

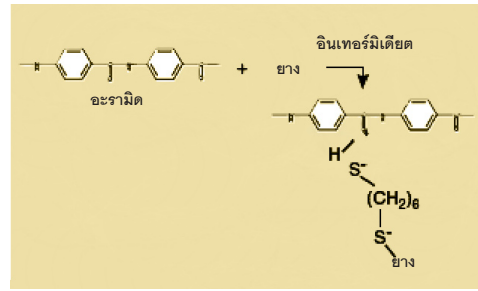
# Sulfron 3001 ใช้งานที่อุณหภูมิการผสมสูงขึ้น

เรียบเรียงโดย ชญาภา นิ่มสุวรรณ



Sulfron 3001 เป็นเส้นใยพาราอะรามิดชนิดสั้นที่ผ่านการตัดแปรรูปและนำมาใช้ในคอมพาวด์ดอกยางเพื่อช่วยลดปรากฏการณ์ Payne effect<sup>1</sup> ความต้านทานการหมุน (rolling resistance) ความร้อนสะสม (heat build up) รวมถึงช่วยปรับปรุงสมบัติอื่นๆ ให้ดีขึ้น

กลไกของปฏิกิริยาประกอบด้วย ในช่วงต้นของการผสม Sulfron 3001 จะแตกตัวให้อนุมูลอิสระ (free radical) และทำปฏิกิริยากับพื้นผิวอนุภาคเขม่าดำที่มีหมู่ -OH ที่ว่องไว เกิดเป็นพันธะเคมีระหว่างเขม่าดำกับ Sulfron 3001 ขึ้น (รูปที่ 1) ซึ่งการเกิดพันธะดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม และเพื่อให้ช่วยเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวให้เกิดขึ้นได้เร็ว จึงควรเติม Sulfron 3001 ลงไปในกระบวนการผสมเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้



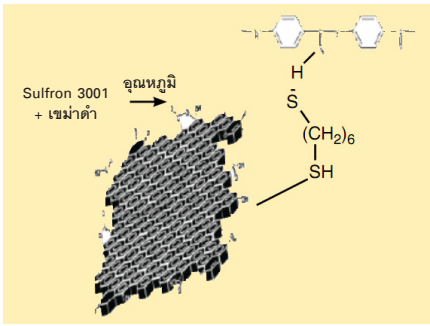
## รูปที่ 3 อันตรกิริยาระหว่างยางกับเส้นใยอะรามิด (Sulfron 3001)

เป็นที่น่าสังเกตว่าอันตรกิริยาของ Sulfron 3001 กับสารตัวเติมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมอย่างมาก กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิในการผสมต่ำกว่า 150°C อันตรกิริยาระหว่าง Sulfron 3001 กับสารตัวเติมจะเกิดได้ไม่ดี แต่ถ้าอุณหภูมิในการผสมสูงกว่า 165°C ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของ Sulfron 3001 ต่อยาง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Sulfron 3001 กับเขม่าดำก็คือ อุณหภูมิในช่วง 150-165°C ซึ่งจะทำให้อันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมกับสารตัวเติมลดลงและจะช่วยเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมกับยางให้ดีขึ้น

ในบทความนี้จะนำเสนอผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม Sulfron 3001 ที่สูงขึ้น คือ 160°C เปรียบเทียบกับอุณหภูมิปกติที่ใช้ในการผสม คือ 150°C

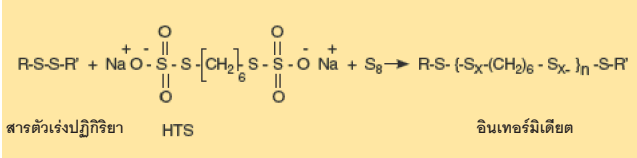
## การทดลอง

เตรียมคอมพาวด์ดอกยาง 4 ชุด ได้แก่ C150 S150 C160 และ S160 โดยชุดที่มีตัวอักษร C คือ ชุดควบคุมและชุดที่มีตัวอักษร S คือ ชุดที่มีการเติม Sulfron 3001 ในขณะที่ตัวเลข 150 และ 160 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม และเนื่องจากว่า Sulfron 3001 ประกอบไปด้วยโซ่ร้อยละ 30 ดังนั้นในสูตรที่เติม Sulfron 3001 จึงลดปริมาณการเติมโซล 0.3 phr ต่อการเติม Sulfron 3001 ปริมาณ 1 phr และลดปริมาณเขม่าดำลง 2 phr เพื่อรักษาระดับของโมดูลัสให้มีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม สูตรผสมเคมีแสดงในตารางที่ 1 และลำดับขั้นตอนการผสมซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมระหว่าง Sulfron 3001 กับเขม่าดำแสดงในตารางที่ 2



## รูปที่ 1 อันตรกิริยาระหว่างเขม่าดำกับ Sulfron 3001

สำหรับปฏิกิริยาของ Sulfron 3001 กับยางจะเกิดขึ้นในช่วงท้ายของการผสม ในขั้นตอนนี้ Sulfron 3001 จะทำปฏิกิริยากับกำมะถัน สารตัวเร่งปฏิกิริยา และสารเคมีอื่นๆ เกิดเป็นสารอินเทอร์มีเดียตที่มีความว่องไว (รูปที่ 2) จากนั้นจึงสร้างพันธะเชื่อมโยงกับยาง (รูปที่ 3) ดังนั้น Sulfron 3001 จึงเป็นสารเคมีที่จะช่วยเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมกับยางให้สูงขึ้น และลดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมกับสารตัวเติมลง



## รูปที่ 2 การเกิดสารอินเทอร์มีเดียตจากปฏิกิริยาเคมีของ Sulfron 3001 กับสารวัลคาไนซ์

<sup>1</sup> Payne effect เป็นปรากฏการณ์ที่ยางมีค่าโมดูลัสลดลงสูงที่ระดับความเครียดต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติม (เช่น เขม่าดำกับเขม่าดำ หรือซิลิกากับซิลิกา) เป็นปัจจัยสำคัญ เพราะที่ระดับความเครียดต่ำๆ สารตัวเติมส่วนใหญ่ยังคงอยู่ใกล้กันและเกาะกลุ่มกันเป็นโครงสร้างตาข่าย (network) แต่เมื่อเพิ่มระดับความเครียดให้สูงขึ้น โครงสร้างตาข่ายของสารตัวเติมก็จะถูกทำลาย ทำให้ยางมีค่าโมดูลัสลดลง

## ตารางที่ 1 สูตรผสมเคมียาง

สูตรผสมเคมียาง	C150	S150	C160	S160
ยางธรรมชาติ (RMA-4)	80	80	80	80
ยางบิวทาไดอิน	20	20	20	20
เขม่าดำ (N330)	55	53	55	53
น้ำมันอะโรมาติก	10	10	10	10
ซิงก์ออกไซด์	5	5	5	5
กรดสเตียริก	2.5	2.5	2.5	2.5
สารต้านการเสื่อมสภาพ (TMQ)	1	1	1	1
สารต้านการเสื่อมสภาพ (6PPD)	2	2	2	2
ไข (microwax)	1.5	0.9	1.5	0.9
Sulfron 3001	-	2	-	2
กำมะถัน	1.6	1.6	1.6	1.6
สารตัวเร่งปฏิกิริยา (TBBS)	1	1	1	1
สารยับยั้งปฏิกิริยา (PVI)	0.1	0.1	0.1	0.1

## ตารางที่ 2 ลำดับขั้นตอนของการผสม

เวลา (นาที)	ขั้นตอน
0	ใส่ยางธรรมชาติ
0.5	ใส่ยางโพลิบิวทาไดอิน
1	ใส่เขม่าดำครึ่งหนึ่ง + Sulfron 3001
2	ใส่เขม่าดำที่เหลืออีกครึ่งหนึ่ง + น้ำมัน
2.5	สารเคมีที่เหลือ (ยกเว้นสารวัลคาไนซ์)
4	ผสมต่อให้เข้ากัน
5	นำยางออกจากเครื่องผสม

จากหลังผสมยางมาสเตอร์แบตช์แล้ว ให้นำยางดังกล่าวออกมาพักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำกลับไปผสมกับสารวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ในเครื่องผสมอีกครั้ง และสุดท้ายจึงนำไปผสมต่อโดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งเพื่อให้ยางคอมพาวด์มีทิศทางเป็นไปตามการเรียงตัวของเส้นใยมากที่สุด นำยางคอมพาวด์ไปขึ้นรูป วัลคาไนซ์ และทดสอบสมบัติเชิงกลและเชิงพลวัต

### 1. การกระจายตัว

การผสมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวเติมกับยางนั้นสามารถแสดงได้ในเทอมของการกระจายตัวของสารตัวเติม (แทนด้วยค่า X) และการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน (agglomerate) (แทนด้วยค่า Y) ถ้าค่าเหล่านี้ใกล้เคียง 10 จะหมายความว่ามีการกระจายตัวของสารตัวเติมในเนื้อยางได้ดีขึ้น ยางคอมพาวด์ที่เติม Sulfron 3001 จะแสดงการกระจายตัวของสารตัวเติมได้ไม่ดี ทั้งนี้เป็นเพราะการมีโครงสร้างเส้นใย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการผสมให้สูงขึ้น การกระจายตัวของสารตัวเติมก็จะดีขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกระจายตัวของสารตัวเติมในยางพลาสม

ค่า	C150	S150	C160	S160
X	9.6	4.2	9.8	5.9
Y	9.9	8.3	9.9	9.5

### 2. สมบัติการวัลคาไนซ์ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงพลวัต

สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวด์แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่า การเติม Sulfron 3001 ลงในยางคอมพาวด์ไม่ส่งผลเสียต่อเวลาสกอริช ( $t_{92}$ ) และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ ( $t_{90}$ ) ของยางคอมพาวด์ แต่จะส่งผลให้ค่าความหนืดมูนนี้ลดลง และจะยังเห็นผลชัดเจนมากขึ้นเมื่อผสมที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 4 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวด์

สมบัติ	C150	E150	C160	E160
$t_{92}$ (min)	9.92	10.02	10.50	10.83
$t_{90}$ (min)	18.28	18.92	18.56	19.02
ML (1+4) ที่ 100°C (MU)	52.11	47.57	50.5	48.9
$t_9$ (min)	11.61	11.89	12.13	12.65

ตารางที่ 5 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

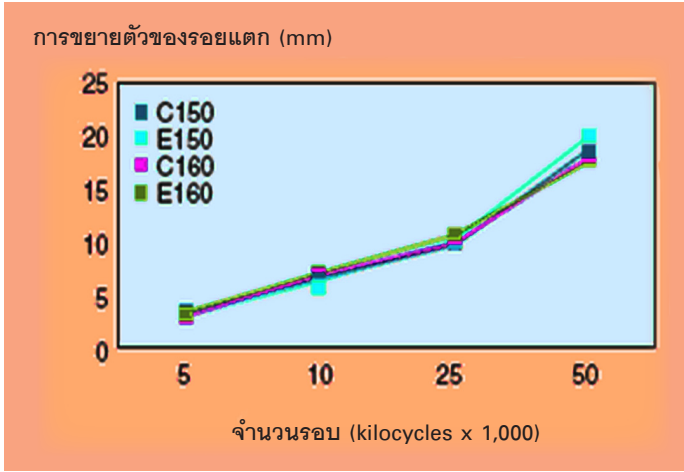
สมบัติ	C150	E150	C160	E160
300%โมดูลัส (MPa)	12.77	12.33	11.4	11.3
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	24.17	22.9	23.9	22.6
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	516	502	509	500
ความแข็ง (Shore A)	65	66	64	65
ความทนต่อการฉีกขาด (N/mm)	74	93	88.4	90.2
ความร้อนสะสม (%)	100	94.1	100	91.9
ความต้านทานต่อการสึกกร่อน (ปริมาตรสูญเสีย)	100	99.5	100	95.1

หมายเหตุ: ความร้อนสะสมและความต้านทานต่อการสึกกร่อนเทียบให้สูตรควบคุมเท่ากับ 100%

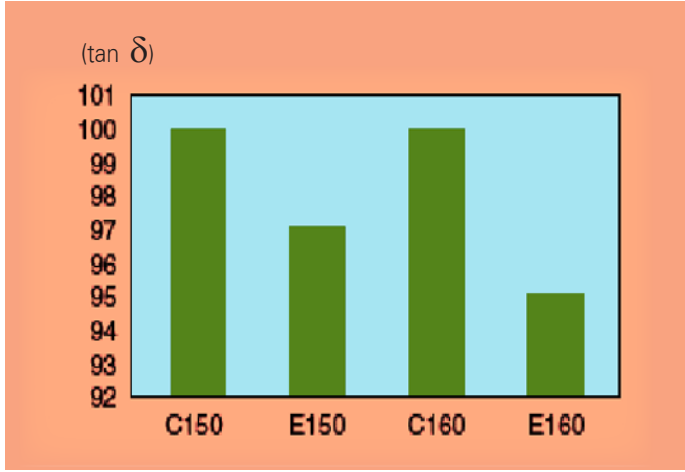
จากตารางที่ 5 พบว่า ยางสูตรที่มีการเติม Sulfron 3001 น่าจะมีโมดูลัสที่สูงกว่ายางสูตรควบคุมเนื่องจากการเสริมแรงของเส้นใย (แม้ว่าจะมีการเติมเซมาดำในปริมาณที่ต่ำกว่ายางสูตรควบคุมอยู่ 2 phr) ยางสูตรที่เติม Sulfron 3001 จะมีความทนต่อการฉีกขาดดีขึ้น มีการยืดตัว ณ จุดขาดและความแข็งใกล้เคียงกับสูตรควบคุม แต่มีความทนต่อแรงดึงลดลงเล็กน้อย (ทั้งที่อุณหภูมิ 150°C และ 160°C) ดังนั้นการผสม Sulfron 3001 ที่อุณหภูมิสูงขึ้นก็จะไม่ทำให้สมบัติแรงดึงใดๆ แย่ลงเมื่อเทียบกับการผสม Sulfron 3001 ที่อุณหภูมิต่ำ

การเติม Sulfron 3001 จะช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อการสึกกร่อนให้ดีขึ้น (แสดงในรูปของปริมาตรสูญเสีย ถ้าปริมาตรสูญเสียมีค่าต่ำแสดงว่ามีความต้านทานต่อการสึกกร่อนดีขึ้น) และลดความร้อนสะสมลง กล่าวคือ ที่อุณหภูมิในการผสมเท่ากับ 150°C จะมีความร้อนสะสมลดลงร้อยละ 6 และจะยิ่งเด่นชัดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการผสมเพิ่มขึ้นเป็น 160°C (ลดลงร้อยละ 8) ดังนั้นการใช้ อุณหภูมิการผสมที่สูงขึ้นสำหรับยางสูตรที่เติม Sulfron 3001 จะทำให้สมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อนและความร้อนสะสมดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการที่ยางล้อมีความต้านทานต่อการสึกกร่อนที่ดีขึ้น จะทำให้ยางล้อมีความทนทานต่อการใช้งานมากขึ้นและมีระยะเวลาใช้งานได้นานขึ้น ส่วนความร้อนสะสมเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับยางล้อรถบรรทุกขนาดใหญ่ เนื่องจากถ้ามีความร้อนสะสมต่ำ จะทำให้การเสื่อมสภาพของยางล้อระหว่างการใช้งานเกิดได้น้อยลง ทำให้อายุการใช้งาน (ระยะทางวิ่ง) เพิ่มขึ้นนั่นเอง

สำหรับการขยายตัวของรอยแตกเป็นปัจจัยสำคัญที่จะบ่งบอกถึงความทนทานของยางล้อ จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าการขยายตัวของรอยแตกของยางสูตรควบคุมและสูตรที่เติม Sulfron 3001 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิในการผสมที่สูงขึ้นก็ไม่ได้ส่งผลให้รอยแตกมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากการพับงอ



รูปที่ 5 ความต้านทานการหมุน (แทนเดลต้าที่ 60°C)

ความต้านทานการหมุนของยางล้อมีความสัมพันธ์กับค่าแทนเดลต้า (tan delta) ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง +30°C ถึง +70°C (เป็นช่วงอุณหภูมิของยางล้อขณะวิ่ง) โดยทั่วไปจะนิยมใช้ค่าแทนเดลต้าที่อุณหภูมิ 60°C เป็นค่าบ่งชี้ความต้านทานการหมุนของยางล้อ จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า ยางสูตรที่เติม Sulfron 3001 จะมีค่าแทนเดลต้าลดลง (ทั้งที่ 150°C และ 160°C) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้อุณหภูมิในการผสมที่สูงขึ้นก็จะยิ่งทำให้ค่าแทนเดลต้าลดลงอย่างเห็นได้ชัด นั่นก็คือ ยางสูตรที่เติม Sulfron 3001 ที่ใช้ อุณหภูมิในการผสม 160°C จะมีความต้านทานการหมุนลดลง

ร้อยละของสมบัติของยางวัลคาไนซ์หลังการบ่มเร่งแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจะเห็นว่า สมบัติต่างๆ ของยางสูตรที่มีการเติม Sulfron 3001 หลังการบ่มเร่งนั้นใกล้เคียงกับยางสูตรควบคุม นั้นหมายความว่า คุณหมุมิการผสมที่สูงขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติหลังการบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์

#### ตารางที่ 6 ร้อยละของสมบัติของยางวัลคาไนซ์หลังการบ่มเร่ง

สมบัติ	C150	E150	C160	E160
300% โมดูลัส (%)	120	121	136	135
ความทนต่อแรงดึง (%)	90	90	92	91
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	81	82	81	80
ความแข็ง (%)	107	108	109	110
ความทนต่อการฉีกขาด (%)	78	77	72	71

#### สรุป

Sulfron 3001 เป็นสารเคมียางที่เหมาะสมสำหรับคอมพาวด์ดอกยาง เนื่องจากจะช่วยลดความร้อนสะสมระหว่างการวิ่งและเพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อน กล่าวคือ สามารถทนต่อการสูญเสียของผิวหน้าของยางล้ออันเนื่องมาจากการขีดสี ภูเขา สึกกร่อน ระหว่างการใช้งาน ดังนั้น Sulfron 3001 จึงช่วยเพิ่มความทนทานและอายุการใช้งานของยางล้อได้ ในยางคอมพาวด์ที่มีการเติม Sulfron 3001 นั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างร่างแหของสารตัวเติมลดลง ส่งผลให้มีฮีสเทอรีซิสและความต้านทานการหมุนต่ำลง ทำให้ยางล้อสามารถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามสมบัติต่างๆ ที่ขึ้นนั้นจะยังเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อมีการผสม Sulfron 3001 ที่อุณหภูมิสูง เช่น 160°C (เทียบกับ 150°C)

ดังนั้นคอมพาวด์ดอกยางที่เติม Sulfron 3001 จึงควรใช้อุณหภูมิผสมที่ 160°C เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีที่สุด นอกจากนี้การใช้ อุณหภูมิในการผสมสูงทำให้สามารถลดเวลาในการผสมลงได้ ส่งผลให้ผลผลิตภาพในการผสมสูงขึ้นด้วย

#### เอกสารอ้างอิง

1. Kunti, N.N. and Chandra, A.K., "Influence of higher mixing temperature on Sulfron 3001 modified tire tread compounds", *Rubber World*, **243(5)**, 24-27, 2011.

