

สารช่วยการแปรรูป (Processing Aids) สำหรับยางเกรดพิเศษ

ดร.ณิ เจริญสุข

สารช่วยการแปรรูปในอุตสาหกรรมยาง คือ สารเคมีที่เติมลงไปในช่วงเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นไปได้อย่างราบรื่น ปัจจุบันมีการผลิตสารช่วยการแปรรูปมากมายชนิดออกสู่ท้องตลาดซึ่งสารช่วยการแปรรูปแต่ละชนิดจะทำหน้าที่แตกต่างกันไป เช่น ช่วยในขั้นตอนของการขึ้นรูปทำให้ผลิตภัณฑ์มีผิวเรียบและลดการบวมตัวหลังผ่านตาย (die swell) หรือช่วยทำให้ยางนุ่มขึ้น ทำให้พลังงานที่ใช้ในการผลิตลดลง ด้วยเหตุนี้การเลือกชนิดและประเภทของสารช่วยการแปรรูปเพื่อนำมาใช้ในงานจึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสม บทบาทหน้าที่ กลไกในการทำงาน ปริมาณที่เหมาะสม รวมทั้งความสอดคล้องต่อสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตต้องการ

ประเภทของสารช่วยการแปรรูป

1. เปปไทเซอร์ (peptizer) คือ สารเคมีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบดย่อยเพื่อลดขนาดของโมเลกุลในขั้นตอนการบดยาง ทำให้ลดระยะเวลาในขั้นตอนการบดยางลง ซึ่งจะส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในการผสมลดลงตามไปด้วย เปปไทเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1.1 ฟิสิคัลเปปไทเซอร์ (physical peptizer) คือ เปปไทเซอร์ที่ช่วยลดความเหนียวของยางโดยผ่านกลไกทางกายภาพ กล่าวคือเปปไทเซอร์จะเข้าไปแทรกกระหว่างโมเลกุลยางและทำหน้าที่เสมือนเป็นสารหล่อลื่น ทำให้โมเลกุลยางไหลได้ง่ายยิ่งขึ้น ตัวอย่างที่สำคัญของสารเคมีในกลุ่มนี้ได้แก่ ซิงก์สเตียเรตและอนุพันธ์ของกรดไขมัน

1.2 เคมีคัลเปปไทเซอร์ (chemical peptizer) คือ เปปไทเซอร์ที่ช่วยลดความเหนียวของยางโดยกลไกทางเคมี กล่าวคือทำให้เกิดปฏิกิริยาการตัดสายโซ่ (chain scission) ระหว่างการบด ทำให้ความเหนียวของยางลดลงได้เร็วขึ้น โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเคมีคัลเปปไทเซอร์จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่สำคัญของสารเคมีในกลุ่มนี้ได้แก่ ไดเบนซามิโดไดฟีนิลไดซัลไฟด์ (dibenzamido-diphenyl-disulfide; DBD) เพนทะคลอโรไทโอฟีนอล (pentachlorothiophenol; PCTP)

2. พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) คือ สารที่ช่วยทำให้ยางนิ่มลงหรือช่วยลดความเหนียวของยางให้ต่ำลง ทำให้สารตัวเติมผสมเข้ากับยางได้ดีขึ้น ตัวอย่างของพลาสติไซเซอร์ ได้แก่

2.1 น้ำมันมิเนอร์ล (mineral oil) เป็นน้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ สามารถแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- น้ำมันพาราฟินิก คือ น้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon)
- น้ำมันแนฟทาติก คือ น้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (alicyclic hydrocarbon)
- น้ำมันอะโรมาติก คือ น้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนเบนซีนในโมเลกุลอย่างน้อย 1 หมู่

2.2 น้ำมันสังเคราะห์ นิยมใช้กับยางชนิดที่ไม่สามารถเข้ากันหรือเข้ากันได้ยากกับน้ำมันมิเนอร์ล เช่น ยาง NBR เกรดที่มีความเป็นขั้วสูง โดยทั่วไปแล้วน้ำมันสังเคราะห์จะช่วยให้ง่ายต่อการขึ้นรูปและการหั่นที่อุณหภูมิที่ต่ำลง น้ำมันสังเคราะห์สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- พลาสติไซเซอร์กลุ่มอีเทอร์ (ether plasticizer) เป็นสารประกอบที่มีอีเทอร์ในโมเลกุล เช่น โพลีอีเทอร์ โพลีอีเทอร์-ไทโอฟีเทอร์ (polyether-thioether) นิยมใช้เป็นพลาสติไซเซอร์สำหรับยาง NBR และยาง CR

- พลาสติไซเซอร์กลุ่มเอสเทอร์ (ester plasticizer) เช่น ไดออกทิลฟทาเลต (dioctylphthalate; DOP) ไดไอโซออกทิลฟทาเลต (diisooctylphthalate; DIOP) นิยมใช้เป็นพลาสติไซเซอร์สำหรับยาง NBR และยาง CR

- พลาสติไซเซอร์กลุ่มไฮโดรคาร์บอนคลอรีเนต (chlorinated hydrocarbon) เช่น พาราฟินคลอรีเนต (chlorinated paraffin) นิยมใช้เป็นพลาสติไซเซอร์สำหรับยาง CR นอกจากการนำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์แล้ว สารเคมีในกลุ่มนี้ยังนิยมนำไปใช้ร่วมกับแอนติโมนีไตรออกไซด์ (Sb₂O₃) เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติการติดไฟของยางอีกด้วย

2.3 โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น ยาง BR เหลว ยาง SBR เหลว ยาง NBR เหลว

3. สารทำให้ยางเหนียวติดกัน (tackifiers) นิยมใช้เพื่อลดความเหนียวในยางคอมพาวด์และทำให้ยางคอมพาวด์มีสมบัติความเหนียวติดกัน (tackiness) สูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นสารทำให้ยางนิ่มได้ด้วย ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ เช่น คูมาโรนเรซิน อินดีนเรซิน บีโตรเลียมเรซิน ฟีนอลิกเรซิน ไซลอลฟอร์มอลดีไฮด์เรซินและโคเรซิน

4. แฟกทิกซ์ (factice) คือ สารที่ได้จากการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มาวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองหรือสีน้ำตาล แฟกทิกซ์ทำหน้าที่ช่วยให้สารเคมีหรือสารตัวเติมกระจายตัวในยางได้ดีขึ้น หรือช่วยในการเอกซ์ทรูดยาง ทำให้ผิวยางที่เอกซ์ทรูดมีผิวเรียบ

ข้อควรระวังในการใช้สารช่วยการแปรรูป

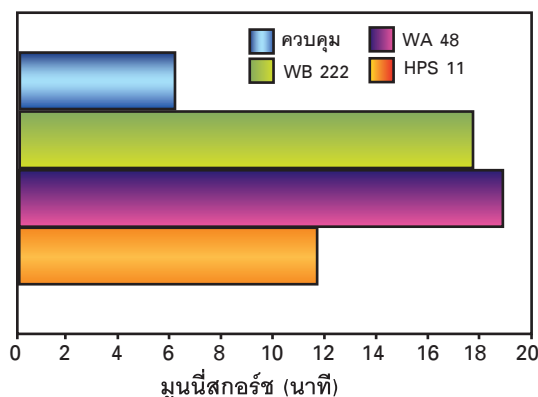
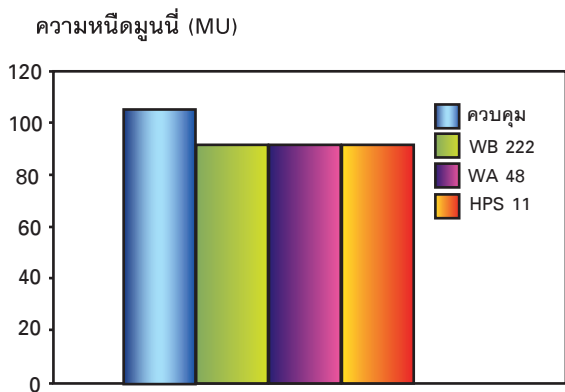
1. ปัญหาการบลูม (bloom) ของสารเคมี หากเติมสารเคมีลงไปในยางในปริมาณที่มากเกินไปเกินกว่าความสามารถในการละลายของสารเคมีนั้น (เกิดการอิมิตัวของยาง) เมื่อเวลาผ่านไปสารเคมีส่วนเกินก็จะแพร่ออกมาที่ผิวของยางและเกิดการตกผลึกบนพื้นผิวยางเห็นเป็นรอยสีขาวหรือเหลือง เรียกว่า เกิดการบลูม
2. การเหนียวติดบนหน้ายาง (surface tack) สารช่วยการแปรรูปบางชนิด เช่น เรซินในกลุ่มฟีนอลิกช่วยเพิ่มสมบัติความเหนียวติดของคอมพาวด์ยางให้สูงขึ้น แต่สารในกลุ่มเอมีนปฐมภูมิ (primary amine) กลับช่วยลดสมบัติการเหนียวติดของยางคอมพาวด์ลง
3. วิธีการผสมสารช่วยการแปรรูป โดยทั่วไปแล้วการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (internal mixer) ยางและสารเคมีรวมทั้งสารช่วยการแปรรูปจะผสมกันในขั้นตอนแรกของการผสมเพื่อให้การผสมเป็นไปได้ง่ายและลดการเกาะติดผิวของเครื่องผสม ถ้าสารช่วยการแปรรูปมีจุดอ่อนตัว (softening point) ไม่เกิน 100°C และอยู่ในรูปผงจะสามารถเติมสารช่วยการแปรรูปในช่วงท้ายของการผสมได้ ซึ่งการเติมสารช่วยการแปรรูปในขั้นตอนสุดท้ายนั้นสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเอกซ์ทรูดและช่วยอัตราการไหลได้ดีขึ้น ส่วนกรณีการผสมสารช่วยการแปรรูปกับสารตัวเติม ถ้าสารช่วยการแปรรูปกับสารตัวเติมเข้ากันได้ยาก และสารช่วยการแปรรูปมีจุดอ่อนตัว 105°C ควรเติมสารช่วยการแปรรูปในช่วงต้นหรือเติมพร้อมกับสารตัวเติม

การประยุกต์ใช้งานของสารช่วยการแปรรูปสำหรับยางเกรดพิเศษ

1. ยาง NBR, XNBR, HNBR

ยาง NBR HNBR และ XNBR จัดเป็นยางที่มีขั้ว ดังนั้นการเลือกใช้พลาสติกไซเซอร์ จึงต้องเลือกใช้พลาสติกไซเซอร์ที่มีขั้ว เช่น น้ำมันอะโรมาติก เอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester) หรืออนุพันธ์ของกรดไขมัน (fatty acid derivative) นอกจากนี้เมื่อขึ้นรูปยาง NBR HNBR และ XNBR เกรดที่มีปริมาณอะคริโลไนไทรล์ต่ำ โดยใช้เครื่องคาร์เลนเดอร์ (calender) อาจจะมีปัญหายางไม่เกาะลูกกลิ้ง (bagging) ในกรณีนี้อาจจะแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการเติมสารช่วยการแปรรูปในกลุ่มคูมาโรอินดีนเรซิน (เช่น Cumar P-10) ในปริมาณร้อยละ 3-10 สำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดนั้น ได้มีรายงานว่า การใช้ Struktol 60NS ในปริมาณร้อยละ 2-3 จะช่วยปรับปรุงอัตราการเอกซ์ทรูดยางและช่วยทำให้ผิวของยางเอกซ์ทรูดเรียบขึ้น แต่ Struktol 60NS ไม่ควรใช้กับยาง NBR HNBR และ XNBR ที่วัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์

ในปี ค.ศ. 2008 Sherritt, J.M. ได้ศึกษาการใช้สารช่วยการแปรรูปในกลุ่มของอนุพันธ์ของกรดไขมัน 3 ชนิด ได้แก่ Struktol WB 222 Struktol WA 48 และ Struktol HPS 11 ในยางไนไทรล์โดยใช้สูตรผสมเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 หลังจากการผสมเคมียางได้นำยางคอมพาวด์ไปวัดความหนืดและหาค่ามูนีสกอร์ชได้ผลดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนตารางที่ 2 แสดงสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ได้จากการใช้สารช่วยการแปรรูปทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 1 ความหนืดมูนี (ML 1+4) ของยางคอมพาวด์ที่อุณหภูมิ 100°C

รูปที่ 2 เวลาสกอร์ชที่อุณหภูมิ 125°C

ตารางที่ 1 สูตรผสมเคมี [1]

สูตรผสมเคมี	ปริมาณ (phr)			
	สูตรควบคุม	สูตร WB 222	สูตร WA 48	สูตร HPS 11
ยางไนไตรล์ (Chemigum N615 B)	100	100	100	100
เขม่าดำ (N550)	60	60	60	60
ซิงก์ออกไซด์	5.0	5.0	5.0	5.0
กรดสเตียริก	0.5	0.5	0.5	0.5
TMQ	2.0	2.0	2.0	2.0
กำมะถัน (spider sulfur)	0.4	0.4	0.4	0.4
TMTD	1.0	1.0	1.0	1.0
TBBS	2.0	2.0	2.0	2.0
Struktol WB 222	-	2.5	-	-
Struktol WA 48	-	-	2.5	-
Struktol HPS 11	-	-	-	2.5

หมายเหตุ: กำมะถัน (spider sulfur) = กำมะถันที่ผ่านการปรับผิวด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนต

TMQ = 2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline

TMTD = tetramethyl thiuramdisulfide

TBBS = N-t-butyl-2-benzothiazole sulfenamide

Chemigum N615 B = ชื่อทางการค้าของยางไนไตรล์ที่มีปริมาณของอะคริโลไนไตรล์ร้อยละ 33

Struktol WB 222 = ชื่อทางการค้าของสารช่วยการแปรรูป มีองค์ประกอบเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันอิ่มตัว (ester of saturated fatty acids)

Struktol WA 48 = ชื่อทางการค้าของสารช่วยการแปรรูป มีองค์ประกอบเป็นของผสมระหว่างเกลือสังกะสีและเอสเทอร์ของกรดไขมันอิ่มตัว

Struktol HPS 11 = ชื่อทางการค้าของสารช่วยการแปรรูป มีองค์ประกอบเป็นของผสมของอนุพันธ์กรดไขมัน (blend of fatty acid derivative)

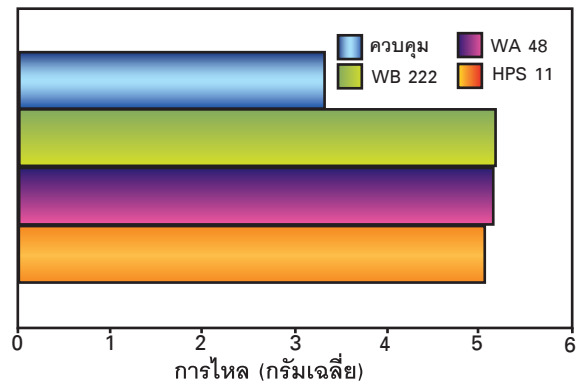
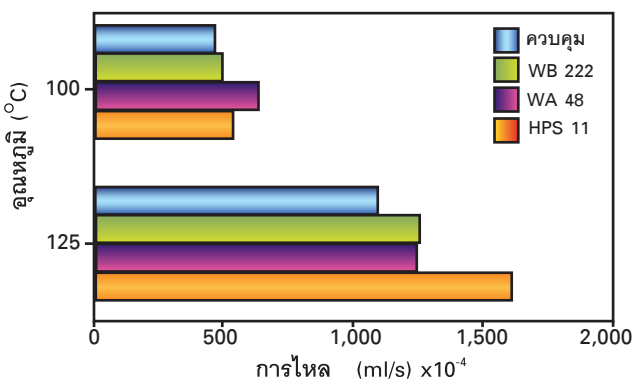
ตารางที่ 2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ [1]

สมบัติ	สูตรควบคุม	สูตร WB 222	สูตร WA 48	สูตร HPS 11
ความแข็ง (Shore A)	78	77	77	77
300% โมดูลัส (MPa)	19.17	17.10	17.31	17.31
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	24.2	22.7	21.8	22.8
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	420	470	420	460
การเสียรูปถาวรหลังกดที่อุณหภูมิ 100°C, 22 ชั่วโมง (%)	13.8	16.5	15.7	14.8

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่ายางคอมพาวด์ที่ใช้สารช่วยการแปรรูปทั้งสามสูตรจะมีค่าความหนืดมูนนี้ต่ำกว่ายางคอมพาวด์สูตรควบคุม และเมื่อพิจารณาระยะเวลาสกร๊ชของยาง (ดังรูปที่ 2) จะเห็นได้ว่า ยางสูตรควบคุมเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่ายางสูตร HPS 11 ยางสูตร WB 22 และยางสูตร WA 48 ตามลำดับ การที่ยางมีเวลาสกร๊ชสั้นอาจก่อให้เกิดปัญหาขึ้นในระหว่างการขึ้นรูป กล่าวคือ เมื่อยางคอมพาวด์เริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ ความหนืดของยางจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ยางไหลได้ยาก อาจส่งผลทำให้ยางไหลได้ไม่เต็มแม่พิมพ์

จากตารางที่ 2 เมื่อนำยางวัลคาไนซ์มาทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ พบว่า ยางทุกสูตรที่ใช้สารช่วยการแปรรูปจะมีค่าความแข็งแรง 300% โมดูลัส ความทนต่อแรงดึงของยางลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับยางสูตรควบคุม ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาด และการเสียรูปถาวรหลังกดของยางสูตร WB 222 มีค่าสูงกว่ายางสูตร HPS 11 และยางสูตร WA 48

สารช่วยการแปรรูปจะมีผลต่อการขึ้นรูปยางค่อนข้างมาก ดังจะเห็นได้จากผลการศึกษากาการไหลของยางด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบแคปิลลารี (capillary rheometer) ดังแสดงในรูปที่ 3 จากรูปพบว่าที่อุณหภูมิ 100°C ยางสูตร WA 48 มีอัตราการไหลที่เร็วกว่ายางสูตรอื่นๆ เล็กน้อยและที่อุณหภูมิ 125°C ยางสูตร HPS 11 มีอัตราการไหลเร็ว (ความหนืดต่ำ) กว่ายางสูตรอื่นๆ และเมื่อวัดการไหลของยางด้วยการใช้แม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบวน (spiral transfer mold)¹ ที่อุณหภูมิ 160°C พบว่ายางที่ใช้สารช่วยการแปรรูปทั้ง 3 ชนิดจะมีความหนืดต่ำกว่ายางสูตรควบคุม ยางจึงสามารถไหลผ่านหัวฉีดได้มากขึ้น จากผลการทดลองยังพบว่าน้ำหนักของยางคอมพาวด์ทั้ง 3 สูตรที่มีการเติมสารช่วยการแปรรูปมีค่าใกล้เคียงกัน (มีค่าสูงกว่ายางสูตรควบคุมค่อนข้างมาก) ดังแสดงในรูปที่ 4



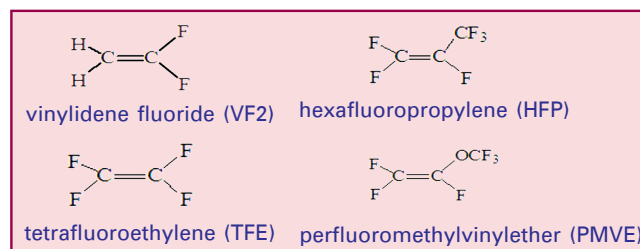
รูปที่ 3 การไหลของยางไนไตรล์เมื่อวัดด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบแคปิลลารี ที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C ใช้แรงกด 2.7 MPa

รูปที่ 4 การไหลของยางไนไตรล์ในแม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบวนที่อุณหภูมิ 160°C

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้สารช่วยการแปรรูปสำหรับยางไนไตรล์ จะสามารถช่วยลดความหนืดของยางลงได้ทำให้การขึ้นรูปเป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น

2. ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ (Fluoroelastomer rubber หรือ FKM)

ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์หรือยางฟลูออโรคาร์บอนที่มีชื่อเรียกย่อตามมาตรฐาน ASTM D1418 ว่า FKM จัดเป็นยางสังเคราะห์ที่มีความเป็นขั้วสูงเพราะมีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุล ยางชนิดนี้มีความทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อน สารเคมี และปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างดีเยี่ยม ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์มีหลายเกรด แต่ละเกรดแตกต่างกันที่ชนิดของโมโนเมอร์ (ดังรูปที่ 5) ที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์



รูปที่ 5 ชนิดของโมโนเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์

¹แม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบวน (spiral transfer mold) แม่พิมพ์มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ 1. แม่พิมพ์ส่วนบนที่มีลักษณะคล้ายแท่งกด (ram plate) 2. แม่พิมพ์ส่วนตรงกลางที่เป็นช่องว่างสำหรับใส่ยางคอมพาวด์ (transfer pot) 3. แม่พิมพ์ส่วนล่างที่เข้าพิมพ์มีรูปร่างคล้ายกันหอย (spiral cavity) ซึ่งแม่พิมพ์ชนิดนี้ใช้วัดการไหลของยางโดยยางที่มีความหนืดต่ำก็จะไหลไปได้ไกล

ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์สามารถวัลคาไนซ์ด้วยไดเอมีน (diamine) บิสฟีนอล (bisphenol) หรือเพอร์ออกไซด์ (peroxide) ก่อนหน้านี้มีรายงานว่าคาร์วัลคาไนซ์ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ด้วยไดเอมีนจะได้อย่างที่ยึดติดกับโลหะได้ดีและมีความทนต่อแรงดึงขณะร้อนสูง ส่วนการใช้บิสฟีนอลร่วมกับตัวจับกรดในการวัลคาไนซ์ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ก็จะทำให้ได้อย่างวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติการเสีรูปถาวรหลังกดดี ส่วนยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์เกรดที่มีปริมาณฟลูออรีนสูงจะนิยมวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ ซึ่งสารเพอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้ เช่น เพอร์ออกไซด์คาร์บาเมต (peroxycarbamate) แต่การวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์มีข้อจำกัดที่ว่ายาที่ได้ อาจเหนียวติดแม่พิมพ์ ดังนั้นจำเป็นต้องเติมสารช่วยการแปรรูปประเภทไข (wax) หรืออนุพันธ์ของกรดไขมัน (fatty acid derivative) เพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว โดยทั่วไปสารช่วยการแปรรูปที่นิยมนำมาใช้กับยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์มีดังนี้

- ไชคาร์นูบา (carnauba wax) นิยมใช้ในปริมาณร้อยละ 1-2 จะช่วยปรับปรุงการบดผสมและช่วยลดการเกาะติดของยางกับผิวลูกกลิ้งหรือผิวแม่พิมพ์ (mill and mold release) นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงอัตราเร็วในการเอ็กซ์ทรูด (extrusion rate) และการไหลของยางเข้าสู่แม่พิมพ์ (mold flow) ซึ่งการใช้ไชคาร์นูบานิยมใช้ในยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเพอร์ออกไซด์

- ขี้ผึ้ง (Beeswax) หรือ Struktol WS 280 ถ้าใช้ในปริมาณร้อยละ 1-2 ประสิทธิภาพอาจจะไม่ดีเทียบเท่ากับไชคาร์นูบา แต่สามารถช่วยลดการเกิดคราบสกปรกหรือการปนเปื้อนบนผิวแม่พิมพ์ (mold fouling) ได้

นอกจากนี้บริษัท R.T Vanderbilt ได้แนะนำสารช่วยการแปรรูปชนิดต่างๆ ที่เหมาะสำหรับใช้กับยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า Viton® ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างสารช่วยการแปรรูปชนิดต่างๆ ที่ใช้กับยาง Viton® [2]

สารช่วยการแปรรูป	องค์ประกอบ	การใช้งาน
Armeen 18 D	1-ออกตะเตดานามีน	ใช้เป็นสารช่วยลดการเกาะติดแม่พิมพ์ (mold release agent) ควรใช้ในปริมาณน้อย ถ้าใช้ในปริมาณที่สูงกว่า 0.5 phr จะส่งผลเสียต่อสมบัติความทนต่อแรงดึงและการเสีรูปถาวรหลังกด
Struktol WS 280	ซิลิโคน (silicone organic compound)	ถ้าใช้ในปริมาณสูงจะมีผลต่อสมบัติความทนต่อการกระแทกของยางวัลคาไนซ์
Struktol HT 290	ของผสมของอนุพันธ์กรดไขมัน	ใช้เป็นสารช่วยลดการเกาะติดแม่พิมพ์
VPA No.2	ไขรำข้าว	ใช้เป็นสารช่วยลดการเกาะติดแม่พิมพ์
PAT 777	อนุพันธ์กรดไขมัน/ไข	ใช้เป็นสารช่วยลดการเกาะติดแม่พิมพ์ แต่ไม่มีผลต่อสมบัติความทนต่อการกระแทกของยางวัลคาไนซ์

ในปี ค.ศ. 2001 Ameduri, B. และคณะ ได้รายงานว่า การเติมสารช่วยการแปรรูปประเภทไชคาร์นูบาหรือ VPA No.2 ในปริมาณ 1 phr หรือการใช้สารประเภทซัลฟอน (organic sulfone) เช่น VPA No.3 ในปริมาณ 0.5-1.0 phr จะช่วยทำให้ยางเกาะติดผิวแม่พิมพ์น้อยลง

ตารางที่ 4 ตัวอย่างสารช่วยการแปรรูปชนิดต่างๆ ที่ใช้กับยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ [3]

สารช่วยการแปรรูป	หน้าที่			
	ประสิทธิภาพการลดการเกาะติดผิวลูกกึ่งของคาร์เลนเดอร์	ความเรียบของผิวยางที่ผ่านการเอ็กซ์ทรูด	ประสิทธิภาพการลดการเกาะติดผิวแม่พิมพ์	ความต้านทานต่อการเสียรูปถาวรหลังกด
VPA No.1	+	+	+	0/-
VPA No.2	++	++	0/+	-
VPA No.3	0/+	0/+	+	0
ไซคาร์นูบา	++	++	0/+	-
โพลีเอทิลีน	0/+	0/+	0/+	-
Struktol WS 280	+	+	+	-
Armeem 18 D	0/+	0/+	++	-

++ = ดีมาก , + = ดี, 0 = ไม่มีผล, - = แย่ลง

นอกจากนี้ทางบริษัท 3M ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์เมื่อใช้สารช่วยการแปรรูปชนิดต่างๆ ได้แก่ ไซคาร์นูบา (carnauba wax) Struktol WS 280 และ Dynamar RA 5300 โดยมีสูตรผสมเคมีดังแสดงในตารางที่ 5 นำยางคอมพาวด์มาทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) ได้ผลแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 5 สูตรผสมเคมี [4]

สูตรผสมเคมี	ปริมาณ (phr)			
	สูตรควบคุม	RA 5300	WAX	WS 280
ยาง Dyneon FE 5640	100	100	100	100
เซมาด้าเกรด N990	30	30	30	30
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (HP XL)	6	6	6	6
Elastomag® 170	3	3	3	3
Dynamar RA 5300	-	1	-	-
ไซคาร์นูบา	-	-	1	-
Struktol WS 280	-	-	-	1

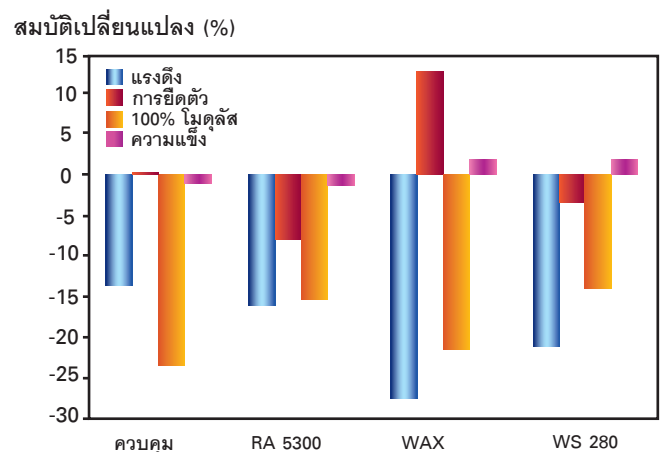
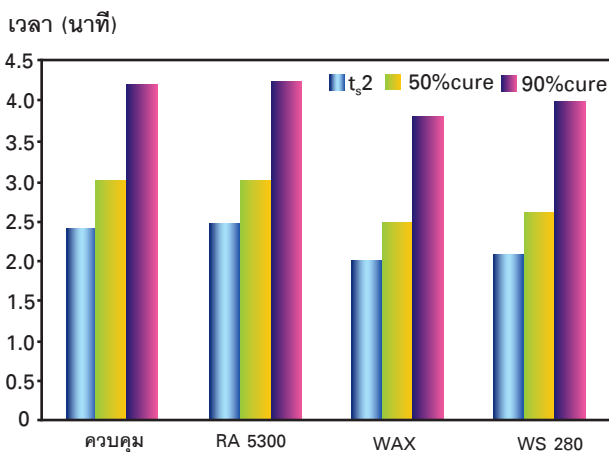
หมายเหตุ: - ยาง Dyneon FE 5640 คือ ชื่อทางการค้าของยาง FKM ที่มีปริมาณฟลูออรีนในยางร้อยละ 66 ประกอบด้วยโคโมโนเมอร์ของเฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน (hexafluoropropylene; HFP) และไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (vinylidene fluoride; VF2)
 - Elastomag® 170 คือ ชื่อทางการค้าของแมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide)
 - Dynamar RA 5300 คือ ชื่อทางการค้าของสารช่วยการแปรรูปที่มีส่วนผสมของไซลอกเซนอีลาสโตเมอร์ (siloxane elastomer) และทัลค์ (talc)
 - Struktol WS 280 คือ ชื่อทางการค้าของสารช่วยการแปรรูปที่เป็นของผสมในกลุ่มอนุพันธ์ของกรดไขมัน (blend of fatty acid derivative)

ตารางที่ 6 สมบัติของยางสูตรต่างๆ [4]

การทดสอบ	สูตรควบคุม	สูตร RA 5300	สูตร WAX	สูตร WS 280
MDR ที่ 177°C				
แรงบิดสูงสุด (in-lbs)	23.52	22.91	24.15	26.29
ค่าความหนืดมูนิ MS (1+6) ที่ 121°C				
ความหนืดเริ่มต้น (MU)	76.9	77.2	65.1	75.8
ความหนืดต่ำสุด (MU)	38.1	36.5	37.6	39.2
สมบัติ (วัลคาไนซ์ที่ 177°C, 10 นาที และอบต่อหลังการวัลคาไนซ์ที่ 232°C, 16 ชั่วโมง)				
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	16.1	14.4	18.0	15.0
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	200	206	177	185
100% โมดูลัส (MPa)	6.7	6.2	7.9	7.0
ความแข็ง (Shore A)	76	74	77	76
การเสียรูปถาวรหลังกดที่ 200°C, 70 ชั่วโมง (%)	14.1	13.6	19.1	17.3

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของยางที่ใช้สารช่วยการแปรรูปชนิดต่างๆ กับยางสูตรควบคุม (ตารางที่ 6) พบว่ายางสูตร RA 5300 มีค่าความแข็ง ความทนต่อแรงดึง และโมดูลัสต่ำกว่ายางสูตรควบคุมเล็กน้อย แต่มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดใกล้เคียงกับยางสูตรควบคุม ส่วนกรณีของยางสูตร WAX มีค่าความทนต่อแรงดึงและโมดูลัสสูงขึ้นแต่มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดต่ำกว่าเมื่อเทียบกับยางสูตรควบคุม ค่าการเสียรูปถาวรหลังกดของยางสูตร WAX และยางสูตร WS 280 สูงกว่า (สมบัติแย่กว่า) ยางสูตรควบคุมและยางสูตร RA 5300

จากการศึกษาสมบัติความทนต่อความร้อนด้วยการนำยางไปบ่มแรงที่อุณหภูมิ 270°C เป็นเวลา 70 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 เวลาสกออร์และเวลาการวัลคาไนซ์ของยางสูตรต่างๆ

รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางหลังบ่มแรงด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 270°C เป็นเวลา 70 ชั่วโมง

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่ายางสูตร WAX และยางสูตร WS 280 มีเวลาสกอร์ชและเวลาวัลคาไนซ์ต่ำกว่ายางสูตร RA 5300 และยางสูตรควบคุม

จากรูปที่ 7 พบว่ายางสูตร WAX มีการสูญเสียสมบัติความทนต่อแรงดึงไปถึงร้อยละ 27 และมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 12 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียสมบัติความทนต่อแรงดึงและค่าโมดูลัสของยางที่ใช้สารช่วยการแปรรูปแต่ละชนิดพบว่ายางสูตร RA 5300 มีการสูญเสียสมบัติดังกล่าวต่ำกว่ายางสูตรอื่นๆ

เมื่อนำยางมาเอกซ์ทรูดแล้ววัดการเอกซ์ทรูดด้วย Garvey Die ตามมาตรฐาน ASTM D2230 ได้ตัวอย่างของชิ้นงานดังรูปที่ 8



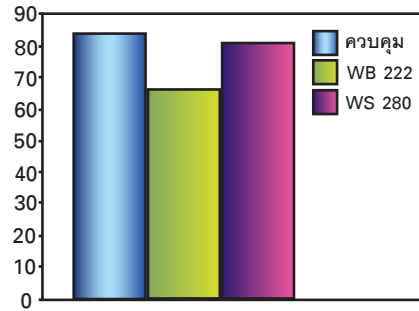
รูปที่ 8 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วย Garvey Die [4]

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าการใช้ RA 5300 เป็นสารช่วยการแปรรูปส่งผลทำให้พื้นผิวของยางที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีเอกซ์ทรูดมีความเรียบและขอบของเอกซ์ทรูดมีความเรียบมากกว่าการใช้สารช่วยการแปรรูปชนิดอื่นๆ

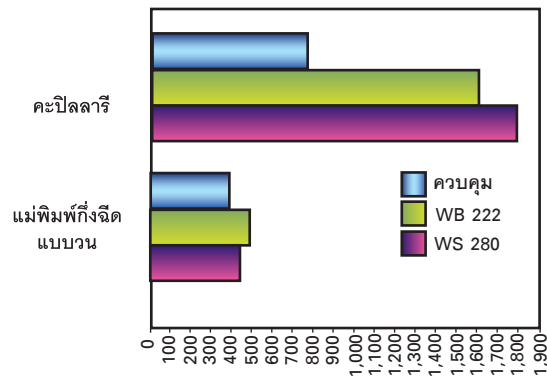
3.ยางอะคริลิก (Acrylic rubber หรือ ACM)

ยาง ACM เป็นยางที่มีความสามารถในการไหลต่ำ ทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิตได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารช่วยการแปรรูปเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้อย่างขึ้นในปี ค.ศ 2008 Sherritt, J.M. ได้รายงานว่าการใช้สารช่วยแปรรูปในยาง ACM เช่น Struktol WB 222 ถ้าใช้ในปริมาณร้อยละ 1-1.5 จะสามารถช่วยเพิ่มการไหลของยางเข้าสู่แม่พิมพ์ และช่วยลดการเกิดคราบสกปรกหรือการปนเปื้อนบนผิวแม่พิมพ์ได้ แต่ควรระวังการใช้ Struktol WB 222 ร่วมกับกรดสเตียริก เนื่องจากถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้สารเคมีเหล่านี้เกิดการแพร่บนพื้นผิวยางทำให้เกิดการบวมขึ้น นอกจากนี้ถ้ามีการใช้ Struktol WS 280 เป็นสารช่วยการแปรรูปในยาง ACM ได้เช่นกัน แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพไม่เท่ากับ Struktol WB 222 แต่จะไม่ทำให้อายุการใช้งานของยางสั้นลงซึ่งจะทำให้ยางเปลี่ยนสี ซึ่ง Sherritt ได้ศึกษาการใช้สารช่วยการแปรรูปทั้งสองชนิด (Struktol WB 222 และ Struktol WS 280) แล้วเปรียบเทียบผลของค่าความหนืดมูนี สมบัติการไหล และสมบัติเชิงกลของยาง เช่น ความทนต่อแรงดึง และ 100% โมดูลัส ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 9-11

ความหนืดมูนี (MU)

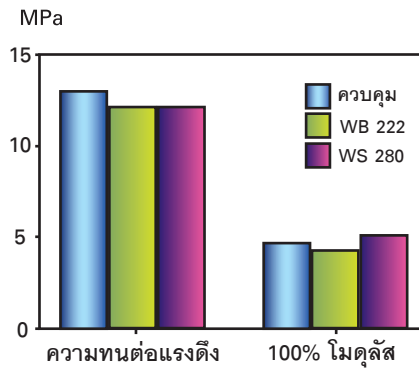


รูปที่ 9 ความหนืดมูนี (ML 1+4) ของยางคอมพาวด์ที่อุณหภูมิ 100°C



การไหล - คะปิลลารี (ml/s x 10⁻⁴)
- แม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบวน (gms x 100)

รูปที่ 10 การไหลของยางวัตด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบกะปิลลารีที่อุณหภูมิ 100°C และการไหลของยางในแม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบวนที่อุณหภูมิ 160°C



รูปที่ 11 ค่าความทนต่อแรงดึง และ 100% โมดูลัสของยาง

เอกสารอ้างอิง

เมื่อเปรียบเทียบการใช้สารช่วยแปรรูป Struktol WB 222 และ Struktol WS 280 ในยาง ACM พบว่ายางสูตรที่ใช้ Struktol WB 222 จะมีความหนืดมูนนี้ต่ำกว่ายางสูตรที่ใช้ Struktol WS 280 และยางสูตรควบคุม และเมื่อวัดการไหลของยางด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบคอปิลลารี พบว่ายางสูตรที่มีการเติมสารช่วยแปรรูปมีอัตราการไหลของยางเร็วกว่ายางสูตรควบคุมค่อนข้างมาก แต่เมื่อวัดอัตราการไหลของยางด้วยการใช้แม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบวนที่อุณหภูมิ 160°C พบว่ายางสูตรที่มีการเติมสารช่วยการแปรรูปมีอัตราการไหลของยางเร็วกว่ายางสูตรควบคุมเพียงเล็กน้อย สำหรับสมบัติเชิงกล พบว่ายางสูตรที่ใช้สารช่วยการแปรรูปจะมีค่าความทนต่อแรงดึงและ 100% โมดูลัสลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับยางสูตรควบคุม

4.ยางโพลีเอทิลีนคลอโรซัลไฟเฟนต (Chlorosulfonated polyethylene rubber หรือ CSM)

ยาง CSM มีชื่อทางการค้าว่า Hypalon เป็นยางที่มีคลอรีน (ปริมาณร้อยละ 24-43 โดยน้ำหนัก) และมีกำมะถัน (ปริมาณร้อยละ 1-1.5 โดยน้ำหนัก) ในโครงสร้างโมเลกุล การใช้งานของสารช่วยการแปรรูปสำหรับยาง CSM โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ไซพาราฟิน และโพลีเอทิลีนไกลคอล ควรหลีกเลี่ยงการใช้ซิงก์สเตียเรตเนื่องจากจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพเมื่อได้รับความร้อน

สารช่วยการแปรรูปสำหรับยาง CSM เพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการเอกซ์ทรูด ได้แก่ โพลีเอทิลีนไกลคอล หรือ Struktol WB 222 นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการใช้ Struktol WB 222 ในปริมาณร้อยละ 1.5-2 สามารถช่วยลดการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ได้ด้วย

สรุป

สารช่วยการแปรรูปที่เหมาะสมสำหรับใช้กับยางเกรดพิเศษต่างๆ เช่น ยางไนไตรล์ ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ ยางอะคริลิกนั้นมียาหลายชนิด แต่ละชนิดจะส่งผลกระทบต่อสมบัติของยางแตกต่างกัน การเลือกใช้สารช่วยการแปรรูปชนิดใดและปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดและความมีขี้ตัวของยาง ดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

1. Sherritt, J.M., “Processing Aids for Specialty Elastomer” in Klingender, R.C. “Handbook of Specialty Elastomer” Taylor&Francis Group, LLC, CRC press. 2008
2. <http://www.rtvanderbilt.com>
3. Ameduri, B., Boutevin, B. and Kostov,G. *Prog. Polym.Sci.* **26**, 105-187 (2001)
4. <http://multimedia.3m.com>
5. ชญาภา นิมสุวรรณ “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง”, **4(1)**, 18-29, 2553
6. พรพรรณ นิธิอุทัย, ยาง เทคนิคการออกสูตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตปัตตานี), 2540
7. พงษ์ธร แซ่ฮุย, ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547
8. พงษ์ธร แซ่ฮุย, สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548

ดร.ณิ ตรีณสุ
 การศึกษา: ปริญญาโท (ปรีคณินและวิทยาศาสตร์พลีเมอร์)
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน: เจ้าหน้าที่สารสนเทศ
 ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย มหาวิทยาลัยมหิดล