**รูปที่ 4.24** ค่า 300% มอดุลัส ที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางธรรมชาติเสื่อมต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิ 100 $^{o}$C เวลา 72 hr

ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในรูปที่ 4.25 พบว่าค่าระยะยืด ณ จุดขาด ที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่ง ของยางมาตรฐานยางรถยนต์มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD Wingstay-L, TMQ และ Vulcanox BKF พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารป้องกันยางเสื่อมชนิดต่างๆ ดังกล่าวไม่ได้ส่งผลต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาด ที่เปลี่ยนแปลงหลังบ่มเร่ง ของยางธรรมชาติมากนัก



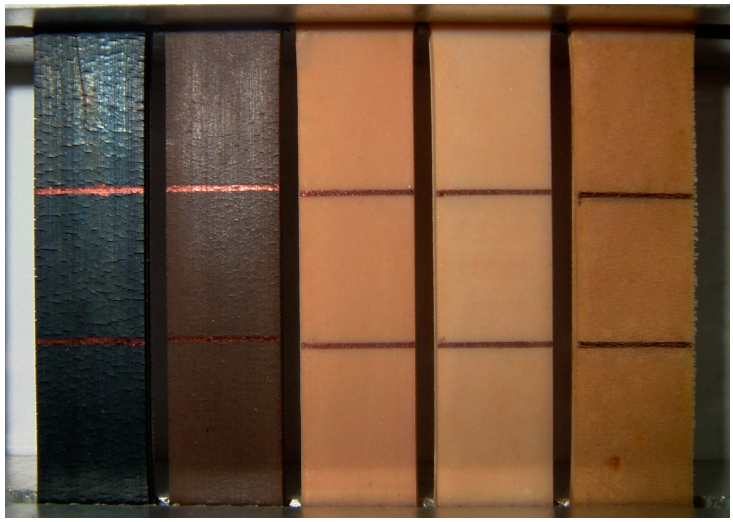

**รูปที่ 4.25** ค่าระยะยืด ณ จุดขาดที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่ง ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิ 100 $^{o}$C เวลา 72 hr

#### 4.1.3.2 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อโอโซนของยางธรรมชาติ

ความต้านทานต่อโอโซน ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในรูปที่ 4.26 และ 4.27 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด Vulcanox BKF และ Wingstay-L ไม่พบรอยแตกแต่สีของยางธรรมชาติเปลี่ยนแปลงจากเดิมเล็กน้อย ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด TMQ พบรอยแตกขนาดเท่าปลายปากกามากกว่า 10 จุด สีของยางธรรมชาติก็เปลี่ยนจากเดิมเล็กน้อย ยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD พบรอยแตกขนาดเท่าปลายเข็มมากกว่า 10 จุด และสีของยางธรรมชาติก็เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำอย่างเห็นได้ชัด ส่วนยางมาตรฐานยางรถยนต์พบรอยแตกขนาดความยาวประมาณ 2 mm มากกว่า 10 จุด

**Akron 6PPD BKF Wing-L TMQ**

**รูปที่ 4.26** ลักษณะยางธรรมชาติก่อนอบด้วยตู้อบโอโซนของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน ที่ความเข้มข้นโอโซน 25 pphm อุณหภูมิ 40 $^{o}$C เวลา 72 hr



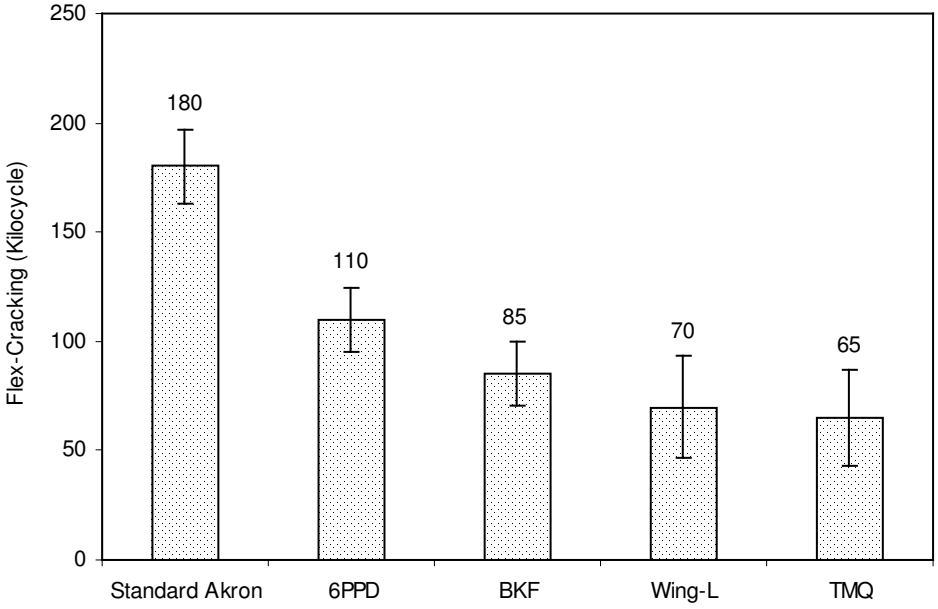
**Akron 6PPD BKF Wing-L TMQ**

**รูปที่ 4.27** ลักษณะยางธรรมชาติภายหลังจากอบด้วยตู้อบโอโซนของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกันที่ความเข้มข้นโอโซน 25 pphm อุณหภูมิ 40 $^{o}$C เวลา 72 hr

#### 4.1.3.3 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อการหักงอของยางธรรมชาติ

ความต้านทานต่อการหักงอ ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในรูปที่ 4.28 พบว่ายางมาตรฐานยางรถยนต์มีค่าความต้านทานต่อการหักงอสูงมากอยู่ที่ประมาณ 180 Kilocycle เหตุที่ยางมาตรฐานยางรถยนต์มีค่าความต้านทานต่อการหักงอสูง อาจจะเป็นผลมาจากใช้สารเสริมแรงชนิดเขม่าดำเกรด (N330)

เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารเสริมแรงชนิดเสริมประสิทธิภาพ และเป็นสารอินทรีย์เช่นเดียวกับยางธรรมชาติจึงผสมเข้ากันได้ดีทำให้มีสมบัติด้านความต้านทานต่อการหักงอ ส่วนชนิดของสารป้องกันยางเสื่อมก็มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานต่อการหักงอของยางธรรมชาติ โดยค่าความต้านทานต่อการหักงอของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD > Vulcanox BKF > Wingstay-L > TMQ ตามลำดับ




**รูปที่ 4.28** ค่าความต้านทานต่อการหักงอของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน

**4.1.3.4 ผลการศึกษาความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตก ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน**

ความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตก ของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD, Vulcanox BKF, Wingstay-L และ TMQ แสดงในตารางที่ 4.17 พบว่ายางมาตรฐานยางรถยนต์ มีค่าความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิดต่างๆ พบว่าค่าความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกของยางธรรมชาติที่ใช้ Vulcanox BKF จะมีสูงสุด และยางธรรมชาติที่ใช้ Wingstay-L จะมีค่าต่ำสุด ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้ 6PPD และ TMQ จะมีค่าความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกไม่แตกต่างกัน จากการทดลองพบว่าสารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD และ BKF ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด

**ตารางที่ 4.17** ค่าความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกของยางธรรมชาติที่ใช้สารป้องกันยางเสื่อมต่างชนิดกัน

| ช่วงการขยายตัวของรอยแตก | จำนวนรอบของการขยายตัวของรอยแตก (Kilocycle) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Standard Akron | BKF | 6PPD | TMQ | Wing-L |
| 2-4 mm | 6 ± 0.06 | 3 ± 0.67 | 3 ± 0.12 | 3 ± 0.15 | 3 ± 0.23 |
| 4-8 mm | 114 ± 0.5 | 10 ± 0.15 | 10 ± 0.15 | 10 ± 0.21 | 7 ± 0.25 |
| 8-12 mm | >114 | 16 ± 0.66 | 15 ± 0.29 | 15 ± 0.17 | 14 ± 0.12 |

### 4.1.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Paraffin wax ต่อสมบัติด้านความต้านทานต่อโอโซน

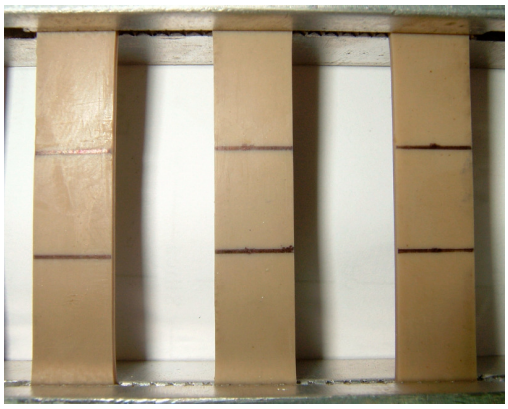
จากการศึกษาอิทธิพลของสารป้องกันยางเสื่อม พบว่าสารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD ให้สมบัติที่เด่นด้านความต้านทานต่อการหักงอ ทนทานต่อการบ่มเร่ง แต่ความต้านทานต่อโอโซนด้อยกว่าสารป้องกันยางเสื่อมชนิด Vulcanox BKF และ Wingstay-L อย่างไรก็ตามสมบัติด้อยด้านความต้านทานต่อโอโซนสามารถปรับปรุงได้โดยการใส่ Paraffin wax ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกสารป้องกันยางเสื่อมชนิด 6PPD เพื่อเป็นส่วนผสมในยางธรรมชาติและทำศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Paraffin wax ต่อสมบัติความต้านทานต่อโอโซน สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Paraffin wax ได้แสดงในตารางที่ 4.18

**ตารางที่ 4.18** สูตรที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Paraffin wax ต่อสมบัติความต้านทานต่อโอโซน

| **Ingredient** | **Loading (phr)** |
|---|---|
| RSS No.3 | 100 |
| Sulphur | 2.5 |
| Stearic acid | 2 |
| Zinc oxide | 5 |
| Hi-Sil 233 | 30 |
| CBS, 6PPD | 1 |
| Silane | 0.9 |
| PEG 4000 | 1.8 |
| **Paraffin wax** | **1, 2 และ 3** |
| Spindle oil | 3 |

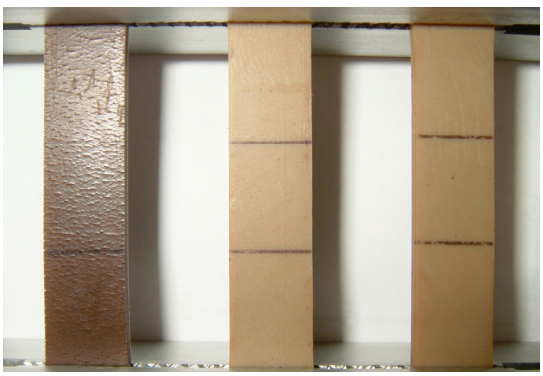
**หมายเหตุ** สารเสริมแรง Hi-Sil 233 ใช้ในรูปของมาสเตอร์แบทซ์

ความต้านทานต่อโอโซนของยางธรรมชาติที่ใช้ Paraffin wax จาก 1- 3 phr แสดงในรูปที่ 4.29 และ 4.30 เมื่อเพิ่มปริมาณ Paraffin wax พบว่ายางธรรมชาติทนต่อโอโซนดีขึ้น แต่ถ้าใส่ Paraffin wax มากเกิน 2 phr จะเกิดการซึมออกมาที่ผิวของชิ้นงาน จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติที่ใช้ปริมาณ Paraffin wax 1 phr หลังจากอบด้วยตู้อบโอโซนแล้ว พบว่ายางธรรมชาติมีสีเข้มขึ้นและเกิดรอยแตกขนาดเท่าจุดปลายเข็มมากกว่า 10 จุด ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้ Paraffin wax ปริมาณ 2 phr และ 3 phr พบว่าไม่เกิดรอยแตกและสีของยางธรรมชาติแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย จึงเลือกใช้ Paraffin wax ปริมาณ 2 phr เป็นส่วนประกอบในสูตรยาง



**Wax 1 phr  Wax 2 phr  Wax 3 phr**

**รูปที่ 4.29** ลักษณะของยางธรรมชาติก่อนอบด้วยตู้อบโซนของยางธรรมชาติที่ใช้ Paraffin wax ปริมาณต่างกันที่ความเข้มข้นโอโซน 25 pphm อุณหภูมิ 40 $^{o}$C เวลา 72 hr



**Wax 1 phr  Wax 2 phr  Wax 3 phr**

**รูปที่ 4.30** ลักษณะของยางธรรมชาติภายหลังการอบด้วยตู้อบโซนของยางธรรมชาติที่ใช้ Paraffin Wax ปริมาณต่างกันที่ความเข้มข้นโอโซน 25 pphm อุณหภูมิ 40 $^{o}$C เวลา 72 hr

### 4.1.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนยางผสม EPDM/NR ต่อสมบัติทางกายภาพของยางผสม

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Paraffin wax ต่อสมบัติความต้านทานต่อโอโซนพบว่าจะต้องใส่ปริมาณ Paraffin wax มากกว่า 2 phr ขึ้นไปจึงจะทำให้ยางธรรมชาติทนต่อโอโซนแต่การเพิ่มปริมาณ Paraffin wax มากขึ้นจะทำให้ Paraffin wax เกิดการซึมออกมาที่ผิวของชิ้นงาน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนยางผสม EPDM/NR ต่อสมบัติทางกายภาพของยางผสมเพื่อพัฒนาเป็นสูตรยางชั้นผิวหน้าต่อไป สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนยางผสม EPDM/NR แสดงในตารางที่ 4.19

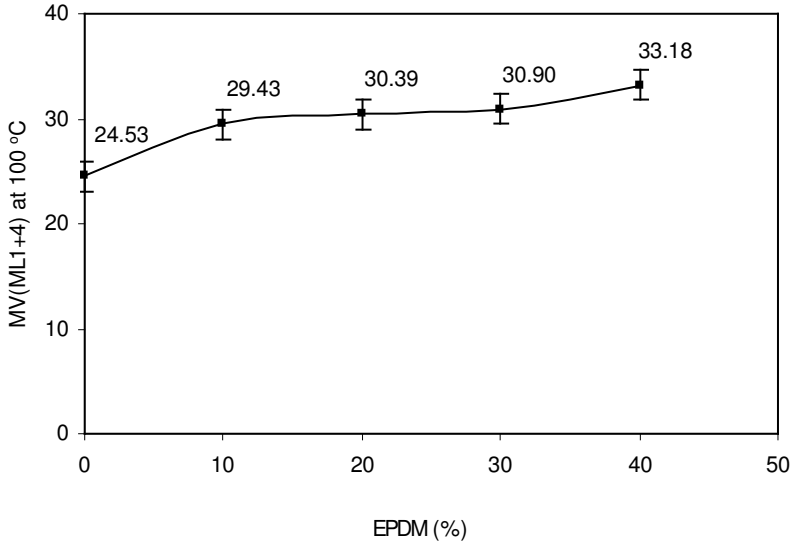
**ตารางที่ 4.19** สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนยางผสม EPDM/NR ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ

| **Ingredient** | **Loading (phr)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **EPDM** | **0** | **10** | **20** | **30** | **40** |
| RSS No.3 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 |
| Sulphur | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| CBS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Stearic acid | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Zinc oxide | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Hi-Sil 233 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 6PPD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Si-69 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| PEG 4000 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| Spindle oil | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Paraffin wax | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

**หมายเหตุ** สารเสริมแรง Hi-Sil 233 ใช้ในรูปของมาสเตอร์แบทซ์

#### 4.1.5.1 ผลการศึกษาความหนืดมูนนีของยางผสม

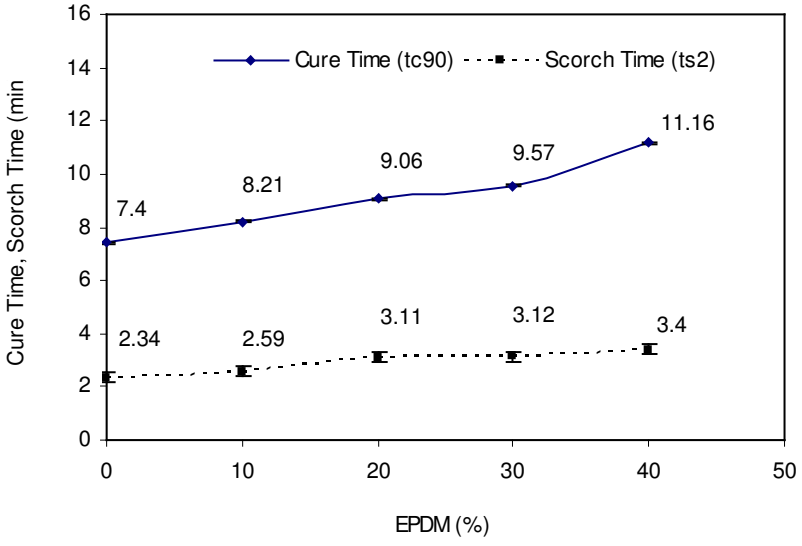
ความหนืดมูนนีของยางผสม EPDM/NR แสดงในรูปที่ 4.31 พบว่าที่ปริมาณยาง EPDM 10-30 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหนืดมูนนีจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์มีค่าสูงขึ้น




**รูปที่ 4.31** ค่าความหนืดมูนนีของยางผสม

#### 4.1.5.2 ผลการศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางผสม

ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางผสมที่ใช้ปริมาณยาง EPDM 10-40 เปอร์เซ็นต์ แสดงในรูปที่ 4.32 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM จะเห็นได้ว่าเวลาการวัลคาไนซ์ ($t_{c90}$) และเวลายางคอมปาวด์สุกก่อนกำหนด ($t_{s2}$) มีแนวโน้มสูงขึ้น

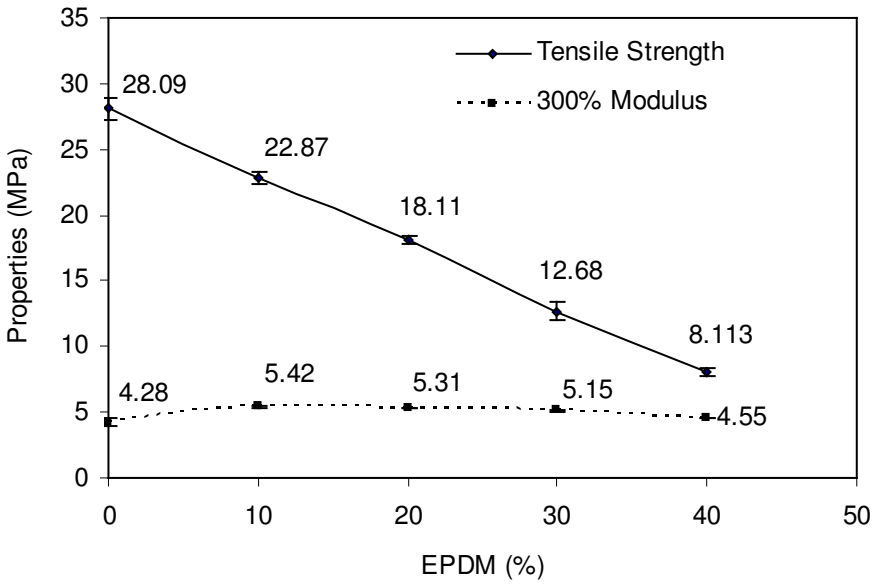



**รูปที่ 4.32** เวลาวัลคาไนซ์และเวลายางคอมปาวด์สุกก่อนกำหนด ของยางผสมที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา 30 min

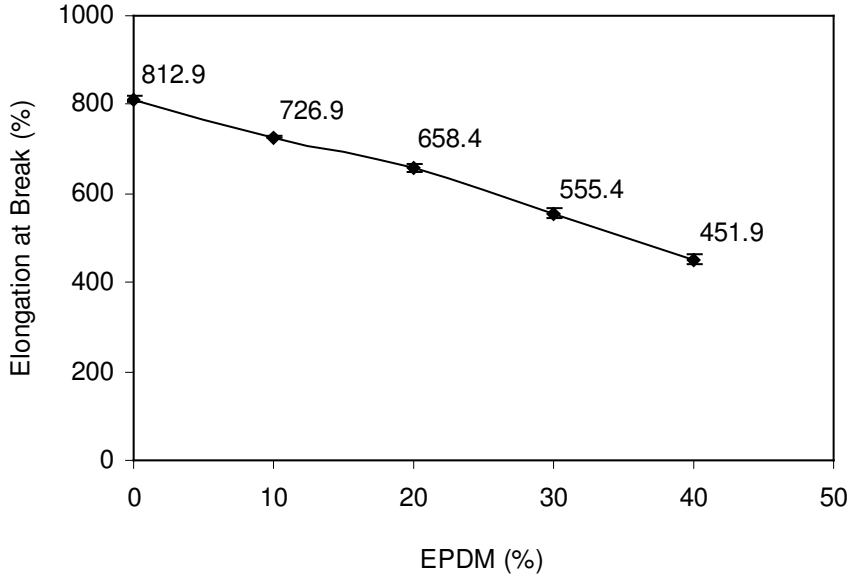
#### 4.1.5.3 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางผสม

ความต้านทานต่อแรงดึงของยางผสม EPDM/NR แสดงในรูปที่ 4.33 ถึง 4.35 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง, 300% มอดุลัส และ ระยะยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM เนื่องมาจากยางธรรมชาติ (NR) มีสมบัติเด่นด้านความต้านทานต่อแรงดึง ส่วนยางเอททิลีนโพรพิลีนไดอีน (EPDM) มีสมบัติด้อยด้านความต้านทานต่อแรงดึง เมื่อนำยางทั้งสองมาผสมกัน สมบัติที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณสัดส่วนของยางทั้งสองชนิด

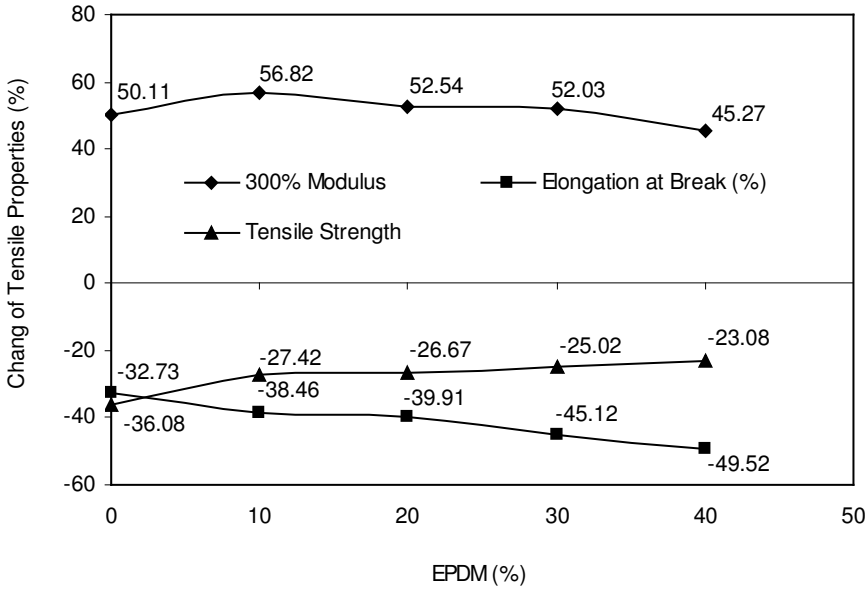
สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งพบว่าเมื่อเพิ่มยาง EPDM ในปริมาณที่มากขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่า ความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส มีแนวโน้มลดลง (ค่าติดลบน้อยลง) บ่งบอกถึงข้อเด่นด้านการทนต่อการถูกออกซิไดซ์ แต่ค่า ระยะยืด ณ จุดขาด ที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งมีแนวโน้มสูงขึ้น (ค่าติดลบมากขึ้น) แสดงว่ายางผสมมีข้อด้อยด้าน ระยะยืด ณ จุดขาด หลังการบ่มเร่ง




**รูปที่ 4.33** ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและ 300% มอดุลัส ของยางผสม




**รูปที่ 4.34** ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางผสม

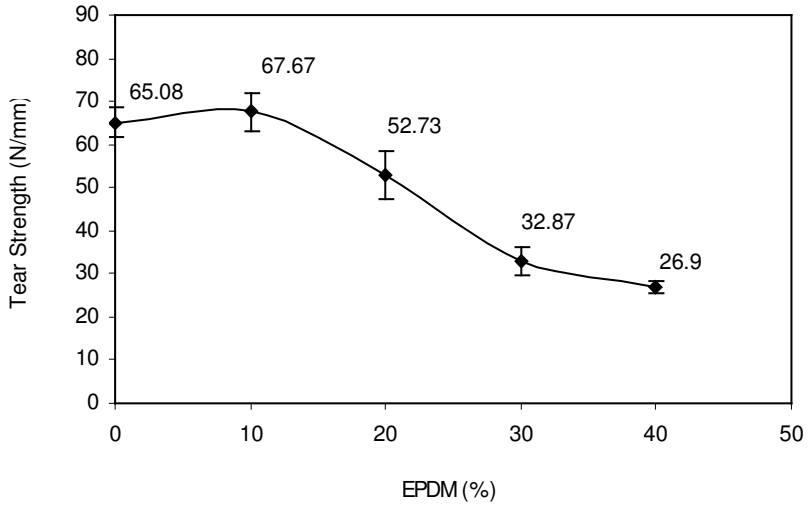



**รูปที่ 4.35** สมบัติของแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงหลังการบ่มเร่งของยางผสม

#### 4.1.5.4 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางผสม

ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางผสม EPDM/NR แสดงในรูปที่ 4.36 พบว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM แต่ที่ปริมาณสัดส่วนยาง 10% EPDM จะให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงสุดและสูงพอๆ กับยาง 0% EPDM และ

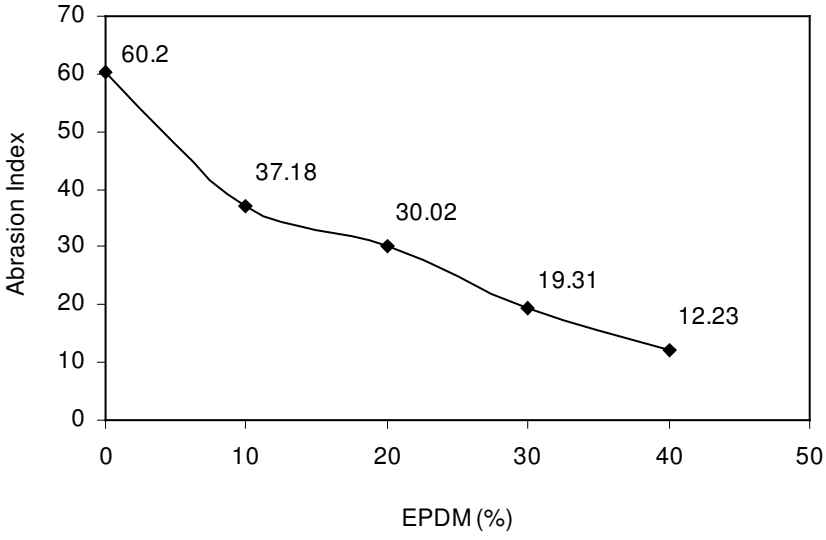
เมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนยาง 20% EPDM ขึ้นไปจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด




**รูปที่ 4.36** ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางผสม

**4.1.5.5 ผลการศึกษาความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติที่ใช้ยาง EPDM ในปริมาณต่างๆ**

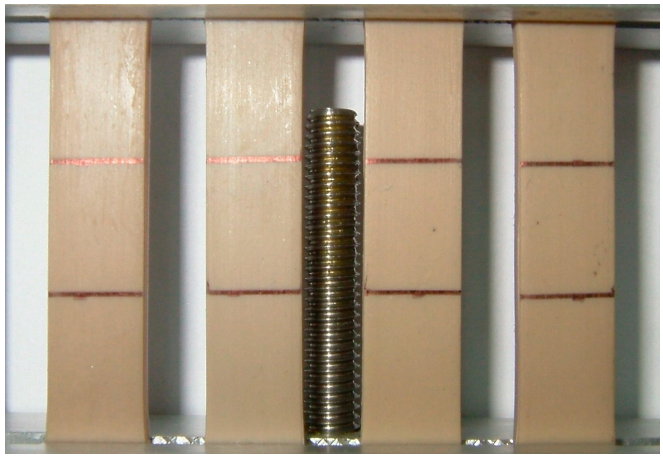
ความต้านทานต่อการสึกหรอของยางผสม EPDM/NR แสดงในรูปที่ 4.37 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีการสึกหรอ (A.I.) มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่ายางผสมที่มีปริมาณยาง EPDM มากขึ้นจะไม่ทนทานต่อการขัดถู




**รูปที่ 4.37** ค่าดัชนีความต้านทานต่อการสึกหรอของยางผสม

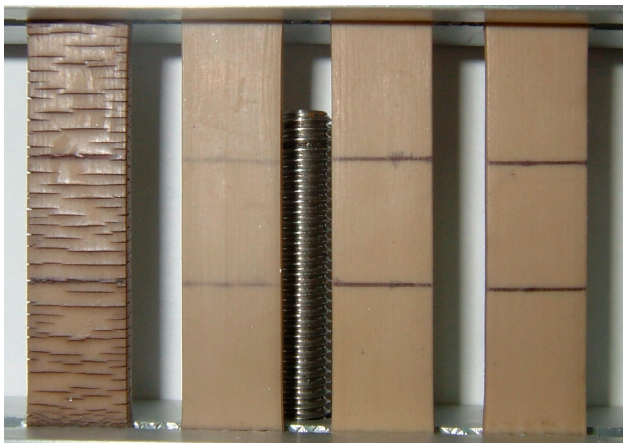
**4.1.5.6 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อโอโซนของยางผสม**

ความต้านทานต่อโอโซนของยางผสม EPDM/NR แสดงในรูปที่ 4.38 และ 4.39 พบว่ายางผสมที่ใช้ปริมาณยาง 10% EPDM จะเห็นได้ว่ายางผสมจะเกิดรอยแตกในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการดึง และสีของยางผสมก็เปลี่ยนเข้มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการทดสอบใช้ความเข้มโอโซน 50 pphm จึงเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ส่วนยางผสมที่ใช้ปริมาณยาง 20% EPDM ขึ้นไปพบว่ายางผสมจะไม่เกิดรอยแตกแต่สีจะเปลี่ยนเข้มขึ้นเล็กน้อย



**EPDM 10%  EPDM 20%  EPDM 30%  EPDM 40%**

**รูปที่ 4.38** ลักษณะยางผสมก่อนอบด้วยตู้อบโอโซน

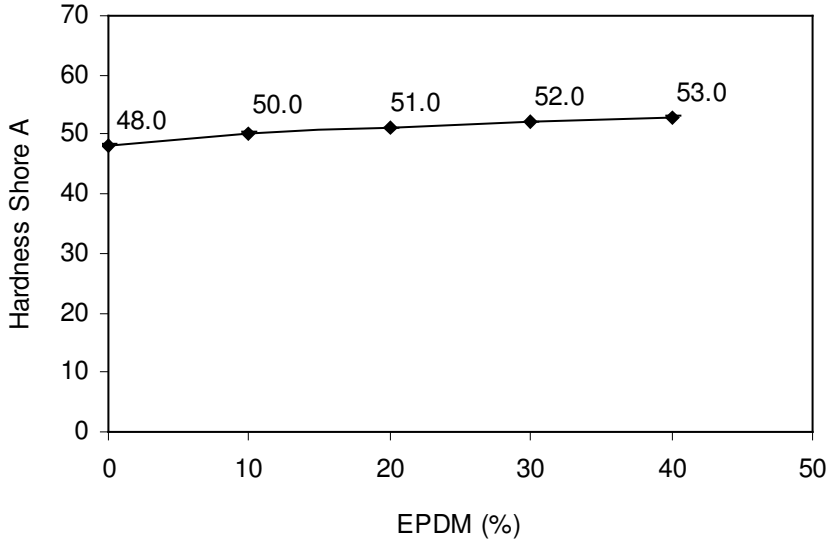


**EPDM 10%  EPDM 20%  EPDM 30%  EPDM 40%**

**รูปที่4.39** ลักษณะยางผสมภายหลังจากอบด้วยตู้อบโอโซน

**4.1.5.7 ผลการศึกษาความแข็งของยางผสม**

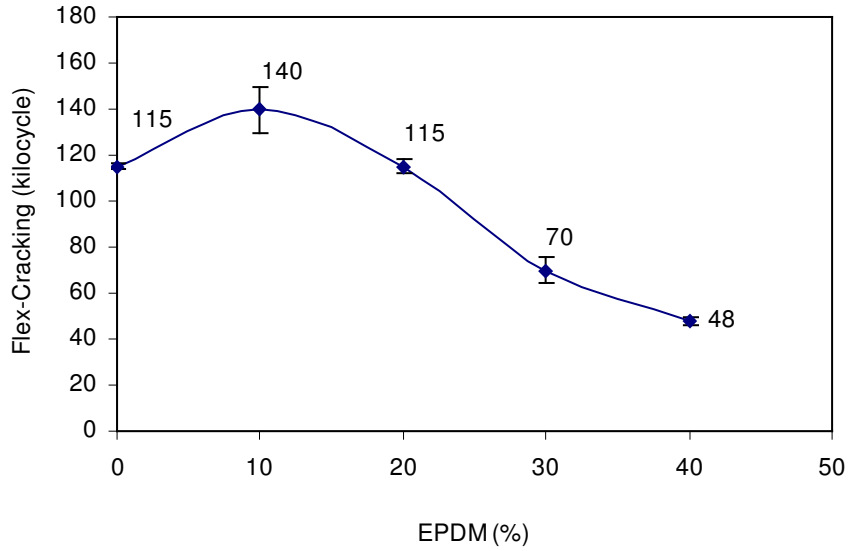
ความแข็งของยางผสม EPDM/NR แสดงในรูปที่ 4.40 เมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM ในปริมาณที่มากขึ้นพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น




**รูปที่ 4.40** ค่าความแข็งของยางผสม

#### 4.1.5.8 ผลการศึกษาความต้านทานต่อการหักงอของยางผสม

ความต้านทานต่อการหักงอของยางผสม EPDM/NR แสดงในรูปที่ 4.41 พบว่าค่าความต้านทานต่อการหักงอมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM แต่ที่ปริมาณยาง 10% EPDM จะให้ค่าความต้านทานต่อการหักงอสูงสุด และสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่มีส่วนผสมของยาง EPDM เมื่อเพิ่มปริมาณยาง 20% EPDM ขึ้นไปจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อการหักงอจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด




**รูปที่ 4.41** ค่าความต้านทานต่อการหักงอของยางผสม

**4.1.5.9 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกของยางผสม**

ความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกของยางผสม EPDM/NR แสดงในตารางที่ 4.20 พบว่าค่าความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกของยางผสมที่ใช้ยาง EPDM จะมีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ผสมยาง EPDM แต่ความต้านทานต่อการขยาย ตัวของรอยแตกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มยาง EPDM มากขึ้น

**ตารางที่ 4.20** ค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางผสม EPDM/NR

| ช่วงการขยายตัวของรอยแตก | จำนวนรอบของการขยายตัวของรอยแตก (Kilocycle) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | EPDM 0% | EPDM 10% | EPDM 20% | EPDM 30% | EPDM 40% |
| 2-4 mm | 3 ± 0.1 | 13 ± 0.1 | 5 ± 0.15 | 5 ± 0.17 | 5 ± 0.5 |
| 4-8 mm | 13 ± 0.5 | 150 ± 0.3 | 90 ± 0.44 | 32 ± 0.69 | 27 ± 0.52 |
| 8-12 mm | 20 ± 0.76 | >150 | >150 | 150 ± 0.77 | 130 ± 0.12 |

การใช้ยางผสม EPDM/NR ดีในแง่ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติด้านความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM พบว่าสมบัติอื่นๆ มีแนวโน้มลดลงเพราะฉะนั้นจะต้องเลือกสัดส่วนยางผสมให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ยาง จากการทดลองพบว่าที่ปริมาณยาง 20% EPDM จะให้สมบัติดีที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ จากลักษณะการใช้งานของถุงเก็บน้ำจะต้องมีการยก โยน และชักลาก ดังนั้นยางชั้นผิวหน้าจะต้องมีสมบัติ ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการขัดถู และการติดประสานกับผ้าใบไนลอน ซึ่งเมื่อใช้ยางธรรมชาติจะให้สมบัติดังกล่าว ส่วนยางผสม EPDM/NR จะให้สมบัติความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม ความต้านทานต่อการหักงอ และความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตก ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ยางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวในการนำมาเป็นสูตรยางชั้นผิวหน้า สูตรยางชั้นผิวหน้าที่เหมาะในการทำถุงเก็บน้ำแสดงไว้ในตารางที่ 4.21

**ตารางที่ 4.21** สูตรยางชั้นผิวหน้าที่เหมาะที่สุดที่จะนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ

| Ingredient | Loading (phr) |
|---|---|
| RSS No.3 | 100 |
| Sulphur | 2.5 |
| Stearic acid | 2 |
| Zinc oxide | 5 |
| Hi Sil 233 | 30 |
| CBS | 1 |
| TMTM | 0.2 |
| 6PPD | 1 |
| Silane | 0.9 |
| PEG 4000 | 1.8 |
| Paraffin wax | 2 |
| Spindle oil | 3 |

## 4.2 ผลการศึกษาการพัฒนาสูตรยางระหว่างชั้นผ้าใบ

การศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเหนียว (Tackifier) ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างชั้นของผ้าใบ เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความเหนียวในการพัฒนาเป็นสูตรยางระหว่างชั้นผ้าใบ เพื่อเป็นตัวติดประสานระหว่างชั้นผ้าใบและสูตรยางชั้นผิวหน้า ในการทำผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ศึกษา คือ คูมาโรนเรซินและชันสน สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเหนียวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.22

**ตารางที่ 4.22** สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเหนียว ต่อสมบัติการติดประสานระหว่างชั้นของผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย

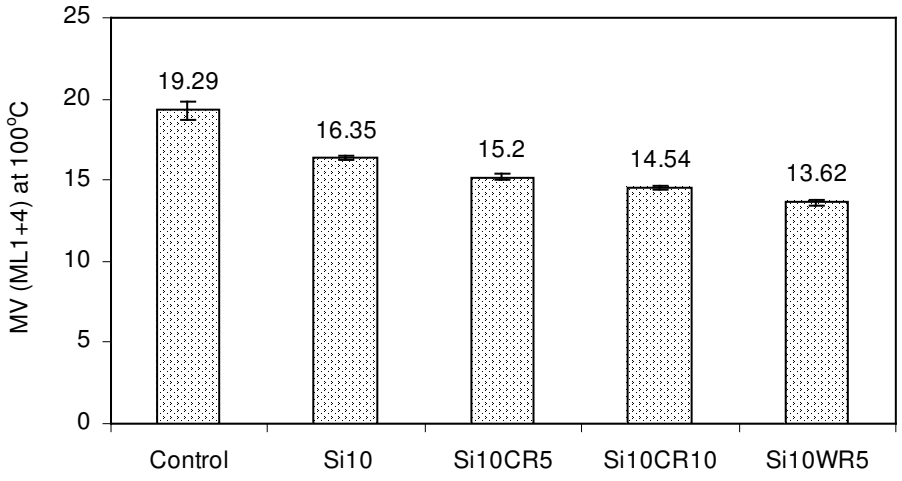
| Ingredient | Loading (phr) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Control | Si10 | Si10CR5 | Si10CR10 | Si10WR5 |
| RSS No.3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Sulphur | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Stearic acid | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Zinc oxide | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **Hi-Sil 233** | - | **10** | **10** | **10** | **10** |
| CBS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6PPD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Coumarone Resin** | - | - | **5** | **10** | - |
| **Wood Rosin** | - | - | - | - | **5** |
| PEG 4000 | - | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Spindle oil | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

**หมายเหตุ** Si10 คือ Silica (Hi-Sil 233) ปริมาณ 10 phr
CR5 คือ Coumarone Resin ปริมาณ 5 phr
CR10 คือ Coumarone Resin ปริมาณ 10 phr
WR5 คือ Wood Rosin ปริมาณ 5 phr

### 4.2.1 ผลการศึกษาความหนืดมูนนีของยางคอมปาวด์

ความหนืดมูนนีของยางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความเหนียวชนิดชันสน และคูมาโรนเรซิน แสดงในรูปที่ 4.42 พบว่าความหนืดมูนนีของยางธรรมชาติที่ไม่ใส่สารเพิ่มความเหนียวและสารเสริมแรง จะมีความหนืดสูงสุดเนื่องมาจากบดผสมง่ายใช้เวลาในการผสมน้อยจึงทำให้ความหนืดสูง เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเหนียวจะทำให้ค่าความหนืดมูนนีลดลง ผลมาจากสารเพิ่มความเหนียวจะมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้ยางนิ่มลง ดังนั้นการเติมสารกลุ่มนี้จะช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ด้วย (พงษ์ธร, 2548) และที่ปริมาณสารเพิ่มความเหนียว 5 phr เท่า

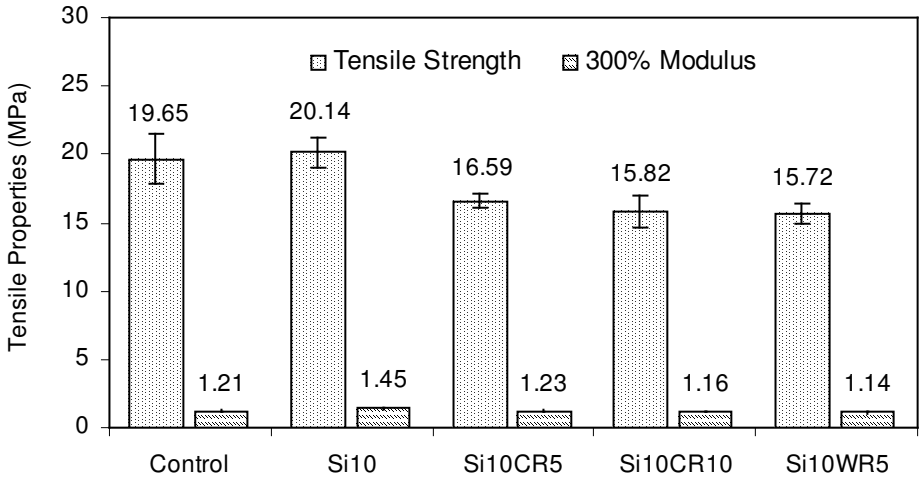
กัน พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความเหนียวชนิดชันสน จะให้ค่าความหนืดมูนนีต่ำกว่ายางธรรมชาติที่ใช้คูมาโรนเรซิน



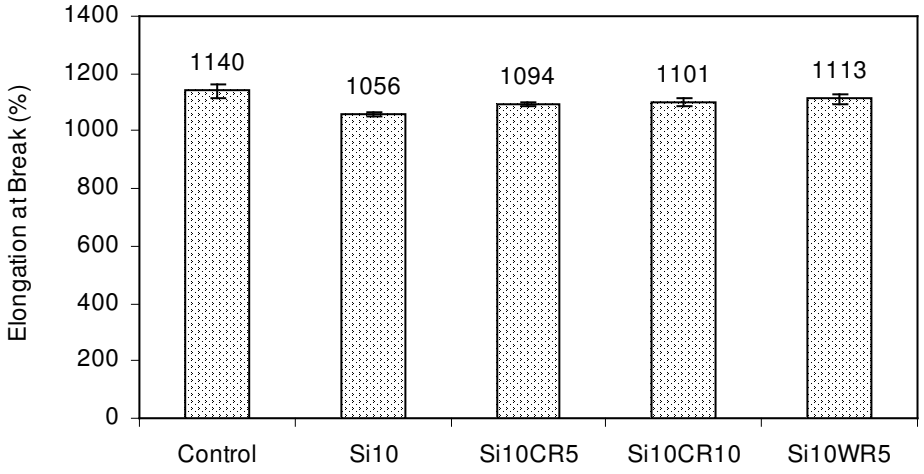

**รูปที่ 4.42** ค่าความหนืดมูนนีของยางธรรมชาติที่ใช้ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเหนียวต่างชนิดกัน

#### 4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความเหนียวชนิดชันสนและคูมาโรนเรซินแสดงในรูปที่ 4.43 และ 4.44 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเหนียวทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส มีแนวโน้มลดลง แต่ค่าระยะยืด ณ จุดขาด กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงระหว่างยางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความเหนียวชนิดชันสน และคูมาโรนเรซินที่ปริมาณ 5 phr เท่ากัน พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้คูมาโรนเรซินจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส สูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้ชันสนแต่ในทางกลับกันค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้ชันสนมีค่าสูงกว่า คูมาโรนเรซิน ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่ใช้ซิลิกา 10 phr (Si10) > Control > คูมาโรนเรซิน 5 phr > คูมาโรนเรซิน10 phr > ชันสน 5 phr




**รูปที่ 4.43** ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ 300% มอดุลัส ของยางธรรมชาติที่ใช้ชนิด และปริมาณสารเพิ่มความเหนียวต่างชนิดกัน



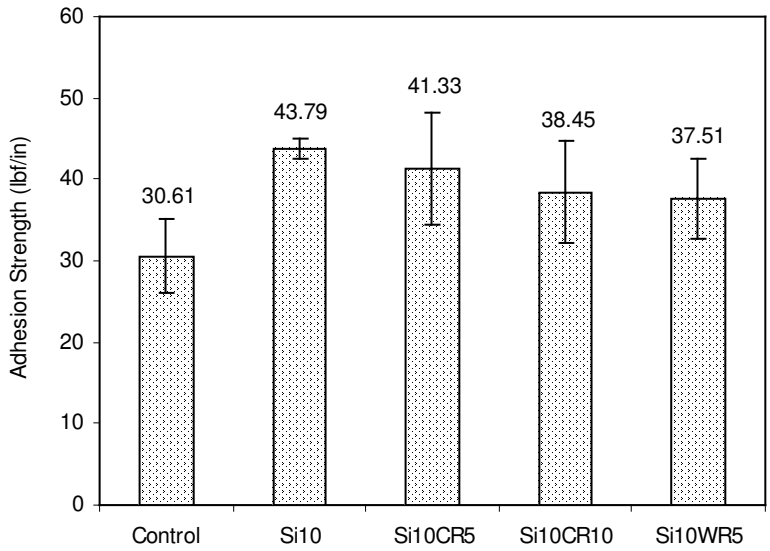

**รูปที่ 4.44** ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติที่ใช้ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเหนียวต่างชนิดกัน

### 4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเหนียว (Tackifier) ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างชั้นของผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย

นำยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 4.22 เคลือบลงบนผ้าใบทั้งสองด้านด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง (Calender) จากนั้นนำแผ่นยางธรรมชาติที่เคลือบผ้าใบแล้วมาวางซ้อนกัน 5 ชั้น แล้ววัลคาไนซ์เตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบการยึดติดระหว่างชั้นของผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D413 โดยใช้ชิ้นทดสอบขนาด 25×150 mm จากนั้นดึงชั้นผ้า

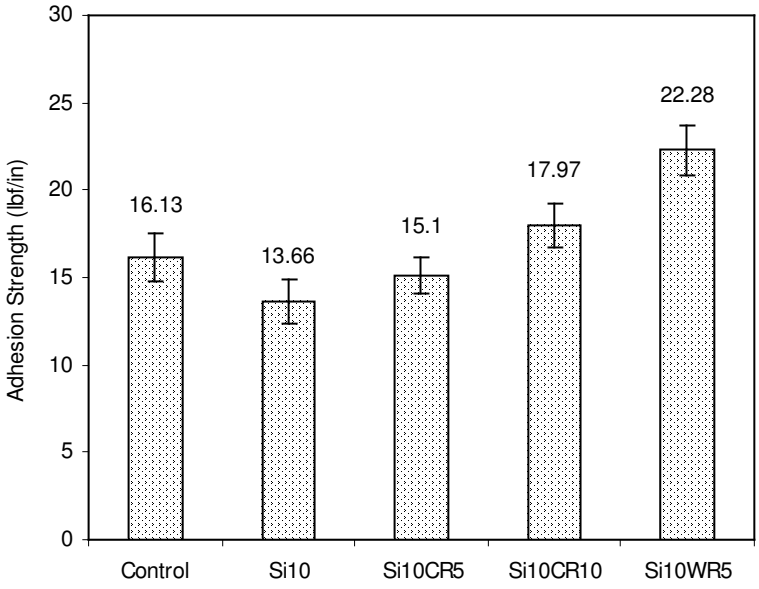
ใบให้ปอกออกจากกันด้วยอัตราเร็ว 50.8 mm/min ในทิศทางตรงกันข้าม 180° ด้วยเครื่อง Tensile testing machine ดึงให้แยกออกจากกันอย่างน้อย 100 mm จดค่าแรงดึง 3 ค่า คือ ค่าสูงสุด ค่ากลาง และค่าต่ำสุด คำนวณเป็นแรงเฉลี่ย ตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.12 ได้ผลดังรูปที่ 4.45 ถึง 4.46

จากรูปที่ 4.45 เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเหนียวจาก 5 phr เป็น 10 phr พบว่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นของผ้าใบไนลอนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารเพิ่มความเหนียว ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้ปริมาณสารเพิ่มความเหนียวปริมาณ 5 phr เท่ากัน พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความเหนียวชนิดคูมาโรนเรซิน จะมีความแข็งแรงการยึดติดระหว่างชั้นของผ้าใบไนลอนสูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความเหนียวชนิดชันสน ส่วนยางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารเพิ่มความเหนียวและสารเสริมแรง พบว่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างชั้นของผ้าใบไนลอนมีค่าต่ำสุด การที่เพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเหนียวแล้วทำให้การยึดติดระหว่างชั้นของผ้าใบไนลอนลดลง คาดว่าเป็นผลมาจากปริมาณสารเพิ่มความเหนียวที่เติมเข้าไปทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของยางธรรมชาติลดลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติชั้นของผ้าใบไนลอนลดลง




**รูปที่ 4.45** ค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างชั้นของผ้าใบไนลอน ของยางธรรมชาติที่ใช้ชนิดและปริมาณสารเพิ่มความเหนียวต่างชนิดกัน

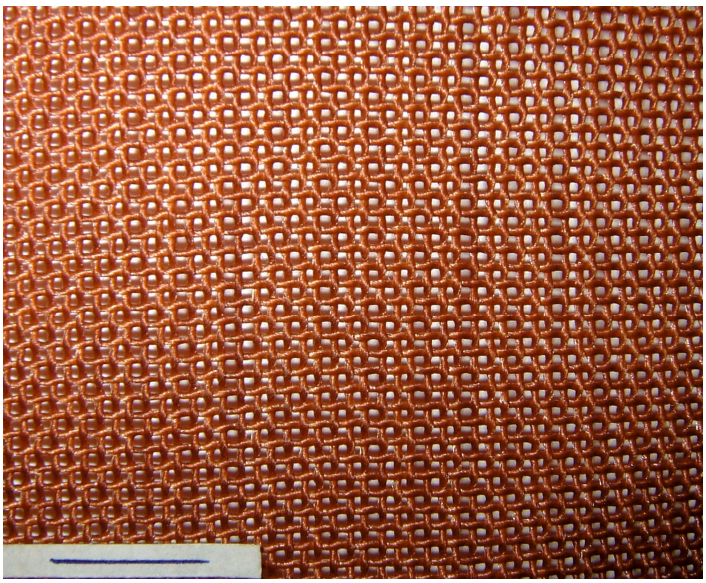
จากรูปที่ 4.46 เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความเหนียว พบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นผ้าฝ้ายมีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความเหนียวชนิดคูมาโรนเรซิน กับ ชันสนในปริมาณ 5 phr เท่ากัน พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความเหนียวชนิดชันสนจะให้ค่าการยึดติดระหว่างชั้นผ้าฝ้าย สูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้คูมาโรนเรซินประมาณ 31.5 เปอร์เซ็นต์



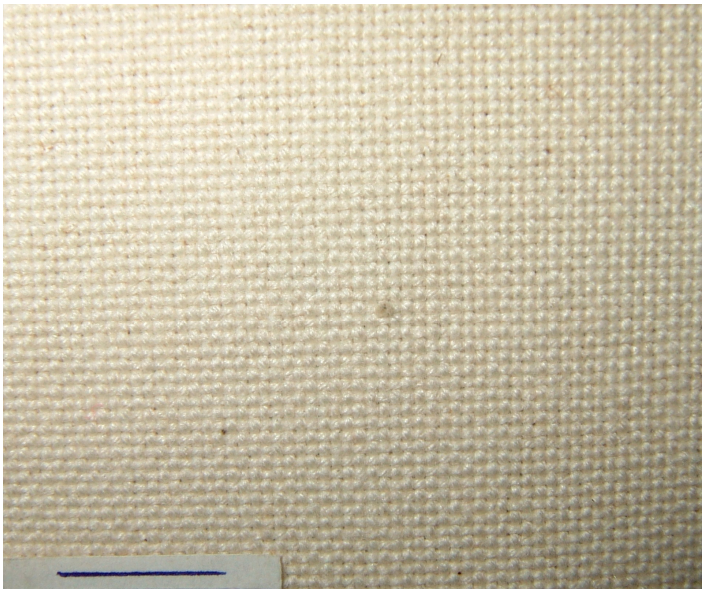

**รูปที่ 4.46** ค่าความแข็งแรงการยึดติดระหว่างชั้นของผ้าฝ้าย ของยางธรรมชาติที่ใช้ชนิด และปริมาณสารเพิ่มความเหนียวต่างชนิดกัน

โครงสร้างการถักทอของผ้าไนลอนและผ้าฝ้ายมีความแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.47 และ 4.48 คาดว่าเป็นสาเหตุทำให้การยึดติดระหว่างชั้นผ้าใบไนลอนกับยางธรรมชาติสูงกว่าผ้าฝ้าย เนื่องจากช่องว่างระหว่างเส้นใยของผ้าใบไนลอนห่างกว่าผ้าฝ้าย จึงทำให้ยางธรรมชาติที่เคลือบบนผ้าใบไนลอนแต่ละชั้นเชื่อมถึงกัน เป็นผลให้ยางธรรมชาติยึดติดเป็นเนื้อเดียวกันแสดงในรูปที่ 4.49 ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นผ้าไนลอนกับยางธรรมชาติสูงขึ้น ส่วนชั้นผ้าฝ้ายกับยางธรรมชาติดังรูปที่ 4.50 จะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติเพียงแค่เคลือบติดบนผิวของผ้าฝ้ายไม่ถึงกับแทรกเข้าไปในเนื้อผ้าฝ้าย จึงเป็นผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นผ้าฝ้ายกับยางธรรมชาติต่ำกว่าผ้าไนลอน แต่เมื่อใช้ยางธรรมชาติที่มีสารเพิ่มความเหนียวในปริมาณที่มาก หรือใช้ยางธรรมชาติที่ไม่ใส่สารเสริมแรงนำมาเคลือบลงบนผ้าฝ้าย จะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติสามารถแทรกเข้าไปในเนื้อผ้าฝ้ายดังรูปที่ 4.51 เป็นผลให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นผ้าฝ้าย

กับยางธรรมชาติมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ก็ไม่สูงเท่ากับการยึดติดระหว่างชั้นผ้าใบไนลอนกับยางธรรมชาติ

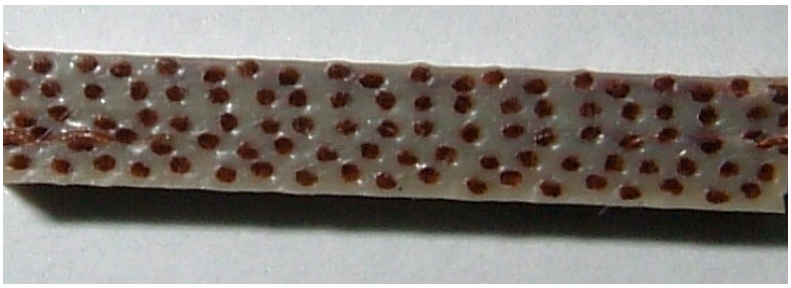


**รูปที่ 4.47** ลักษณะโครงสร้างการถักทอของผ้าใบไนลอน

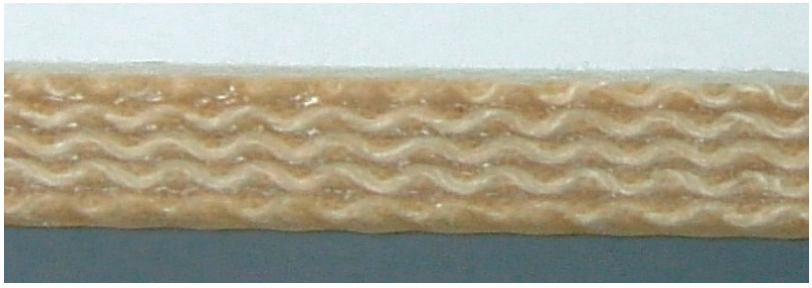


**รูปที่ 4.48** ลักษณะโครงสร้างการถักทอของผ้าฝ้าย

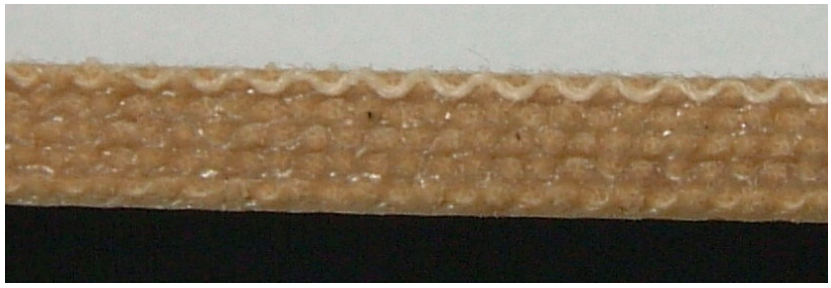
**หมายเหตุ** เส้นสีดำที่ขีดบนผ้าใบในแนวนอนมีขนาดเท่ากับ 1 cm



**รูปที่ 4.49** ภาพตัดขวางของชั้นผ้าใบไนลอนกับยางธรรมชาติ (สูตร Si10)



**รูปที่ 4.50** ภาพตัดขวางของชั้นผ้าฝ้ายกับยางธรรมชาติ (สูตร Si10)



**รูปที่ 4.51** ภาพตัดขวางของชั้นผ้าฝ้ายกับยางธรรมชาติ (สูตร Si10WR5)

สูตรยางระหว่างชั้นผ้าใบที่เหมาะสมสำหรับผ้าใบไนลอนคือ Si-10 และ Si10CR5 ส่วนสูตรยางที่เหมาะสมสำหรับผ้าฝ้ายคือ Si10WR5 แสดงในตารางที่ 4.23

**ตารางที่ 4.23** สูตรยางระหว่างชั้นผ้าใบที่เหมาะสมสำหรับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย

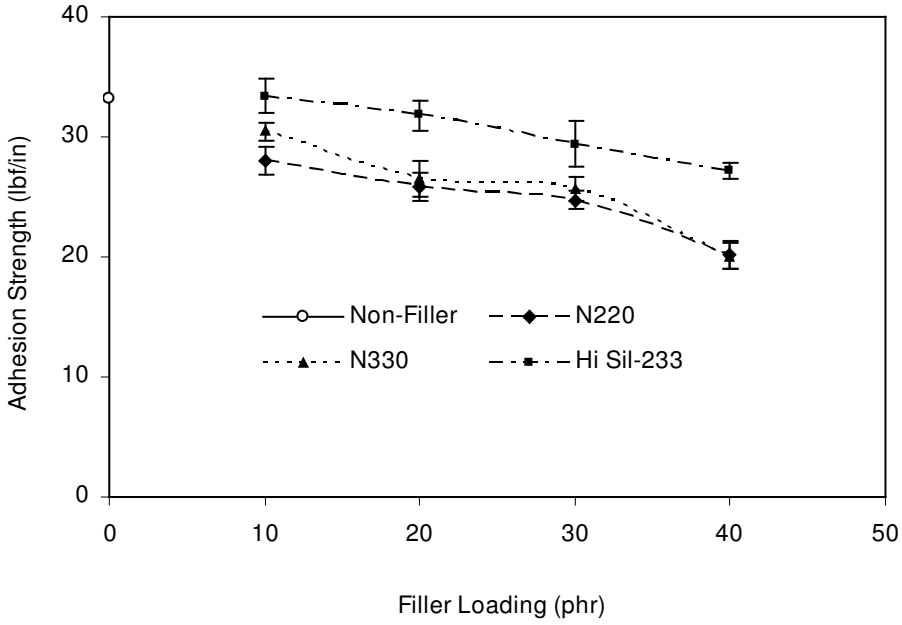
| **Ingredient** | **Loading (phr)** | | |
|---|---|---|---|
| | **Si10** | **Si10CR5** | **Si10WR5** |
| RSS No.3 | 100 | 100 | 100 |
| Sulphur | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Stearic acid | 2 | 2 | 2 |
| Zinc oxide | 5 | 5 | 5 |
| **Hi-Sil 233** | **10** | **10** | **10** |
| CBS, 6PPD | 1 | 1 | 1 |
| **Coumarone Resin** | **-** | **5** | **-** |
| **Wood Rosin** | **-** | **-** | **5** |
| PEG 4000 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Spindle oil | 3 | 3 | 3 |

**4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารเสริมแรง (N220, N330 และ Hi-Sil 233), Si-69และยาง EPDM ต่อสมบัติการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย**

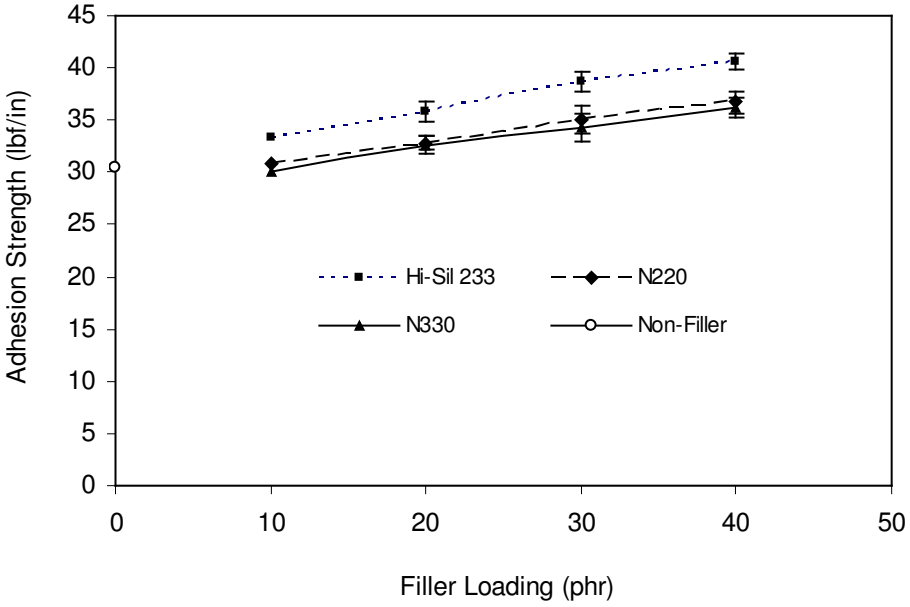
การติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย โดยใช้สูตรยางตามตารางที่ 4.1, 4.2, 4.15 และ 4.19 ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1876 ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.8 ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.52 ถึง 4.55 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้ผ้าใบไนลอนจะให้ค่าความแข็งแรงของการติดประสาน สูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้ผ้าฝ้ายและเมื่อเพิ่มปริมาณสารเสริมแรง (N220, N330 และ Hi-Sil 233) และ Si-69 พบว่าค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้ายมีแนวโน้มลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของการติดประสาน ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรงต่างชนิดกัน พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง Hi-Sil 233 จะให้ค่าความแข็งแรงของการติดประสานสูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้ N220 และ N330

ส่วนค่าความแข็งแรงของการติดประสานของยางผสม EPDM/NR พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณยาง EPDM

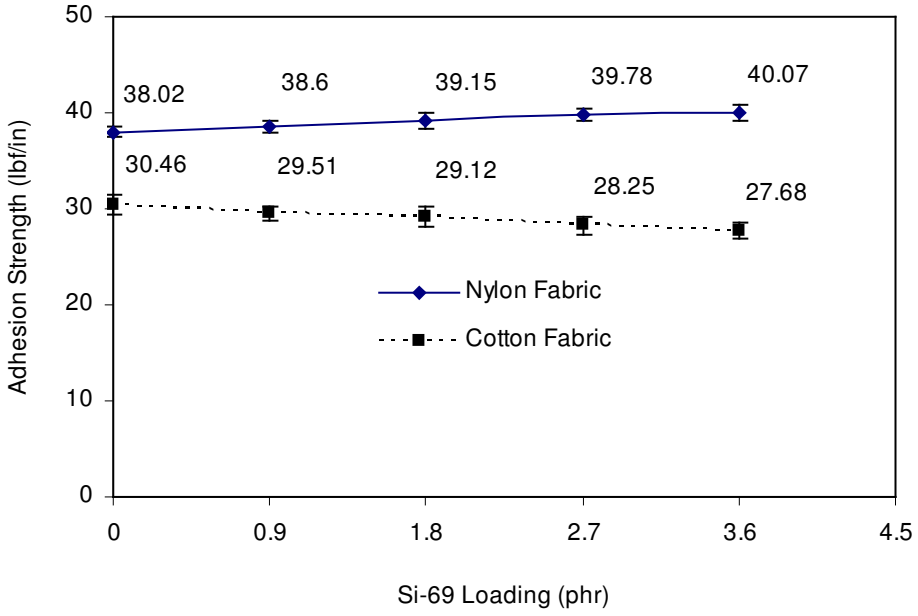
เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนมีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อการฉีกขาด หมายความว่าถ้ายางธรรมชาติมีค่าดังกล่าวสูง แสดงว่าค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน จากโครงสร้างการถักทอของผ้าไนลอนจะมีช่องว่างระหว่างเส้นใยห่างกว่าผ้าฝ้าย จึงทำให้ยางธรรมชาติที่เคลือบผ้าใบไนลอนทั้งสองด้านเชื่อมถึงกัน เมื่อทดสอบการดึงลอกพบว่าค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนผ้าฝ้ายจะให้ค่าการติดประสานกับยางธรรมชาติที่มีความเหนียว (Tack) ได้ดี เช่น ยางธรรมชาติที่มีสารเสริมแรงในปริมาณที่น้อยๆ เป็นต้น



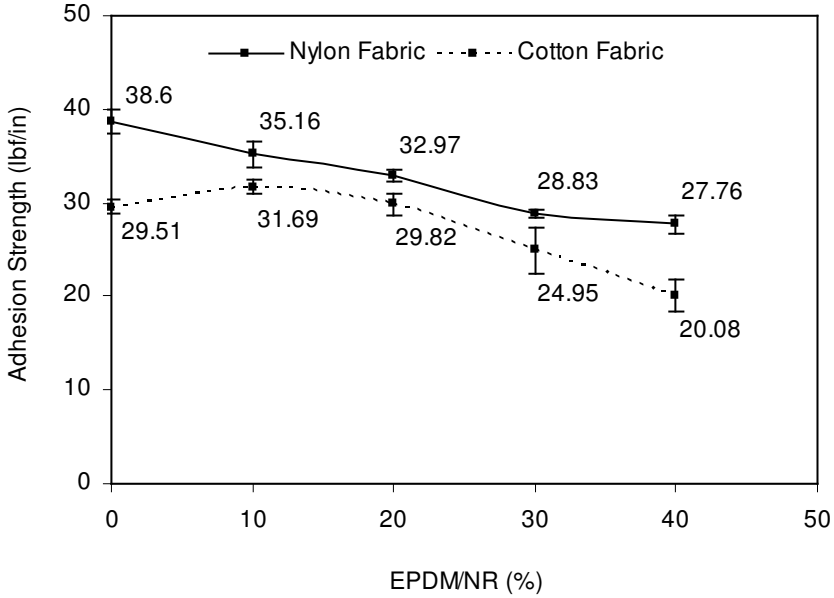

**รูปที่ 4.52** ค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้าย ของยางธรรมชาติที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233




**รูปที่ 4.53** ค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอน ของยางที่ใช้สารเสริมแรง N220, N330 และ Hi-Sil 233




**รูปที่ 4.54** ค่าความแข็งแรงการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย ของยางธรรมชาติที่ใช้ Si-69 ปริมาณต่างๆ




**รูปที่ 4.55** ค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางผสม (EPDM/NR) กับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย

### 4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของกาวยางธรรมชาติ (Rubber Adhesive) ต่อสมบัติการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้าย

จากการศึกษาสมบัติการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย พบว่าปริมาณสารเสริมแรงและ Si-69 ส่งผลต่อความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย โดยที่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเสริมแรงและ Si-69 มากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าไนลอนสูงขึ้น แต่ความแข็งแรงของการติดประสานมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ผ้าฝ้าย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของกาวยางธรรมชาติต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้าย เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการเลือกใช้ชนิดของผ้าใบในการทำผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของกาวยางธรรมชาติต่อสมบัติการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้ายแสดงไว้ในตารางที่ 4.24

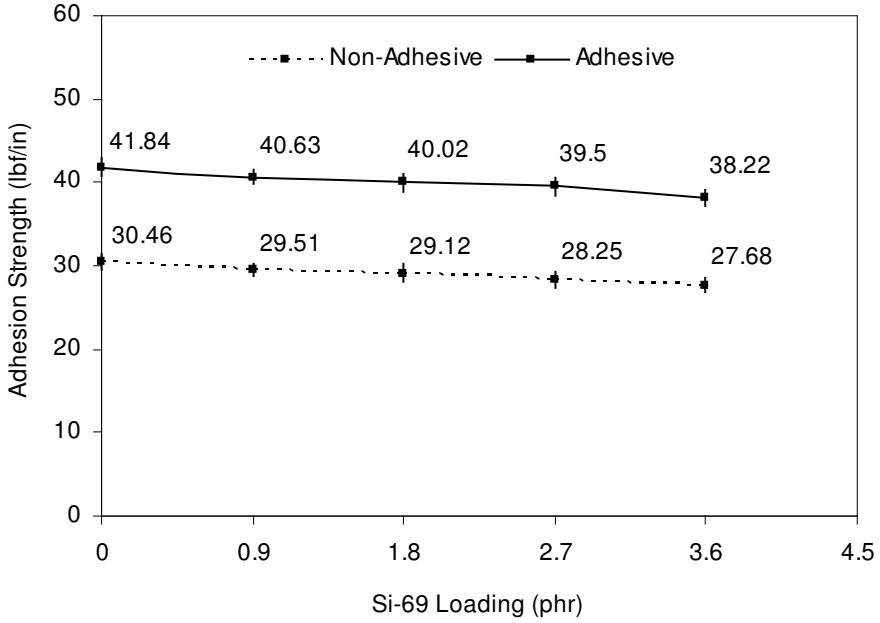
**ตารางที่ 4.24** สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของกาวยางธรรมชาติ ต่อสมบัติการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้าย

| Ingredient | Loading (phr) |
|---|---|
| STR 5L | 100 |
| Sulphur | 2.5 |
| ZnO | 5 |
| Stearic acid | 1 |
| Wing Stay L | 1 |
| TMTM | 1 |
| Coumarone resin | 5 |

**4.4.1 ผลการศึกษาสมบัติการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยกาวยางธรรมชาติ**

นำยางคอมปาวด์ที่ได้จากตารางที่ 4.24 มาละลายในตัวทำละลายโทลูอีนได้เป็นสารละลายกาวยางธรรมชาติแล้วทาลงบนผ้าฝ้ายโดยใช้มีดปาด ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 วัน ความหนาของผ้าฝ้ายที่เคลือบยางแล้วเฉลี่ยประมาณ 0.67 mm จากนั้นใช้สูตรยางตามตารางที่ 4.15 เคลือบบนกาวยางด้วยเครื่องอัดเบ้าโดยใช้ผ้าฝ้ายและยางธรรมชาติวางสลับชั้น ตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาด 25×125 mm ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1876 ด้วยเครื่อง Tensile testing machine ดึงลอกแผ่นยางออกจากผ้าฝ้ายด้วยอัตราเร็ว 254 mm/min ในทิศทางตรงกันข้าม $180^{o}$ ตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.8 ได้ผลดังรูปที่ 4.56

จากรูปที่ 4.56 พบว่าผ้าฝ้ายที่ทากาวยางธรรมชาติก่อนที่จะเคลือบด้วยสูตรยางตามตารางที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้ายสูงขึ้นและสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ใช้กาวยางธรรมชาติ เนื่องมาจากสารละลายกาวยางธรรมชาติสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อผ้าฝ้ายได้ เมื่อกาวยางธรรมชาติแห้งยางธรรมชาติบางส่วนจะฝังอยู่ในเนื้อผ้าฝ้าย ส่วนยางธรรมชาติที่นำมาเคลือบก็จะติดประสานกับยางธรรมชาติที่ฝังอยู่ในผ้าฝ้าย จึงทำให้การติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้ายดีขึ้น




**รูปที่ 4.56** ค่าความแข็งแรงของการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าฝ้าย ของผ้าฝ้ายที่เคลือบกาวยางธรรมชาติ และไม่เคลือบกาวยางธรรมชาติ

สรุปได้ว่าการใช้กาวยางธรรมชาติ จะให้ค่าการยึดติดเป็นที่น่าพอใจและถ้าต้องการนำผ้าฝ้ายที่มีเนื้อแน่นไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทผ้าใบเคลือบด้วยยาง แนะนำให้ทากาวยางธรรมชาติก่อนจะทำให้การติดประสานระหว่างยางกับผ้าใบสูงขึ้นและสูงพอๆ กับผ้าใบไนลอน

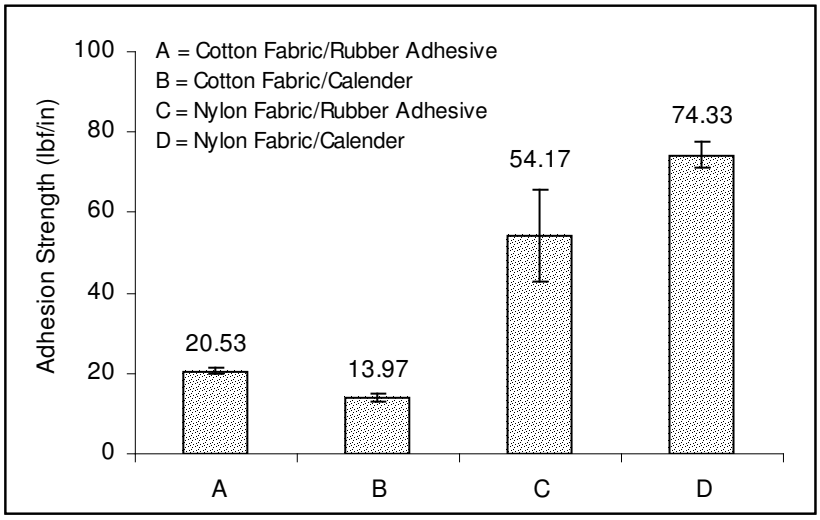
**4.5 ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการเคลือบยางลงบนผ้าใบด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง (Calender) และการเคลือบโดยใช้สารละลายกาวยาง (Rubber Adhesive) ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างชั้นยางกับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย**

ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการเคลือบยางลงบนผ้าใบด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง และเทคนิคการเคลือบโดยใช้สารละลายกาวยางธรรมชาติ ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างชั้นยางกับผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย สูตรยางที่ใช้ในการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.25

**ตารางที่ 4.25** สูตรยางที่ใช้การศึกษาเทคนิคการเคลือบยางลงบนผ้าใบด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง (Calender) และการเคลือบโดยใช้สารละลายกาวยาง (Rubber Adhesive)

| Ingredient | Loading (phr) |
|---|---|
| RSS No.3 | 100 |
| Sulphur | 2.5 |
| Stearic acid | 2 |
| Zinc oxide | 5 |
| Hi-Sil 233 | 30 |
| CBS, 6PPD, Paraffin wax | 1 |
| Si-69 | 0.9 |
| PEG | 1.8 |
| Spindle oil | 1.8 |

นำยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 4.25 เคลือบลงบนผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้าย ด้วยเทคนิคการเคลือบโดยใช้สารละลายกาวยางธรรมชาติและเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง เตรียมชิ้นทดสอบและทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างชั้นยางกับผ้าใบดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.12 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.57 พบว่าเทคนิคการเคลือบยางลงบนผ้าใบด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง จะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นผ้าใบสูงกว่าเทคนิคการเคลือบด้วยสารละลายกาวยาง ส่วนผ้าใบไนลอนที่เคลือบด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง จะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดสูงกว่าผ้าใบไนลอนที่เคลือบด้วยเทคนิคสารละลายกาวยาง คาดว่าเป็นผลมาจากตัวทำละลายที่ใช้มีส่วนทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลของยางเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงของยางลดลง เมื่อความต้านทานต่อแรงดึงต่ำทำให้ชั้นระหว่างยางธรรมชาติกับผ้าไนลอนดึงลอกออกจากกันได้ง่าย ดังนั้นความต้านทานต่อแรงดึงจึงมีผลต่อความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นผ้าใบไนลอนกับยางธรรมชาติ แต่เมื่อใช้ผ้าฝ้ายพบว่าเทคนิคการเคลือบผ้าใบด้วยสารละลายกาวยางจะให้ค่าสูงกว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง คาดว่าเป็นผลมาจากสารละลายกาวยางสามารถแทรกเข้าไปในเนื้อผ้าฝ้ายได้ และเมื่อตัวทำละลายแห้งยางคอมปาวด์จะฝังอยู่ในเนื้อผ้าฝ้าย ส่งผลให้มีค่าการยึดติดสูงกว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง อย่างไรก็ตามเทคนิคการเคลือบยางลงบนผ้าใบทั้งสองวิธีจะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นผ้าใบไนลอนสูงกว่าผ้าฝ้าย




**รูปที่ 4.57** ค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างชั้นผ้าใบ ของผ้าใบที่ใช้เทคนิคการเคลือบยางโดยใช้เครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง และการเคลือบโดยใช้สารละลายกาวยาง

### 4.6 ผลการศึกษาทิศทางการวางตัวของเส้นใยต่อความแข็งแรงของผ้าใบ

ทำการศึกษาทิศทางการวางตัวของเส้นใย ต่อความแข็งแรงของผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยยางแล้ว โดยกำหนดให้เส้นใยทำมุม 0 °/90 ° และ มุม ±45° สูตรยางที่ใช้ศึกษาแสดงในตารางที่ 4.26

**ตารางที่ 4.26** สูตรยางที่ใช้ศึกษาทิศทางการวางตัวของเส้นใยเมื่อให้เส้นใยทำมุม ±45° และ 0 °/90 ° ต่อความแข็งแรงของผ้าใบ

| Ingredient | Loading (phr) |
|---|---|
| RSS No.3 | 100 |
| Sulphur | 2.5 |
| Stearic acid | 2 |
| Zinc oxide | 5 |
| Hi-Sil 233 | 30 |
| CBS, 6PPD, Paraffin wax | 1 |
| Si-69 | 0.9 |
| PEG | 1.8 |
| Spindle oil | 1.8 |

นำยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 4.25 เคลือบลงบนผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปเตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.13 จากนั้นตัดเป็นชิ้นทดสอบให้เส้นใยทำมุม 0 °/90 ° และ ± 45° ขนาดชิ้นทดสอบ 25×150 mm ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ASTM D5035 โดยใช้เครื่อง Tensile testing machine ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.26 และ 4.27 และรูปที่ 4.58

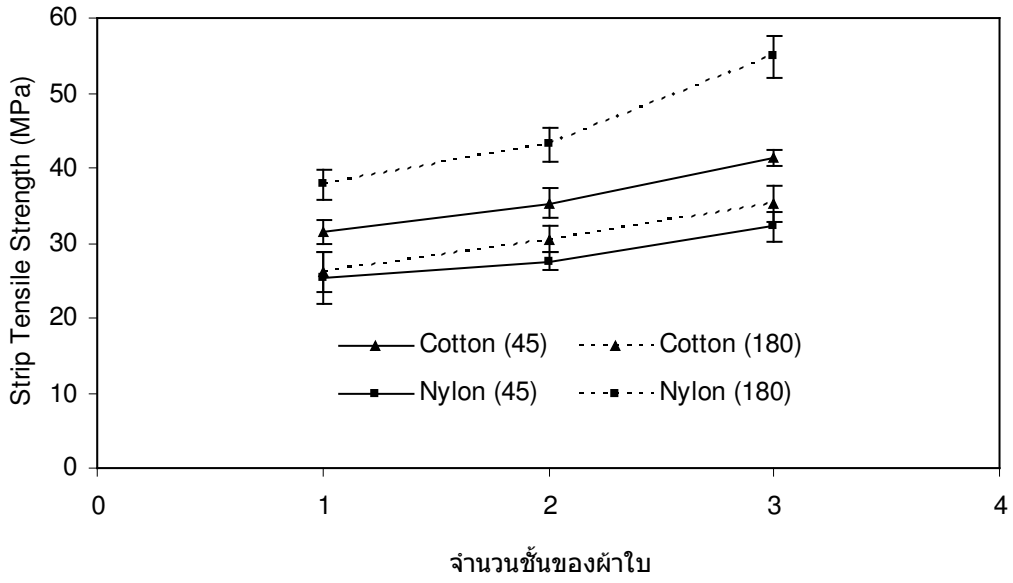
จากตารางที่ 4.27 และ 4.28 และรูปที่ 4.58 เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของผ้าใบพบว่าทั้งผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายมีความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ทิศทางการวางตัวของเส้นใยมีผลต่อความแข็งแรงของผ้าใบ จากการทดลองพบว่าผ้าใบไนลอนจะมีความทนต่อแรงดึงสูงเมื่อให้เส้นใยทำมุม 0 °/90 ° ส่วนผ้าฝ้ายจะมีความทนต่อแรงดึงสูงสุดเมื่อให้เส้นใย ทำมุม ± 45 ° เมื่อเปรียบเทียบความทนต่อแรงดึงระหว่างผ้าใบไนลอนกับผ้าฝ้าย จะเห็นได้ว่าผ้าใบไนลอนจะมีความทนต่อแรงดึงสูงกว่าผ้าฝ้าย ในกรณีที่ให้ ให้เส้นใยทำมุม 0 °/90 ° แต่เมื่อให้เส้นใยทำมุม ± 45 ° พบว่าผ้าฝ้ายจะมีความทนต่อแรงดึงสูงกว่าผ้าใบไนลอน คาดว่าเป็นผลมาจากโครงสร้างการถักทอของผ้าใบไนลอนมีช่องว่างระหว่างเส้นใยกว้างกว่าผ้าฝ้าย เมื่อทดสอบความทนต่อแรงดึงโดยเส้นใยที่ทำมุม ± 45 ° พบว่าเส้นใยแต่ละเส้นของผ้าใบไนลอนจะเกิดการไถลเข้าหากันทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างเส้นใย เป็นผลให้ความทนต่อแรงดึงต่ำ ส่วนผ้าฝ้ายจะมีความหนาแน่นของเส้นใยมากกล่าวคือ ช่องว่างระหว่างเส้นใยชิดกันมากทำให้ทนต่อแรงดึง เมื่อให้เส้นใย ± 45 °

**ตารางที่ 4.27** ค่าความทนต่อแรงดึง (Strip tensile strength) ของผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายที่เคลือบยางธรรมชาติแล้ว เมื่อให้เส้นใยทำมุม ± 45°

| **ค่าความทนต่อแรงดึง เมื่อให้เส้นใยทำมุม ± 45°** | | |
|---|---|---|
| **ชนิดของผ้าใบ** | **จำนวนชั้นผ้าใบ** | **ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)** |
| ผ้าไนลอน | 1 | 25.37 ± 3.51 |
| | 2 | 27.55 ± 1.14 |
| | 3 | 32.18 ± 2.02 |
| ผ้าฝ้าย | 1 | 31.45 ± 1.64 |
| | 2 | 35.31 ± 1.94 |
| | 3 | 41.23 ± 1.06 |

**ตารางที่ 4.28** ค่าความทนต่อแรงดึง (Strip tensile strength) ของผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายที่เคลือบยางธรรมชาติเมื่อให้เส้นใยทำมุม 0 °/90 °

| ค่าความทนต่อแรงดึง เมื่อให้เส้นใยทำมุม 0 °/90 ° | | |
|---|---|---|
| **ชนิดของผ้าใบ** | **จำนวนชั้นผ้าใบ** | **ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)** |
| ผ้าไนลอน | 1 | 37.77 ± 1.96 |
| | 2 | 43.10 ± 2.28 |
| | 3 | 54.88 ± 2.82 |
| ผ้าฝ้าย | 1 | 26.16 ± 2.64 |
| | 2 | 30.52 ± 1.85 |
| | 3 | 35.18 ± 2.30 |




**รูปที่ 4.58** ค่าความทนต่อแรงดึง (Strip tensile strength) ของผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายที่เคลือบยางแล้ว เมื่อให้เส้นใยทำมุม 0 °/90 ° และ ± 45°

### 4.7 ผลการทดสอบการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ

จากการทดสอบการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ พบว่าสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีในถิ่นทุรกันดาร เนื่องจากสามารถกลิ้ง ชักลาก ยก-โยน และเมื่อเทน้ำออกแล้วสามารถม้วนเก็บได้ ซึ่งเป็นจุดเด่นของผลิตภัณฑ์นี้ การทดสอบใช้งานจริงของถุงเก็บน้ำ แสดงในรูปที่ 4.59 ถึง 4.63

**รูปที่ 4.59** ทดสอบเติมน้ำปริมาตร 25 L

**รูปที่ 4.60** ทดสอบกลิ้งและชักลาก

**รูปที่ 4.61** ทดสอบยกและโยน

**รูปที่ 4.62** ทดสอบการถ่ายเทน้ำ

**รูปที่ 4.63** เมื่อเทน้ำออกแล้วสามารถม้วน หรือพับเก็บได้