

# Sulfron 3000 เพิ่มความต้านทานต่อการตัด แตะ หรือหลุดเป็นชิ้น

เรียบเรียงโดย ชญาภา นิ่มสุวรรณ

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

ถึงแม้ว่าการฉีกขาด (tearing) และการแตกหรือหลุดเป็นชิ้น (chipping or chunking) ส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้นกับยางออฟโรด แต่ปรากฏการณ์นี้ก็สามารถพบเห็นได้ในยางรถบรรทุกและยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่ายางล้อที่สัมผัสกับหินหรือขอบถนนที่แหลมคมบ่อยๆ จะเป็นสาเหตุให้ดอกยางเกิดการฉีกขาด แตก หรือหลุดเป็นชิ้นได้ ซึ่งส่งผลให้ยางล้อมีอายุการใช้งานสั้นลง

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีความพยายามที่จะปรับปรุงสูตรยางให้มีสมบัติความต้านทานต่อการตัดดังกล่าวให้ดีขึ้น แต่เมื่อนำสูตรยางเหล่านี้มาประกอบเข้าเป็นยางล้อก็จะประสบปัญหาเกี่ยวกับสมบัติอื่นที่สำคัญ เช่น เกิดความร้อนสะสมและฮิสเทอรีซิส

การนำเส้นใยยาวมาเสริมแรงในยางล้อนั้นมีมานานแล้ว แต่คอมโพสิตประเภทนี้จะถูกจำกัดการใช้งานเฉพาะเพียงแค่บางส่วน ของยางล้อเท่านั้น เช่น โครงยาง (carcass) เบลต์ (belt) หรือในสายพานและท่อยาง ส่วนคอมพาวด์ที่มีรูปร่างซับซ้อน เช่น ดอกยาง ขึ้นใต้ดอกยาง ไม่สามารถจะใช้ยางที่เสริมแรงด้วยเส้นใยยาวได้

สำหรับบทความนี้จะแนะนำการใช้ Sulfron 3000 ซึ่งเป็นเส้นใยอะรามิดที่จะใช้ผสมลงไปในสูตรทั่วไปของดอกยางล้อออฟโรด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการตัด แตกหรือหลุดเป็นชิ้น รวมถึงปรับปรุงฮิสเทอรีซิส ความร้อนสะสม (heat build up) และสมบัติเชิงพลวัตอื่นๆ ให้ดีขึ้นด้วย

## ทดลอง

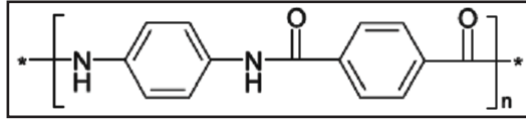
### 1. การผสมและการวัลคาไนซ์

ขั้นตอนแรกเตรียมยางมาสเตอร์แบตช์โดยการผสมยาง ซิงก์ออกไซด์ กรดสเตียริก เขม่าดำ น้ำมันอะโรมาติก และสารต้านการเสื่อมสภาพ (antidegradent) ในเครื่องผสมแบนนบุรี (banbury) (ตารางที่ 1)

สำหรับ Sulfron 3000 ซึ่งเป็นเส้นใยอะรามิด poly-(paraphenylene terephthalamide; PPTA) ที่ถูกตัดแปรด้วยกำมะถัน มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1 จะถูกเติมลงในเครื่องผสมแบนนบุรีโดยให้มีเวลาผสมที่นานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดี ในเนื้อยาง นำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปผสมกับสารวัลคาไนซ์ ได้แก่ N-cyclohexyl benzothiazyl sulfonamide (CBS) N,N'-diphenylguanidine (DPG) และกำมะถัน บนเครื่องผสมสองลูกกลิ้งและนำไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Mooney viscometer (MV 2000 E) และ Moving Die Rheometer (MDR 2000 EA) จากนั้นจึงนำไปวัลคาไนซ์ที่ 150°C เป็นเวลา 60 นาที (ที่  $t_{90}$ ) ด้วยเครื่องกดอัด (compression molding)

ตารางที่ 1 สูตรผสมเคมียาง

สูตรผสมเคมี	สูตร A	สูตร B
ยางธรรมชาติ (SMR CV20)	100	100
เขม่าดำ (N220)	40	40
ซิลิกา (Zeosil 1165)	20	20
ซิงก์ออกไซด์	5	5
กรดสเตียริก	2	2
น้ำมันอะโรมาติก	3	3
คูมาโรนเรซิน	3	3
สารควบแน่นซิลิโคน (Si-69)	1.5	1.5
สารต้านการเสื่อมสภาพ (TMQ)	1.5	1.5
สารต้านการเสื่อมสภาพ (6PPD)	2.5	2.5
ไซ (Sunolite 240)	1	1
Sulfron 3000	-	1
สารตัวเร่งปฏิกิริยา (CBS)	1.4	1.4
สารตัวเร่งปฏิกิริยา (DPG)	1	1
กำมะถัน	1.4	1.4



รูปที่ 1 โครงสร้างของโพลี (พาราฟีนิลลิน เทเรพธาลาไมด์) (Twaron®)

## 2. การทดสอบ

ทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

- สมบัติแรงดึงด้วยเครื่อง Zwick universal testing machine (model 1445) ตาม ISO 37
- ความแข็งตาม ISO 48
- ความทนต่อการฉีกขาด (crescent ที่มีรอยตัด 1 มม.) ตาม ISO 34:1994
- ความต้านทานต่อการสึกกร่อนตาม DIN 53516
- การประลัยอันเนื่องมาจากความล้าด้วยเครื่อง Monsanto fatigue to failure tester ที่ความเครียดคงที่ร้อยละ 0-100
- ความต้านทานต่อการตัด แดก หรือหลุดเป็นชิ้นด้วยเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นเอง
- การทดสอบสมบัติต่างๆ ข้างต้นจะทดสอบที่อุณหภูมิการใช้งานของยางล้อ (ประมาณ 70°C) และทดสอบสมบัติ

หลังการบ่มแรงที่ 100°C เป็นเวลา 2 วัน

- สำหรับการทดสอบเชิงพลวัตจะทดสอบด้วยเครื่อง Gabo-viscoanalyzer ที่อุณหภูมิ 60°C ความถี่ 10 เฮิรตซ์ และระดับความเครียดร้อยละ 2

- นอกจากนี้การวิเคราะห์โครงสร้างของวัลคาไนเซตทำได้โดยการทดสอบการบวมตัวในโทลูอีนตามวิธีของ Ellis and Welding

## ผลการทดลอง

การเติม Sulfron 3000 จะทำให้ค่าแรงบิดสูงสุดนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลเสียต่อเวลาสกอรัช เวลาในการวัลคาไนซ์ และความหนืดมูนนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติการวัลคาไนซ์ที่ 150°C ความหนืดมูนนี้ และมูนนี้สกอรัชของยางคอปพาวด์

สมบัติการวัลคาไนซ์	สูตร A	สูตร B
Delta S (Nm)	1.8	2.0
M <sub>L</sub> (Nm)	0.2	0.2
เวลาสกอรัช (t <sub>2</sub> ) (min)	0.5	0.5
เวลาวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม (t <sub>90</sub> ) (min)	12.0	12.2
<b>ความหนืดมูนนี้ที่ 100°C</b>		
ความหนืดเริ่มต้น (MU)	93.5	94.6
ML (1+4) (MU)	55.6	55.9
<b>มูนนี้สกอรัชที่ 121°C</b>		
t <sub>5</sub> (min)	31.1	31.5
t <sub>35</sub> (min)	32.5	32.6

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่า การเติม Sulfron 3000 ลงไปในสูตรดอกยางออฟโรดจะให้ความแข็งแรงและความทนต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลเสียต่อสมบัติแรงดึง นอกจากนี้ยังทำให้ความร้อนสะสมลดลงและยืดระยะเวลาที่ใช้ในการระเบิดให้นานขึ้น รวมทั้งปรับปรุงการประลัยอันเนื่องมาจากความล้าให้ดีขึ้น สมบัติเชิงพลวัตของยางวัลคาไนซ์แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ยางสูตรที่มีการเติม Sulfron 3000 จะไม่มีคูล์สูญเสีและค่าแทนเดลต่ำลดลง ยิ่งไปกว่านั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าแทนเดลต่ำจะน้อยมากและมีความเสถียรระหว่างการใช้งาน

ตารางที่ 3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ (ที่อุณหภูมิ 150°C (t<sub>90</sub>) เป็นเวลา 60 นาที)

สมบัติ	สูตร A	สูตร B
ความแข็ง (IRHD)	67 (65)	68 (67)
100% โมดูลัส (MPa)	2.3 (2.1)	2.7 (2.5)
300%โมดูลัส (MPa)	13.3 (12.2)	13.7 (13.1)
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	25.0 (23.1)	26.1 (25.2)
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	490 (450)	480 (470)
ความทนต่อการฉีกขาด (kN/m)	150 (140)	180 (160)
การประลัยอันเนื่องมาจากความล้า (0-100%strain) (kc)	165 (120)	180 (150)
ความร้อนสะสม ที่ 150C, 1 h, ΔT (°C)	25 (35)	20 (27)
เวลาที่ใช้ในการระเบิด ที่ 100°C (min)	40 (25)	60 (45)
ปริมาตรสูญเสียดังกล่าวจากการสึกกร่อน (mm <sup>3</sup> )	120 (150)	100 (120)

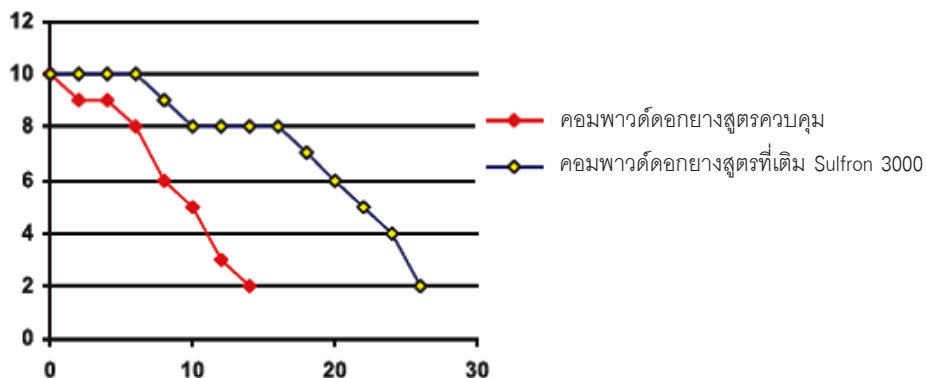
หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บ คือ ค่าหลังการบ่มเร่ง

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงพลวัตของยางวัลคาไนซ์ (วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C (t<sub>90</sub>) เป็นเวลา 60 นาที)

สมบัติเชิงพลวัต	สูตร A	สูตร B
โมดูลัสสะสม (E')	7.65 (6.90)	7.77 (7.67)
โมดูลัสสูญเสีย (E'')	1.11 (1.14)	0.97 (1.01)
ค่าแทนเดลต้า	0.145 (0.165)	0.125 (0.132)

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บ คือ ค่าหลังการบ่มเร่ง

รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบการตัด แรก และหลุดเป็นชิ้นของคอมพาวด์ดอกยางที่เติม Sulfron 3000 จะเห็นได้ว่า ยางสูตรที่มีการเติม Sulfron 3000 จะมีสมบัติดังกล่าวดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ ยางที่เติม Sulfron 3000 เพียง 1 phr จะใช้เวลานานขึ้นเป็น 26 วันในการทำให้ยางเกิดการแตกหรือหลุดเป็นชิ้น ในขณะที่ยางที่ไม่ได้เติม Sulfron 3000 ใช้เวลาเพียงแค่ 14 วันเท่านั้น (พิจารณาในระดับที่ทำให้ยางเกิดการแตกเท่ากัน)



รูปที่ 2 ความต้านทานต่อการตัด แรก และหลุดเป็นชิ้นของคอมพาวด์ดอกยางที่เติม Sulfron 3000 (ทดสอบที่อุณหภูมิ 70°C บ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 วัน)

## ตารางที่ 5 การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงชนิดต่างๆ

พันธะเชื่อมโยง	ปริมาณพันธะเชื่อมโยง (กรัมโมล/กรัมยาง x 10 <sup>5</sup> )	
	สูตร A	สูตร B
พันธะเชื่อมโยงทั้งหมด	5.40	5.70
โพลีซัลไฟดิก	3.15	4.01
ไดซัลไฟดิก	1.20	1.14
โมนอซัลไฟดิก	1.05	0.55

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่า ยางสูตรที่มีการเติม Sulfron 3000 จะยังคงมีปริมาณพันธะเชื่อมโยงแบบโพลีซัลไฟดิกในปริมาณสูงระหว่างการวัลคาไนซ์ ซึ่งจะช่วยให้ยางมีสมบัติต่างๆ ดี

### สรุป

การเติม Sulfron 3000 ปริมาณเพียงเล็กน้อยลงไปในสูตรคอมพาวด์ดอกยางจะช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น ความต้านทานต่อการตัด แตก และหลุดเป็นชิ้น ความล้าเนื่องมาจากการพับงอ ความต้านทานต่อการสึกกร่อน ฮีสเทอรีซิส และความร้อนสะสม ให้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้ยางล้านี้ลดความต้านทานการหมุนลงได้ ส่งผลทำให้สามารถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้

### เอกสารอ้างอิง

1. Datta, R.N. and Pierik, S.C.J., "Improving cut/chip/chunk resistance by using sulfron 3000", *KGK*, **June**, 328-330 (2007)
2. Ellis, B. and Welding, G.N., "Estimation, from swelling, of the structural contribution of chemical reactions to the vulcanization of natural rubber. Part II: Estimation of equilibrium degree of swelling", *Rubber Chem. Technol.*, **37**, 571 (1964)

